

Kaskadenschaltungen von Drehstromasynchronmaschinen mit Kommutatormaschinen zur Phasenkompensation

mit und ohne gleichzeitige Drehzahlregelung
nach den deutschen Patentschriften

mit einem Verzeichnis der deutschen Patente

Von der

Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
zur Erlangung der Würde eines Doktors der technischen
Wissenschaften genehmigte Promotionsarbeit

vorgelegt von

Max Leumann, dipl. Ing. in Basel
aus Frauenfeld

No. 694

Referent: Herr Prof. E. Dünner
Korreferent: Herr Prof. Dr. K. Kuhlmann



Kat.

Ser.

Basel 1933
Buchdruckerei Karl Werner

Leer - Vide - Empty

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil: Einleitung und allgemeine Theorie.

Verzeichnis der Abkürzungen	4
Literaturverzeichnis	5
Einleitung	7

I. Die Grundgleichungen der Asynchronmaschine.

1. Die Bezeichnungen	9
2. Das Spannungsdiagramm	13
3. Das Stromdiagramm	16
4. Der Begriff der Kompensation	24
5. Einfluß der Kompensationsspannung auf die Drehzahl der Asynchronmaschine	23

II. Einfluß der Kompensationsspannung auf das Diagramm.

1. Allgemeine Gleichungen	26
2. Die Nebenschlußspannung	30
3. Die sekundäre Hauptstromspannung	34
4. Die primäre Hauptstromspannung	37
5. Die ausschließlich variable Kompensationsspannung	40
6. Die Nebenschluß- und Hauptstromspannung	41
7. Die Darstellung des Netzstromes	44

III. Die Hintermaschinen.

1. Die Einteilung der Hintermaschinen	45
2. Die Spannungsgleichung der mehrphasigen Kommutatormaschine	48
3. Der eigenerregte Phasenschilder	50
4. Der Frequenzwandler	52
5. Der Frequenzwandler mit Kompensationswicklung	56
6. Die ständererregte Kommutatormaschine	60

Zweiter Teil: Die Patentliteratur.

1. Eigenerregte Phasenschieber	65
2. Frequenzwandler und kompensierte Frequenzwandler	75
3. Frequenzwandler mit teilweiser Kompensation oder besonderer Ständerwicklung	88
4. Im Ständer fremderregte Kommutatormaschinen	100
5. Einrichtungen zur Aufhebung des Einflusses des induktiven Spannungsabfalles	111
6. Selbsterregte Kommutatormaschinen mit konduktiv erregter Ständerwicklung	135
7. Selbsterregte Kommutatorwicklung mit induktiv erregter Ständerwicklung	150
8. Selbsterregte Kommutatormaschinen mit Erregerwicklung im Läufer	156
9. Patente zu verschiedenen Hintermaschinen	158
a) Anlaßverfahren	158
b) Regeleinrichtungen	162
c) Verschiedene Einrichtungen wie Schutzvorrichtungen, Verwendung zweier HM u. a.	164
Verzeichnis der Patente	169

Abkürzungen im Text und in den Abbildungen.

AM	Asynchronmaschine.
C	Kondensator.
E	Erregerwicklung.
EM	Erregermaschine.
EU	Einankerumformer.
FW	Frequenzwandler (Periodenumformer).
GG	Gleichstromgenerator.
GM	Gleichstrommaschine.
HM	Hintermaschine.
HT	Hauptschluß-(Serie-)Transformator.
IFW	Induktionsfrequenzwandler (Asynchronmaschine als Frequenzwandler).
K	Kompensationswicklung.
KM	Kommutatormaschine.
L	Literaturverzeichnis (S. = Seite).
M	Motor (Antriebs- oder Belastungsmaschine).
NT	Nebenschluß-(Spannungs-)Transformator.
Ph	Phasenschieber.
R	Ohmscher Widerstand.
SM	Synchronmaschine.
T	Transformator.
VM	Vordermaschine.
X, \mathfrak{X}	Induktiver Widerstand.
Z, \mathfrak{Z}	Impedanz.

Die verschiedenen Stromkreise sind durch arabische Ziffern bezeichnet.

Z. z. Zusatzpatent zu (Patent No.). M. Z. Mit Zusatzpatent (No.).

Abkürzungen der Patentnehmer Seite 64.

Literaturverzeichnis.

Ein sehr ausführliches Literaturverzeichnis findet sich in dem Buche von L. Dreyfus (L. 9), sowie im Artikel über Blindstrom von Rüdénberg (L. 13).

No.	Seite
1. E. Arnold, Wechselstromtechnik, Bd. V, II. Teil, Julius Springer, Berlin 1912	50
2. Karl Baudisch, Der Leistungsfaktor in Drehstromnetzen und die Mittel zu seiner Verbesserung. E. u. M. 1924, Bd. 42, H. 19, S. 289	22
3. Otto Bloch, Die Ortskurven der graphischen Wechselstromtechnik. Rascher & Co., Zürich 1917	9, 17
4. R. Brüderlin und E. Stump, Selbständige asynchrone Generatoren. ETZ 1925, Bd. 46, H. 45, S. 1688	150
5. L. Dreyfus, Die Anwendung des mehrphasigen Frequenzumformers zur Kompensierung von Drehstrommotoren. A. f. E. 1924, Bd. 13, H. 6, S. 507	76
6. L. Dreyfus, Die Anwendung des mehrphasigen Frequenzumformers zur Tourenregelung von Drehstrommotoren unter gleichzeitiger Kompensierung der Phasenverschiebung. A. f. E. 1925, Bd. 15, H. 1, S. 1	42
7. L. Dreyfus, Die veränderliche Hauptstrom-Phasenkompensierung bei Kaskadenschaltung von Asynchronmotoren mit Mehrphasen-Kommutatornebenschlußmaschinen. E. u. M. 1927, Bd. 45, H. 33, S. 669	42, 110
8. L. Dreyfus, Eine neue Schaltung zur verlustlosen Tourenregelung, Compoundierung und Kompensierung größerer Drehstrommotore. A. f. E. 1927, Bd. 18, H. 1, S. 55	42
9. L. Dreyfus, Kommutatorkaskaden und Phasenschieber. Julius Springer, Berlin 1931	14, 40
10. H. Harz, Die eigenerrregte Drehstrom-Erregermaschine und ihr Anwendungsgebiet. Siemens Zeitschrift 1927, Bd. 7, H. 7, S. 489	65
11. J. Kozisek, Drehstrom-Erregermaschine mit Fremderregung. ETZ 1925, Bd. 46, H. 5 u. 19, S. 142 u. 715	58, 76
12. H. Nehlsen, Die Kompensation der Phasenverschiebung von Induktionsmaschinen durch selbsterregte Hauptstrom-Drehfeld-Erregermaschinen. ETZ 1917, Bd. 38, H. 50 u. 51, S. 584 u. 593	59, 146
13. Reinhold Rüdénberg, Blindstrom, seine Ursachen und Wirkungen in Wechselstromanlagen. Siemens Zeitschrift 1922, Bd. 2, H. 1 u. 2, S. 1 u. 58. El. Kraftbetr. u. Bahnen 1922, Bd. 20, H. 10 u. 11, S. 101 u. 113	7
14. Pflieger Haertel, Zur Theorie der Kreisdiagramme. A. f. E. 1923, Bd. 12, H. 6/12, S. 486	18
15. Reinhold Rüdénberg, Ueber Vektordiagramme von Drehfeldinduktionsmaschinen. ETZ 1910, Bd. 31, H. 43, S. 1087	14
16. M. Schenkel, Neuere Fortschritte auf dem Gebiet der asynchronen Generatoren und asynchronen Blindleistungsmaschinen. ETZ 1924, Bd. 45, H. 47, S. 1265	76
17. Arthur Scherbibus, Nebenschluß-Phasenkompensator. ETZ 1921, Bd. 42, H. 35, S. 969	135

	Seite
18. T. Schmitz, Das Drehmoment eines Phasenkompensators mit Kommutierungsnuten. ETZ 1924, Bd. 45, H. 12, S. 238	67
19. Walter Seiz, Der asynchrone Einankerumformer, Diss. Springer, Berlin 1914	54
20. Walter Seiz, Der Phasenkompensator Bauart Brown Boveri. BBC M. 1923, Bd. X, H. 7, S. 119	67
21. W. Weiler, Die Ankerkupferverluste der vom Netz erregten Drehstrom-Erregermaschine. ETZ 1924, Bd. 45, H. 41, S. 1080	54
22. W. Weiler, Die Verwendung der Drehstrom-Erregermaschinen. AEG M. 1926, H. 8, S. 284	52
23. Karl Kuhlmann, Elektro-Journal 1924, Bd. 4, H. 8, S. 194	10

Einleitung.

Die gewöhnliche Asynchronmaschine (AM) arbeitet mit erheblicher Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung, hervorgerufen durch den vom Netz gelieferten Magnetisierungsstrom. Die Nachteile eines schlechten Leistungsfaktors, die sich über alle Kraftübertragungseinrichtungen bis zurück zu den Generatoren der Zentrale bemerkbar machen, sind schon früh erkannt worden (L. 13); aber erst in jüngster Zeit wurde durch Berücksichtigung des Leistungsfaktors im Preis der elektrischen Energie auch das Interesse des Energiekonsumenten an der Verminderung des Blindstromverbrauches erhöht.

Unter Kompensation einer AM versteht man eine weitgehende Verminderung, Aufhebung oder Umkehrung der Phasenverschiebung. Eine Aufhebung der Phasenverschiebung erfolgt meist nur für einen oder zwei Belastungspunkte, während bei den übrigen Belastungen die ursprüngliche Phasenverschiebung mehr oder weniger verringert oder in ihrer Richtung umgekehrt wird.

Die Kompensation kann auf der Primärseite der AM erfolgen, indem eine Blindleistungsmaschine oder ein Kondensator den Magnetisierungsstrom der AM liefert, oder, was auf dasselbe hinauskommt, einen gleich großen kapazitiven Strom vom Netz bezieht, so daß dieses nur mit dem Arbeitsstrom der AM belastet wird. Diese Methode wird oft angewendet zur Kompensation einer Anzahl kleiner Motoren oder ganzer Anlagen. An der AM selbst und an ihrer Arbeitsweise ändert sich dabei gar nichts. Auch die Größe der erzeugten oder verbrauchten Blindleistung bleibt unverändert.

Die Kompensation kann aber auch auf der Sekundärseite der AM erfolgen, indem die Erregung ihres Magnetfeldes von dem Sekundärstrom ausgeht. Hier liegen die Verhältnisse bezüglich der erforderlichen Magnetisierungsenergie wesentlich günstiger, da die induktive Komponente des Spannungsabfalles infolge der geringen Frequenz im Sekundärkreis auf sehr kleine Werte zusammenschrumpft.

Vorliegende Arbeit enthält auf Grund der deutschen Patente eine Zusammenstellung und Beschreibung der Kaskadenschaltungen gewöhnlicher mehrphasiger AM mit Schleifringläufer als Vordermaschine (VM) mit solchen Wechselstrom-Kommutatormaschinen als Hintermaschine (HM), die im Stande sind, die VM zu kompensieren. Viele dieser Kaskaden dienen gleichzeitig oder vorwiegend zur Drehzahlregelung.

Die Schlüpfung der AM ändert sich mit ihrer Belastung. Eine bestimmte Abhängigkeit der Drehzahl von der Belastung soll auch bei der kompensierten AM vorhanden sein. Mit andern Worten: Die Fre-

quenz der dem Sekundärteil der VM zugeführten Spannung soll von der Belastung der VM abhängig sein; synchronisierte und doppelt gespeiste AM, die mit der Summe oder Differenz der Frequenzen zweier unabhängiger Systeme synchron laufen, sowie Kaskaden zur Leistungsregelung, bei denen die HM durch eine der Schlüpfung der VM proportionale Spannung deren Sekundärspannung aufhebt, so daß kein Zusammenhang zwischen Leistung und Schlüpfung der VM besteht, bleiben in dieser Arbeit unberücksichtigt, auch wenn sie gleichzeitig eine Verbesserung des Leistungsfaktors gestatten. Ebenso werden alle Drehstrom-Gleichstromkaskaden, bei denen der Sekundärstrom der VM in Gleichstrom umgeformt wird, ausgeschieden; die wenigen Patente, nach denen mehrere Einphasen-Wechselstrommaschinen an den mehrphasigen Sekundärkreis der VM angeschlossen sind, werden im Zusammenhang mit den entsprechenden mehrphasigen Kommutatormaschinen aufgeführt, während die interessanten Vibratoren, die sich nicht bei mehrphasigen Kommutatormaschinen einfügen lassen, in Anbetracht ihrer geringen praktischen Bedeutung nicht gesondert behandelt werden.

Bei den innerhalb dieser Abgrenzungen verbleibenden Kaskaden zur Drehzahlregelung werde ich im folgenden nur die Fragen der Phasenkompensation besprechen, ohne auf andere Fragen, wie Kompoundierung und Durchgang durch Synchronismus näher einzutreten, als dies im Zusammenhang mit der Besprechung der Phasenkompensierung erforderlich ist. Ebenso kann das interessante Gebiet der Kommutation der HM nur gelegentlich gestreift werden, da für eine allgemeine Berücksichtigung die Behandlung sämtlicher Kommutatormaschinen notwendig wäre.

In der folgenden, den entsprechenden Ableitungen für die unkompenzierte AM anschließenden Zusammenstellung der Gleichungen und Diagramme der kompensierten AM werden diese nicht für das meist übliche, für die unkompenzierte AM ebenfalls angegebene, primäre, d. h. auf die primäre Klemmenspannung bezogene, sondern für das sekundäre, d. h. auf die sekundäre Stillstandsspannung bezogene Diagramm angegeben. Bereits bei der unkompenzierten AM treten die Vorteile der auf die sekundäre Stillstandsspannung bezogenen Darstellung (L. 9), die nachher ausschließlich verwendet wird, deutlich hervor.

Für die kompensierte AM wird ein möglichst viele der üblichen Kompensationsspannungen in sich enthaltender allgemeiner Ansatz aufgestellt und daran anschließend die Wirkung der verschiedenen Komponenten der angenommenen Spannung untersucht.

Einer Einteilung der verschiedenen zur Phasenkompensation verwendeten Kommutatormaschinen und der Ableitung der Spannungsgleichungen der wichtigsten Vertreter folgt im zweiten Teil der Arbeit eine nach dieser Einteilung geordnete Zusammenstellung der deutschen Patente.

Erster Teil.

I. Die Grundgleichungen der Asynchronmaschine.

1. Die Bezeichnungen.

Die Beurteilung der AM erfolgt auf Grund ihres Spannungs- und Stromdiagrammes. Das Strom- oder Admittanzdiagramm ist besonders aufschlußreich; es zeigt Größe und Phase des Primär- und Sekundärstromes in Funktion der Schlüpfung für alle Belastungszustände. Da die Klemmenspannung konstant ist, zeigt dieses Diagramm stets auch die primär aufgenommene Leistung. Ist die Admittanzkurve insbesondere ein Kreis, so können weiter die dem Quadrate des Primärstromes proportionalen Verluste, sowie Nutzleistung und Wirkungsgrad direkt aus dem Diagramm entnommen werden (L. 3, S. 136).

In Anbetracht ihrer großen Bedeutung für die Beurteilung der AM soll im ersten Teil dieser Arbeit die Wirkung der Kompensation auf Grund dieser Diagramme untersucht werden, indem diese sowohl für die gewöhnliche wie für die kompensierte AM dargestellt werden.

Sämtliche Größen von Strom und Spannung werden als rein harmonische Veränderliche der Zeit angenommen und durch Frakturschrift als Zeitvektoren charakterisiert; Maximalwerte durch große, Momentanwerte durch kleine Buchstaben. Durch Beisetzen eines * sollen Größen der nicht kompensierten AM von denen der kompensierten unterschieden werden.

Bei der Zerlegung eines Vektors nach den Axen des Koordinatensystems seien seine reellen und imaginären Komponenten allgemein durch ' und '' unterschieden: $\mathfrak{A} = A' + jA''$. Die reellen und imaginären Komponenten einer Impedanz werden dagegen meist mit R und X oder ρ und ξ bezeichnet. Das Zeichen $\hat{}$ über einem Vektor bedeute den konjugiert komplexen Vektor: $\hat{\mathfrak{A}} = A' - jA''$.

Als Voreilung gilt gemäß internationaler Festsetzung eine Drehung im Gegenuhrzeigersinn; der Winkel zwischen zwei Vektoren werde im gleichen Sinn als positiv gerechnet. Nach der in der Mathematik üblichen Lage des Koordinatensystems ist somit die imaginäre Axe um $\frac{\pi}{2}$, d. h. um 90° im Sinn der Voreilung gegen die reelle verdreht.

Die Eisenverluste werden nach dem Vorschlag von Kuhlmann berücksichtigt durch den Eisenwinkel, um den ein im Eisen verlaufender magnetischer Fluß hinter dem erzeugenden Strom nacheilt (L. 23). Hauptfelder werden, als fast ganz in Eisen verlaufend, um den Eisenwinkel den erzeugenden Strömen nacheilend, Streufelder, als vorwiegend in Luft verlaufend, in Phase mit den erzeugenden Strömen angenommen. In den Formeln ist für ψ stets der absolute Betrag des Eisenwinkels einzusetzen.

Für die wichtigen Formelausdrücke der folgenden Abschnitte werden die nachfolgend verzeichneten Bezeichnungen und Abkürzungen eingeführt, deren vektorielle Lage sich aus den Figuren Z 1 bis Z 33 ergibt.

Die primären und sekundären Eigenreaktanzen, die Impedanzen und Reaktanzen, sowie ihre Komponenten schreiben sich nach den vorangehenden Vereinbarungen wie folgt:

$$\mathfrak{X}_1 = j(X_{1\sigma} + X_{11} e^{-j\psi}) = \rho_1 + j\xi_1 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \rho_1 &= X_{11} \sin \psi & X_{11} &= X_{12} \frac{w_1}{w_2} \\ \xi_1 &= X_{11} \cos \psi \end{aligned} \quad (2)$$

Wobei $\frac{w_1}{w_2}$ das Verhältnis der Windungszahlen der Primär- und Sekundärwicklung ist.

$$\mathfrak{X}_2 = j(X_{2\sigma} + X_{22} e^{-j\psi}) = \rho_2 + j\xi_2 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \rho_2 &= X_{22} \sin \psi & X_{22} &= X_{12} \frac{w_2}{w_1} \\ \xi_2 &= X_{22} \cos \psi \end{aligned} \quad (4)$$

$$\mathfrak{B}_1 = R_1 + \mathfrak{X}_1 \quad (5)$$

$$\mathfrak{B}_2 = R_2 + s\mathfrak{X}_2 \quad (6)$$

$$\mathfrak{X}_{12} = jX_{12} e^{-j\psi} = X_{12} \sin \psi + jX_{12} \cos \psi \quad (7)$$

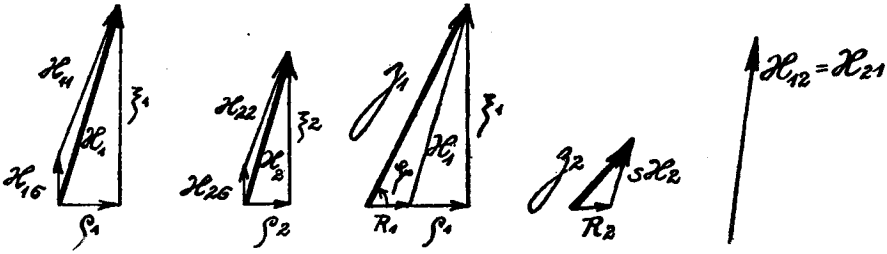
$$\mathfrak{X}_{21} = jX_{21} e^{-j\psi} = X_{21} \sin \psi + jX_{21} \cos \psi \quad (8)$$

In Figur Z 8 ist der Ersatzstromkreis der unkompenzierten AM unter Verwendung der vorstehenden Bezeichnungen angegeben.

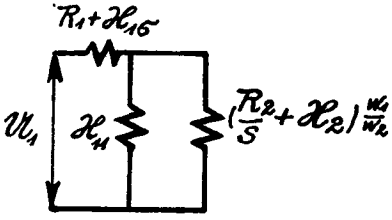
Sollen z. B. die Eisenverluste nicht berücksichtigt werden, so wird $\psi = 0$ und damit $\rho_1 = \rho_2 = 0$, $\xi_1 = X_1$, $\xi_2 = X_2$.

Statt der Gegenreaktanzen kann der Koeffizient der Gesamtstreuung nach Blondel eingeführt werden, der nun, unter Berücksichtigung des Eisenwinkels, ebenfalls ein Vektor wird. Seine Richtung fällt allerdings annähernd mit der reellen Axe zusammen, so daß er mit genügender Genauigkeit stets als Skalar betrachtet werden kann:

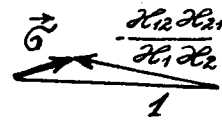
$$\vec{\tau} = 1 - \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{X}_1 \mathfrak{X}_2} \approx 1 - \frac{X_{12} X_{21}}{X_1 X_2} \quad (9)$$



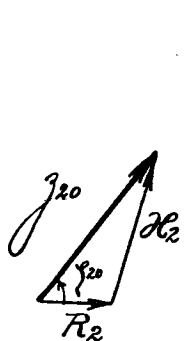
Figur Z 1. Figur Z 3. Figur Z 5. Figur Z 6. Figur Z 7.
Reaktanzen und Impedanzen der AM.



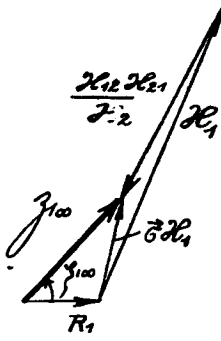
Figur Z 8: Ersatzstromkreis der unkompenzierten AM.



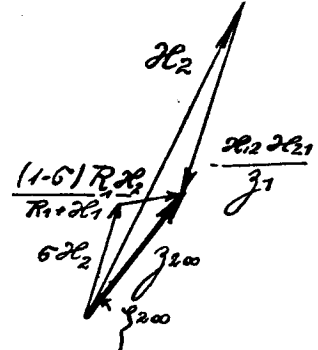
Figur Z 9: Vektorielle Lage des Streukoeffizienten.



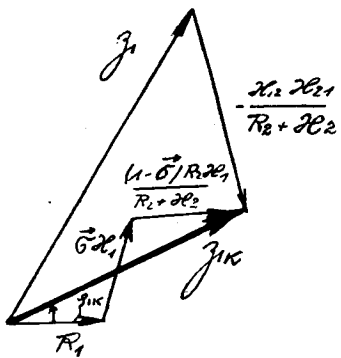
Figur Z 14: Sekundäre Leerlaufimpedanz.



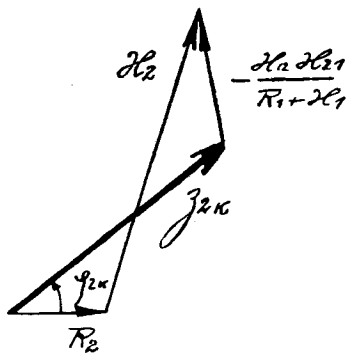
Figur Z 18. Impedanzen im ideellen Kurzschluß.



Figur Z 22.



Figur Z 26: Primäre Kurzschlußimpedanz.



Figur Z 30: Sekundäre Kurzschlußimpedanz.

Die Benennung der nachfolgenden Abkürzungen ergibt sich aus den späteren Ableitungen (vgl. Gleichungen 56—58, Seite 18 und 64—66, Seite 20), indem sich dort für die angeführten Betriebszustände die hier eingeführten Ausdrücke ergeben. Es sind dies:

Die scheinbare primäre Impedanz bei ideellem Leerlauf ($s = 0$):

$$\mathfrak{Z}_{10} = \mathfrak{Z}_1 \quad (10)$$

$$\mathfrak{Z}_{10} = Z_{10} e^{j\zeta_{10}} = R_{10} + jX_{10} \quad (11)$$

$$R_{10} = R_1 + \rho_1 \quad X_{10} = \xi_1 \quad (12)$$

$$Z_{10} = \sqrt{R_{10}^2 + X_{10}^2} \quad \zeta_{10} = \arctg \frac{X_{10}}{R_{10}} \quad (13)$$

Die scheinbare sekundäre Impedanz bei offenem Primärkreis ($\mathfrak{S}_1 = 0$):

$$\mathfrak{Z}_{20} = R_2 + \mathfrak{X}_2 \quad (14)$$

$$\mathfrak{Z}_{20} = Z_{20} e^{j\zeta_{20}} = R_{20} + jX_{20} \quad (15)$$

$$R_{20} = R_2 + \rho_2 \quad X_{20} = \xi_2 \quad (16)$$

$$Z_{20} = \sqrt{R_{20}^2 + X_{20}^2} \quad \zeta_{20} = \arctg \frac{X_{20}}{R_{20}} \quad (17)$$

Die scheinbare primäre Impedanz bei ideellem Kurzschluß ($s = \infty$):

$$\mathfrak{Z}_{1\infty} = \mathfrak{Z}_1 - \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{X}_2} = R_1 + \tau \mathfrak{X}_1 \quad (18)$$

$$\mathfrak{Z}_{1\infty} = R_{1\infty} + jX_{1\infty} = Z_{1\infty} e^{j\zeta_{1\infty}} \quad (19)$$

$$R_{1\infty} = R_1 + \tau \rho_1 \quad X_{1\infty} = \tau \xi_1 \quad (20)$$

$$\zeta_{1\infty} = \arctg \frac{X_{1\infty}}{R_{1\infty}} \quad (21)$$

Die scheinbare sekundäre Impedanz bei ideellem Kurzschluß ($s = \infty$):

$$\mathfrak{Z}_{2\infty} = \mathfrak{X}_2 - \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{Z}_1} = \tau \mathfrak{X}_2 + \frac{(1 - \tau) R_1 \mathfrak{X}_2}{R_1 + \mathfrak{X}_1} \quad (22)$$

$$\mathfrak{Z}_{2\infty} = R_{2\infty} + jX_{2\infty} = Z_{2\infty} e^{j\zeta_{2\infty}} \quad (23)$$

$$R_{2\infty} = \tau \rho_2 + \frac{(1 - \tau) R_1 (R_{10} \rho_2 + X_{10} \xi_2)}{Z_{10}^2}$$

$$X_{2\infty} = \tau \xi_2 + \frac{(1 - \tau) R_1 (R_{10} \xi_2 - X_{10} \rho_2)}{Z_{10}^2} \quad (24)$$

$$\zeta_{2\infty} = \arctg \frac{X_{2\infty}}{R_{2\infty}} \quad (25)$$

Die scheinbare primäre Impedanz bei Stillstand (Kurzschlußimpedanz) ($s = 1$):

$$\mathfrak{B}_{1K} = \mathfrak{B}_1 - \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{R_2 + \mathfrak{X}_2} = R_1 + \tau \mathfrak{X}_1 + \frac{(1 - \tau) R_2 \mathfrak{X}_1}{R_2 + \mathfrak{X}_2} \quad (26)$$

$$\mathfrak{B}_{1K} = R_{1K} + j X_{1K} = Z_{1K} e^{j \zeta_{1K}} \quad (27)$$

$$R_{1K} = R_{1\infty} + \frac{(1 - \tau) R_2 (R_{20} \rho_1 + X_{20} \xi_1)}{Z_{20}^2}$$

$$X_{1K} = X_{1\infty} + \frac{(1 - \tau) R_2 (R_{20} \xi_1 - X_{20} \rho_1)}{Z_{20}^2} \quad (28)$$

$$\zeta_{1K} = \operatorname{arctg} \frac{X_{1K}}{R_{1K}} \quad (29)$$

Die scheinbare sekundäre Impedanz bei Stillstand (Kurzschlußimpedanz) ($s = 1$):

$$\mathfrak{B}_{2K} = R_2 + \mathfrak{X}_2 - \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{R_1 + \mathfrak{X}_1} \quad (30)$$

$$\mathfrak{B}_{2K} = R_{2K} + j X_{2K} = Z_{2K} e^{-j \zeta_{2K}} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} R_{2K} &= R_2 + R_{2\infty} \\ X_{2K} &= X_{2\infty} \end{aligned} \quad (32)$$

$$\zeta_{2K} = \operatorname{arctg} \frac{X_{2K}}{R_{2K}} \quad (33)$$

2. Das Spannungsdiagramm.

Mit diesen Bezeichnungen lauten die Spannungsgleichungen für den Primär- und Sekundärkreis der AM

$$U_1 = \mathfrak{B}_1 \mathfrak{I}_1 + \mathfrak{X}_{21} \mathfrak{I}_2 \quad (34)$$

$$U_2 = \mathfrak{B}_2 \mathfrak{I}_2 + s \mathfrak{X}_{12} \mathfrak{I}_1 \quad (35)$$

Das primäre Spannungsdiagramm ist in Figur 1 für eine unkompenzierte AM ($U_2 = 0$), in Figur 8 für eine kompenzierte AM dargestellt. Die Konstanten der AM sind für diese Figuren nicht in den üblichen Größenverhältnissen dargestellt, sondern so gewählt, daß sich eine bequeme Beschriftung der Diagramme ergibt.

Die vom Hauptfeld induzierten Spannungen sind

$$\mathcal{E}_1 = - \mathfrak{X}_{11} \mathfrak{I}_1 - \mathfrak{X}_{21} \mathfrak{I}_2 \quad (36)$$

$$s \mathcal{E}_2 = - s \mathfrak{X}_{22} \mathfrak{I}_2 - s \mathfrak{X}_{12} \mathfrak{I}_1 \quad (37)$$

Unter Verwendung dieser Spannungen an Stelle der Eigen- und Gegenreaktanzspannungen ist das Diagramm der unkompensierten AM in Figur 2 für motorischen, in Figur 3 für generatorischen Betrieb nochmals dargestellt. Je nach dem Vorzeichen der Schlüpfung eilt der Sekundärstrom dem Hauptfluß nach oder vor und bedingt ein motorisches oder generatorisches Drehmoment.

In Figur 3 ist zu beachten, daß der Sekundärstrom \mathfrak{I}_2 seiner erzeugenden Spannung $s\mathfrak{E}_2$ scheinbar voreilt, da im Raum-Zeit-Diagramm alle Größen vom Primärkreis aus betrachtet werden. Das Diagramm ist aus diesem Grunde auch ohne weiteres für eine läufergespeiste AM gültig. Es ist jedoch zu beachten, daß trotz Voreilung im Raum-Zeit-Diagramm stets zeitliche Nacheilung des Stromes hinter der Spannung besteht, da die für die zeitliche Folge der Größen des Sekundärkreises maßgebende Zeitaxe bei negativer Schlüpfung entgegen dem Uhrzeigersinn rotiert (L. 15).

Das sekundäre Spannungsdiagramm, wie es sich für einen relativ zur Sekundärwicklung ruhenden Beobachter ergibt, unterscheidet sich somit von dem primären durch die Rotationsgeschwindigkeit und Richtung der Zeitaxe. Diese rotiert mit Schlupffrequenz und ändert mit Durchgang der Schlüpfung durch Null ihre Drehrichtung. Der Sekundärstrom \mathfrak{I}_2 eilt der Spannung $s\mathfrak{E}_2$ stets nach.

Wird der Sekundärstrom über Schleifringe aus dem Läufer der AM herausgeführt, so können in diesem Teil mit Schlupffrequenz induzierte Spannungen im sekundären Diagramm bei Beachtung der Rotationsgeschwindigkeit der Zeitaxe ohne weiteres eingezeichnet werden, während in dem auf primär bezogenen Diagramm auf das Vorzeichen der Schlüpfung Rücksicht zu nehmen ist.

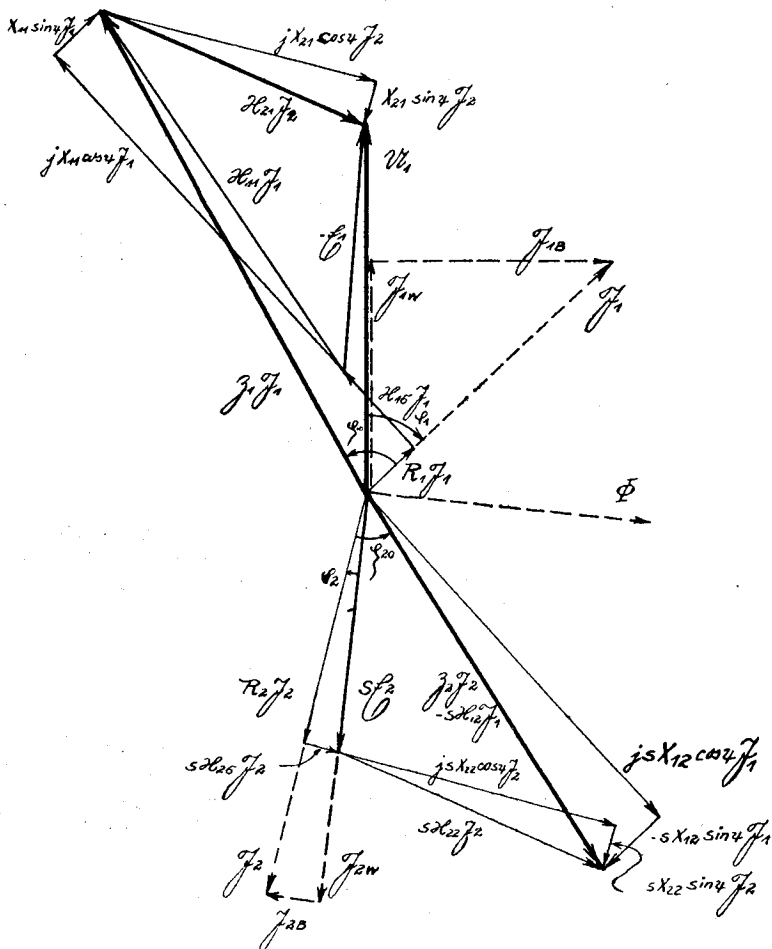
Der mit dem Durchgang durch Synchronismus verbundene Richtungswechsel der relativen Geschwindigkeit zwischen Läufer und Feld, d. h. die Umkehr der Drehrichtung des sekundären Drehfeldes erschwert bei manchen Schaltungen die gleichzeitige Kompensation der AM, sowohl bei unter- wie bei übersynchronen Drehzahlen.

Eine besonders einfache Darstellung für den sekundären Stromkreis ergibt sich, wenn das Diagramm den Primärstrom nicht enthält (L. 9, S. 6). Durch Kombination der Gleichungen 34 und 35 kann wahlweise eine Gleichung ohne den Primärstrom oder ohne den Sekundärstrom abgeleitet werden. Da bei Kaskadenschaltungen die Zusatzspannung im Sekundärkreis induziert wird, ist die Gleichung für den Sekundärstromkreis besonders wichtig. Wählt man als konstante Bezugsgröße statt der primären Klemmenspannung die im offenen Sekundärkreis ($\mathfrak{I}_2 = 0$) bei Stillstand induzierte sekundäre Stillstandsspannung \mathfrak{E}_{20} , so ergibt sich die besonders einfache Gleichung:

$$U_2 + s\mathfrak{E}_{20} = (R_2 + s\mathfrak{Z}_{2\infty}) \mathfrak{I}_2 \quad (38)$$

Die sekundäre Stillstandsspannung beträgt:

$$\mathfrak{E}_{20} = - \frac{\mathfrak{X}_{12}}{\mathfrak{Z}_1} U_1 \quad (39)$$



Figur 1. Spannungsdiagramm der unkompensierten AM.

$$(U_2 = 0)$$

Gleichung 38 enthält außer den Konstanten der AM nur die dem Sekundärkreis aufgedrückte Spannung und den Sekundärstrom, sowie die bei konstanter Primärspannung konstante sekundäre Stillstandsspannung. Sie gestattet den Sekundärkreis so zu betrachten, wie wenn er mit dem Primärkreis nicht verkettet wäre. Dieser Gleichung entsprechen die überaus einfachen Diagramme Figur 4a für eine unkompensierte und Figur 4b für eine kompenzierte AM.

3. Das Stromdiagramm.

Aus Gleichung 34 und 35 ergibt sich durch Elimination von \mathfrak{J}_2 oder \mathfrak{J}_1 die Gleichung für die primäre oder sekundäre Admittanz:

$$\mathfrak{Y}_1 = \frac{\mathfrak{J}_1}{U_1} = \frac{R_2 + sX_2 - X_{21} \frac{U_2}{U_1}}{R_2 \mathfrak{Z}_1 + sX_2 \mathfrak{Z}_{1\infty}} \quad (40)$$

$$\mathfrak{Y}_2' = \frac{\mathfrak{J}_2}{U_1} = \frac{-sX_{12} + \mathfrak{Z}_1 \frac{U_2}{U_1}}{R_2 \mathfrak{Z}_1 + sX_2 \mathfrak{Z}_{1\infty}} \quad (41)$$

Auch hier kann der Sekundärstrom statt auf die primäre Klemmenspannung auf die sekundäre Stillstandsspannung bezogen werden. Dann ergibt sich aus Gleichung 41 und 39 oder direkt aus 38:

$$\mathfrak{Y}_2 = \frac{\mathfrak{J}_2}{\mathfrak{E}_{20}} = \frac{s + \frac{U_2}{\mathfrak{E}_{20}}}{R_2 + s \mathfrak{Z}_{2\infty}} \quad (42)$$

Primär- und Sekundärstrom oder primäre und sekundäre Admittanz können mit Hilfe des ideellen Leerlaufmagnetisierungsstromes aus einander berechnet werden. Der primäre bzw. sekundäre Leerlaufmagnetisierungsstrom ergibt sich für $\mathfrak{J}_2 = 0$ bzw. $\mathfrak{J}_1 = 0$ aus Gleichung 34 zu:

$$\mathfrak{J}_{1m} = \frac{U_1}{\mathfrak{Z}_1} = \frac{-\mathfrak{E}_{20}}{X_{12}} \quad (43)$$

$$\mathfrak{J}_{2m} = \frac{U_1}{X_{21}} = \frac{-\mathfrak{Z}_1}{X_{12} X_{21}} \mathfrak{E}_{20} \quad (44)$$

Mit diesen Gleichungen ergeben sich aus Gleichung 34 die folgenden Bedingungen zum Uebergang von primär auf sekundär und umgekehrt:

$$\mathfrak{J}_1 = \frac{X_{21}}{\mathfrak{Z}_1} (\mathfrak{J}_{2m} - \mathfrak{J}_2) \quad (45)$$

$$\mathfrak{J}_2 = \frac{\mathfrak{Z}_1}{X_{21}} (\mathfrak{J}_{1m} - \mathfrak{J}_1) \quad (46)$$

$$\mathfrak{Y}_1 = \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{Z}_1^2 \mathfrak{G}_{21}} (\mathfrak{S}_2 - \mathfrak{S}_{2m}) \quad (47)$$

$$\mathfrak{Y}_2 = \frac{\mathfrak{Z}_1^2}{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21} \mathfrak{U}_1} (\mathfrak{S}_1 - \mathfrak{S}_{1m}) \quad (48)$$

Mit Hilfe dieser Gleichungen kann aus dem für den Primärkreis gezeichneten Diagramm der Sekundärstrom nach Größe und Richtung entnommen werden und umgekehrt der Primärstrom aus dem Diagramm für den Sekundärstrom. Der eine Strom entsteht stets aus den andern durch Multiplikation mit einem konstanten Vektor und Addition eines konstanten Vektors. Für die Darstellung im Diagramm entspricht dies einer Maßstabsänderung, Drehung und Verschiebung des Koordinatensystems. Dadurch wird der Charakter der dargestellten Strom- oder Admittanzkurve in keiner Weise geändert. Primär- und Sekundärstrom beschreiben also stets gleiche Kurven. Es genügt daher, immer nur eines der beiden Diagramme darzustellen.

Das Stromdiagramm der unkompenzierten AM ergibt sich aus den Gleichungen 40–42 für $\mathfrak{U}_2 = 0$. Die primäre Admittanz wird:

$$\mathfrak{Y}_1^* = \frac{\mathfrak{R}_2 + s \mathfrak{X}_2}{\mathfrak{R}_2 \mathfrak{Z}_1 + s \mathfrak{X}_2 \mathfrak{Z}_{1\infty}} \quad (49)$$

Das ist die Gleichung eines Kreises in Funktion des Parameters s . Dieselbe Kurve ergibt sich nach dem Vorangehenden auch für die sekundäre Admittanz. Der Stromkreis der unkompenzierten AM wird im folgenden stets als Grundkreis bezeichnet. Dabei sind im Ohmschen Widerstand und in der Streureaktanz des Sekundärkreises Ohmscher Widerstand und Streureaktanz der HM inbegriffen, sofern nicht Verzweigungen des Sekundärkreises eine solche Zusammenfassung verbieten. Der Grundkreis bezieht sich also stets auf die AM mit zugeschalteter aber spannungsloser HM. Ohmscher Widerstand und Streureaktanz des Arbeitsstromkreises der HM brauchen dann nicht weiter berücksichtigt zu werden. An Stelle der den Schleifringen der AM aufgedrückten Klemmenspannung \mathfrak{U}_2 tritt die vom Hauptfeld im Anker der HM induzierte Spannung \mathfrak{G}_3 .

Die Gleichung eines Kreises allgemeiner Lage lautet in vektorieller Schreibweise:

$$\mathfrak{K} = \frac{\mathfrak{A} + s \mathfrak{B}}{\mathfrak{C} + s \mathfrak{D}} = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{D}} + \frac{\mathfrak{A} - \frac{\mathfrak{B} \mathfrak{C}}{\mathfrak{D}}}{1 + s \frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{C}}} = \mathfrak{K}_\infty + \frac{\mathfrak{K}_0 - \mathfrak{K}_\infty}{1 + s \frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{C}}} = \mathfrak{K}_\infty + \mathfrak{K}_U \quad (50)$$

\mathfrak{K}_0 und \mathfrak{K}_∞ sind die Kreispunkte für das Argument $s = 0$ und $s = \infty$.

$$\mathfrak{K}_U = \frac{\mathfrak{K}_0 - \mathfrak{K}_\infty}{1 + s \frac{\mathfrak{D}}{\mathfrak{C}}} \quad (51)$$

ist die Gleichung eines Kreises durch den Ursprung (L. 3). Der Vektor

nach dem Kreismittelpunkt berechnet sich aus den Konstanten der Gleichung eines Kreises allgemeiner Lage (L. 14) zu:

$$\mathfrak{M}_K = \frac{\mathfrak{A}\hat{\mathfrak{D}} - \mathfrak{B}\hat{\mathfrak{C}}}{\hat{\mathfrak{C}}\hat{\mathfrak{D}} - \hat{\mathfrak{D}}\hat{\mathfrak{C}}} \quad (52)$$

Die Koordinaten \mathfrak{M}_K' und \mathfrak{M}_K'' des Kreismittelpunktes ergeben sich durch Zerlegen der Konstanten der Kreisgleichungen in ihre reellen und imaginären Komponenten.

$$\mathfrak{M}_K' = \frac{A'D' - A'D'' + B'C' - B''C''}{2(C'D' - C'D'')} \quad (53)$$

$$\mathfrak{M}_K'' = \frac{B'C' + B''C'' - A'D' - A''D''}{2(C'D' - C'D'')} \quad (54)$$

Der Kreisdurchmesser ist der doppelte absolute Betrag des Differenzvektors, gebildet aus dem Vektor nach dem Kreismittelpunkt und einem Vektor an einen beliebigen Kreispunkt.

$$d_K = 2 | \mathfrak{R} - \mathfrak{M}_K | \quad (55)$$

Die ausgezeichneten Punkte des primären Grundkreises sind

1. Der ideelle Leerlaufpunkt. $s = 0$.

$$\mathfrak{Y}_{10}^* = \frac{1}{\mathfrak{Z}_1} = \frac{1}{Z_{10}^2} (R_{10} - jX_{10}) \quad (56)$$

2. Der Kurzschlußpunkt. $s = 1$.

$$\mathfrak{Y}_{1K}^* = \frac{1}{\mathfrak{Z}_1 - \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{R_2 + \mathfrak{X}_2}} = \frac{1}{\mathfrak{Z}_{1K}} = \frac{1}{Z_{1K}^2} (R_{1K} - jX_{1K}) \quad (57)$$

3. Der ideelle Kurzschlußpunkt. $s = \infty$.

$$\mathfrak{Y}_{1\infty}^* = \frac{1}{\mathfrak{Z}_1 - \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{X}_2}} = \frac{1}{\mathfrak{Z}_{1\infty}} = \frac{1}{Z_{1\infty}^2} (R_{1\infty} - jX_{1\infty}) \quad (58)$$

Durch diese drei Punkte ist der Grundkreis bestimmt. Zur graphischen Konstruktion kann z. B. einer dieser Punkte und der Kreismittelpunkt verwendet werden. Wirklicher und ideeller Kurzschlußpunkt liegen nahe beisammen, da $R_2 \ll X_2$, und fallen bei vernachlässigbar kleinem Sekundärwiderstand miteinander zusammen.

Der Vektor nach dem Kreismittelpunkt ist .

$$\mathfrak{M}_{Y1}^* = \frac{\hat{\mathfrak{X}}_2 \hat{\mathfrak{Z}}_{1\infty} - \mathfrak{X}_2 \hat{\mathfrak{Z}}_1}{\mathfrak{Z}_1 \hat{\mathfrak{X}}_2 \hat{\mathfrak{Z}}_{1\infty} - \hat{\mathfrak{Z}}_1 \mathfrak{X}_2 \mathfrak{Z}_{1\infty}} \quad (59)$$

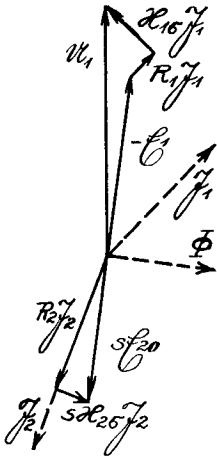


Fig. 2: Primäres Spannungsdiagramm des unkompenzierten Asynchronmotors.

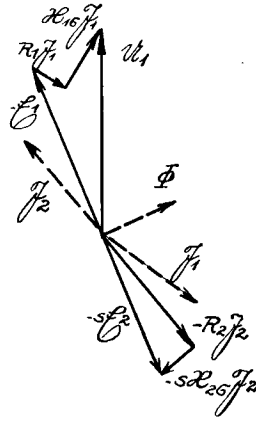
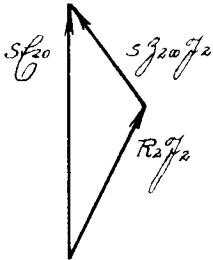
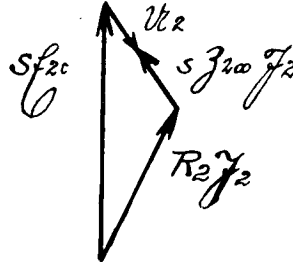


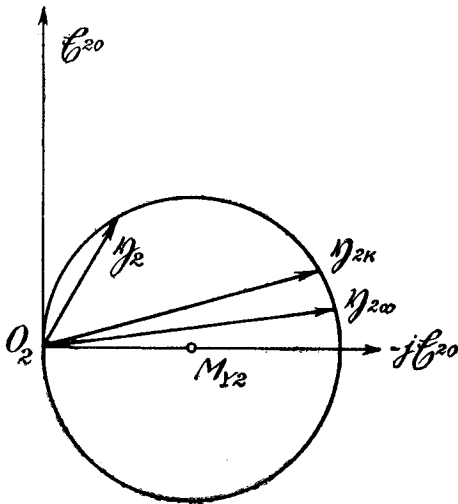
Fig. 3: Primäres Spannungsdiagramm des unkompenzierten Asynchrongenerators.



Figur 4a: Sekundäres Spannungsdiagramm der unkompenzierten AM.



Figur 4b: Sekundäres Spannungsdiagramm der kompensierten AM.



Figur 5:
Sekundäres Admittanzdiagramm der unkompenzierten AM.

Seine Koordinaten $M_{Y_1}^{*'}$ und $M_{Y_1}^{*''}$ sind

$$M_{Y_1}^{*'} = \frac{\varrho_2 (X_{10} - X_{1\infty}) - \xi_2 (R_{10} + R_{1\infty})}{2 \{X_{10} (\varrho_2 R_{1\infty} - \xi_2 X_{1\infty}) - R_{10} (\varrho_2 X_{1\infty} + \xi_2 R_{1\infty})\}} \quad (60)$$

$$M_{Y_1}^{*''} = \frac{\varrho_2 (R_{10} - R_{1\infty}) + \xi_2 (X_{10} - X_{1\infty})}{2 \{X_{10} (\varrho_2 R_{1\infty} - \xi_2 X_{1\infty}) - R_{10} (\varrho_2 X_{1\infty} + \xi_2 R_{1\infty})\}} \quad (61)$$

Der Tangens des primären Phasenverschiebungswinkels ergibt sich als Quotient der imaginären und reellen Komponente der primären Admittanz in Gleichung 63:

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{Y_1^{*''}}{Y_1^{*'}} = \frac{-(R_2 + s \varrho_2) \{R_2 X_{10} + (\varrho_2 X_{1\infty} + \xi_2 R_{1\infty})s\} + \xi_2 s \{R_2 R_{10} + (\varrho_2 R_{1\infty} - \xi_2 X_{1\infty})s\}}{(R_2 + s \varrho_2) \{R_2 R_{10} + (\varrho_2 R_{1\infty} - \xi_2 X_{1\infty})s\} + \xi_2 s \{R_2 X_{10} + (\varrho_2 X_{2\infty} + \xi_2 R_{1\infty})s\}}$$

Bedeutend besser als aus dieser Formel ersieht man jedoch den Verlauf des Leistungsfaktors aus dem Admittanzdiagramm.

Wie erwähnt, kann auch zuerst das sekundäre Stromdiagramm konstruiert werden und aus diesem dann nachträglich der Primärstrom entnommen werden. Die Gleichung für die sekundäre Admittanz lautet

$$\mathfrak{Y}_2^* = \frac{s}{R_2 + s \mathfrak{Z}_{2\infty}} \quad (63)$$

Für die ausgezeichneten Punkte des sekundären Grundkreises gelten die besonders einfachen Bestimmungsgleichungen

$$\mathfrak{Y}_{20}^* = 0 \quad (64)$$

$$\mathfrak{Y}_{2K}^* = \frac{1}{R_2 + \mathfrak{Z}_{2\infty}} = \frac{1}{\mathfrak{Z}_{2K}} = \frac{R_{2K} - j X_{2K}}{R_{2K}^2 + X_{2K}^2} \quad (65)$$

$$\mathfrak{Y}_{2\infty}^* = \frac{1}{\mathfrak{Z}_{2\infty}} = \frac{R_{2\infty} - j X_{2\infty}}{R_{2\infty}^2 + X_{2\infty}^2} \quad (66)$$

Der Vektor nach dem Kreismittelpunkt wird

$$\mathfrak{M}_{Y_2}^* = \frac{1}{\mathfrak{Z}_{2\infty} - \hat{\mathfrak{Z}}_{2\infty}} = \frac{-j}{2 X_{2\infty}} \quad (67)$$

Aus dieser Gleichung ergeben sich die Koordinaten sofort zu

$$M_{Y_2}^{*'} = 0$$

$$M_{Y_2}^{*''} = \frac{-1}{2 X_{2\infty}} \quad (68)$$

Da der sekundäre Stromkreis durch den Koordinatenursprung geht, ist der Vektor nach dem Kreismittelpunkt gleichzeitig ein Radius. Der Kreisdurchmesser ergibt sich somit zu

$$d_2^* = \frac{1}{X_{2\infty}} \quad (69)$$

Das sekundäre Admittanzdiagramm einer AM ist somit ein Kreis durch den Ursprung des Koordinatensystems, der Mittelpunkt liegt auf der imaginären Axe, der Durchmesser ist umgekehrt proportional der imaginären Komponente der scheinbaren sekundären Impedanz, d. h. der scheinbaren sekundären Reaktanz im ideellen Kurzschluß (Figur 5). Danach ist das sekundäre Admittanzdiagramm durch diese Reaktanz (Gleichung 24) bereits bestimmt.

Die primäre Admittanz berechnet sich nun nach Gleichung 49. Zur direkten Entnahme aus dem Diagramm ist ein neues, um $-\frac{\mathfrak{B}_1^2}{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}$ verschobenes und um das Argument von $\frac{\mathfrak{B}_1^2}{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}$, d. h. den Winkel $2(\zeta_{10} + \psi) - \pi$ gedrehtes Koordinatensystem einzuführen, dessen reelle Axe in Figur 6 mit \mathbf{U}_1 bezeichnet ist. Werden die Vektoren vom Ursprung dieses neuen Koordinatensystems mit dem Maßstabsfaktor $\frac{X_{12} X_{21}}{Z_1^2}$ multipliziert oder mit einem entsprechend reduzierten Maßstab gemessen, so stellen sie die primäre Admittanz dar. Diese Konstruktion ergibt sich ohne weiteres aus den Gleichungen 39 und 47 oder 48, wobei zu beachten ist, daß die primäre Admittanz auf die primäre Klemmenspannung, die sekundäre Admittanz auf die sekundäre Stillstandsspannung bezogen ist.

Der Durchmesser des primären Grundkreises berechnet sich nach den oben angeführten Gleichungen zu:

$$d_1^* = \frac{X_{12} X_{21}}{X_{2\infty} Z_1^2} \quad (70)$$

Geht man umgekehrt vom primären auf das sekundäre Diagramm, so beträgt die Verschiebung des Koordinatensystems infolge der Maßstabsverschiedenheit in den beiden Diagrammen $-\frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{B}_1^2} \cdot \frac{-\mathfrak{B}_1}{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}} = \frac{1}{\mathfrak{B}_1}$ und die Drehung erfolgt in umgekehrtem Sinne um denselben Winkel. Der Maßstabsfaktor für die sekundären Größen wird $\frac{Z_1^2}{X_{12} X_{21}}$.

Die ausgezeichneten Punkte des Admittanzdiagrammes sind mit Y_0 , Y_K und Y_∞ bezeichnet. Die Abszissenaxe des primären Diagrammes ist als normale zur Klemmenspannung die Leistungslinie. Punkte über ihr entsprechen verbrauchter, Punkte unter ihr generierter Leistung, d. h. motorischem oder generatorischem Betrieb der AM. Das Drehmoment wird Null und ändert sein Vorzeichen in den Punkten Y_0 und Y_∞ , zwischen diesen und der Abszissenaxe wird der AM elektrische und mechanische Energie zugeführt.

Der Leistungsfaktor nimmt erst mit zunehmender Belastung zu, von einem bestimmten Belastungspunkt an wieder ab. Er ist für generatorischen Betrieb, bezogen auf gleiche elektrische Leistung, stets schlechter als für motorischen.

Wie erwähnt, werden die primären Größen auf die primäre Klemmenspannung, die sekundären Größen auf die sekundäre Stillstandsspannung bezogen, und diese ihrerseits sind im Diagramm so gelegt, daß derselbe Kreis für beide Systeme als geometrischer Ort der Admittanzvektoren dient. Um die wirkliche gegenseitige Lage primärer und sekundärer Größen aus dem Diagramm zu entnehmen, sind entweder die primären Größen um den Winkel $-\left(\frac{\pi}{2} + \psi + \zeta_{10}\right)$ oder die sekundären um $\frac{\pi}{2} + \psi + \zeta_{10}$ zu verdrehen, da ja die reellen Axen der beiden Koordinatensysteme den Winkel $\pi + 2(\psi + \zeta_{10})$ (negatives Argument des Faktors von Gleichungen 47 und 48) miteinander einschließen, während die primäre Klemmenspannung und die sekundäre Stillstandsspannung gemäß Gleichung 39 um den Winkel $\frac{\pi}{2} + \psi + \zeta_{10}$ gegeneinander phasenverschoben sind. In Figur 6 ist \mathcal{G}_{20}' die Richtung der sekundären Stillstandsspannung bezüglich der primären Klemmenspannung und umgekehrt \mathcal{U}_1'' die primäre Klemmenspannung bezogen auf die sekundäre Stillstandsspannung.

Da der Winkel $\varepsilon = \frac{\pi}{2} - \psi - \zeta_{10}$ zwischen Klemmenspannung und sekundärer Stillstandsspannung im allgemeinen sehr klein ist, kann man sich im sekundären Diagramm auch ohne Einzeichnung der primären Größen sehr leicht orientieren.

4. Begriff der Kompensation.

Zerlegt man den Primärstrom in zwei Komponenten, den Wirkstrom \mathfrak{J}_{1W} in Phase oder Gegenphase mit der Klemmenspannung \mathcal{U}_1 und den Blindstrom \mathfrak{J}_{1B} in Quadratur mit der Klemmenspannung, so ist der Wirkstrom der verbrauchten oder erzeugten elektrischen Leistung proportional. Der Blindstrom dient zur Erzeugung des magnetischen Feldes; er überträgt eine um den Mittelwert Null pulsierende Leistung. Der Wirkstrom sei beim Motor mit der Klemmenspannung in Phase, beim Generator in Gegenphase; der Blindstrom eilt der Klemmenspannung stets nach.

Beachtet man, daß die Leitungen, Transformatoren und Generatoren nicht nur für den Wirkstrom, dem die übertragene Leistung proportional ist, sondern für den um den Magnetisierungsstrom vergrößerten Gesamtstrom bemessen sein müssen, mit dem die Verluste quadratisch steigen, so tritt die Bedeutung der Verkleinerung des Primärstromes der AM auf den kleinstmöglichen Wert, d. h. der Phasenkompensation klar zu Tage (L. 2).

Der für einen bestimmten Belastungszustand erforderliche Magnetisierungsstrom der AM, bzw. dessen AW werden durch den Primär-

und Sekundärstrom zusammen erzeugt. Dabei ist es gleichgültig, welcher der beiden Ströme eine Komponente in Richtung des Magnetisierungsstromes besitzt und damit das magnetische Feld erzeugt. Gegeben sind nur die Wirkkomponente des Primärstromes durch die primär zugeführte elektrische Leistung und die zum Hauptkraftfluß senkrechte Komponente des Sekundärstromes durch das Drehmoment. Wird nun für den primären Blindstrom ein bestimmter Wert vorgeschrieben, z. B. Null, so ist damit die mit dem Fluß zusammenfallende Komponente des Sekundärstromes bestimmt. Umgekehrt kann durch Wahl des sekundären Blindstromes die Phase des Primärstromes beliebig eingestellt werden. Der Sekundärstrom ist gegeben durch die im Sekundärkreis induzierten Spannungen und den Ohmschen und induktiven Widerstand des Sekundärkreises (Gleichung 38). Wie im vorangehenden Abschnitt dargelegt (Figur 1—5), besitzt der Sekundärstrom der unkompenzierten AM stets eine Komponente entgegen der Richtung des Magnetisierungsstromes, die durch den primären Blindstrom, der allein das Feld der unkompenzierten AM erregt, kompensiert wird. Die Nacheilung des Sekundärstromes hinter der im Sekundärkreis induzierten Spannung $s_{\mathcal{E}_2}$ ist dabei infolge der sekundären Reaktanz umso größer, je größer der Schlupf ist.

Maschinen, die, an die Schleifringe der AM angeschlossen, den Sekundärstrom in Richtung des Hauptkraftflusses, d. h. im Sinn der Voreilung, verschieben und damit die AM kompensieren, werden Phasenschieber, Kompensatoren, Drehstromerregemaschinen oder einfach Hintermaschinen genannt. Im folgenden wird für beliebige Maschinen zur Phasenkompensation stets die Bezeichnung Hintermaschine (HM) verwendet, während die Bezeichnung Phasenschieber (Ph) für HM ohne mechanisches Drehmoment und Erregemaschine (EM) für die Erregemaschine einer HM reserviert bleiben (vgl. S. 45).

Das nächstliegende und älteste Mittel, den Sekundärstrom im gewünschten Sinn zu verdrehen, ist die Einführung einer dem Sekundärstrom voreilenden Spannung in den Sekundärkreis. Aber auch eine mit dem Sekundärstrom zusammenfallende oder gar diesem nacheilende Spannung kann unter Umständen durch ihre Einwirkung auf die Drehzahl der AM und die dadurch bedingte Aenderung der von der Schlüpfung abhängigen Reaktanzen kompensierend wirken. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Kompensationsspannungen findet sich im folgenden Kapitel.

5. Einfluß der Kompensationsspannung auf die Drehzahl der Asynchronmaschine.

Infolge der zur Kompensation der AM dem Sekundärkreis aufgedrückten Spannung ändern Primär- und Sekundärstrom Größe und Richtung. Soll für konstantes Drehmoment die Drehzahl konstant bleiben, so muß die Kompensationsspannung u_2 so gewählt werden, daß bei

unveränderter Spannung $s\mathcal{E}_2$ die mit dieser Spannung zusammenfallende Komponente des Sekundärstromes \mathfrak{I}_{2w} konstant bleibt. Die vom Hauptkraftfluß induzierte Spannung $s\mathcal{E}_2$ wird dabei als der Schlüpfung direkt proportional angenommen, d. h. die Aenderungen des Hauptkraftflusses mit dem Leistungsfaktor werden vernachlässigt.

Unter diesen Voraussetzungen ist der Einfluß einer dem Sekundärkreis aufgedrückten Spannung auf die Drehzahl der AM im Spannungsdiagramm aus der Größe der im Sekundärkreis der AM induzierten Spannung $s\mathcal{E}_2$ ersichtlich. Die Kompensationsspannung sei z. B. so gewählt, daß sie bei der einer bestimmten Belastung der AM entsprechenden Schlüpfung s^* keinen Einfluß auf die Drehzahl der AM habe. Dann kann für den Schlupf s^* der Sekundärstrom in seine beiden Komponenten bezüglich $s^*\mathcal{E}_2$ zerlegt werden: $\mathfrak{I}_2 = (a' + ja'') s^*\mathcal{E}_2$, wobei a' konstant ist, während a'' beliebige reelle Werte annehmen kann. Die Kompensationsspannung muß somit der Gleichung genügen: (71)

$$U_2 = -s^*\mathcal{E}_2 + (R_2 + s^*X_2\sigma)\mathfrak{I}_2 = s^*\mathcal{E}_2\{(R_2 + sX_2\sigma)a' - 1 + j(R_2 + sX_2\sigma)a''\}$$

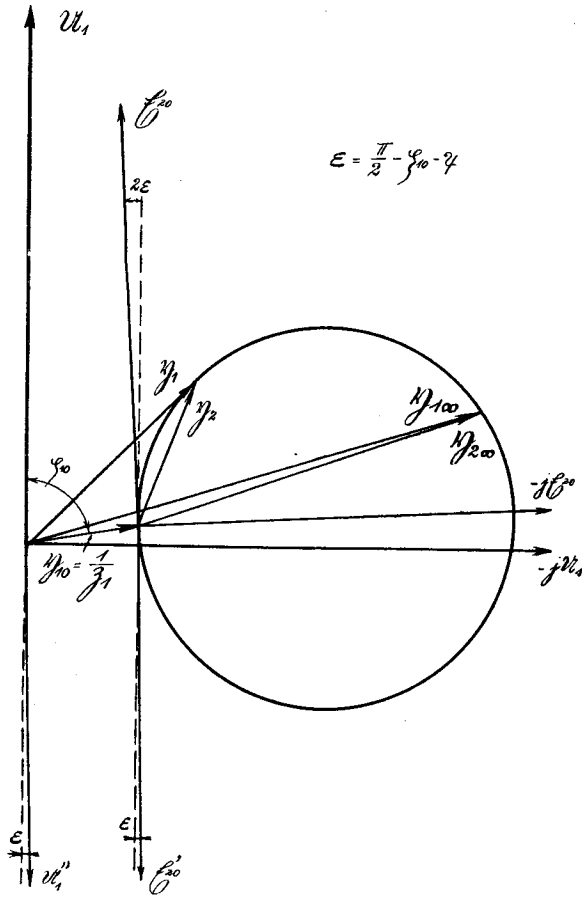
Das ist die Gleichung einer Geraden $u-u$ mit dem Neigungswinkel $\frac{\pi}{2} - \varphi_2^*$ gegen $s\mathcal{E}_2$. Wie in Figur 7 dargestellt, bewegt sich die Spitze des Sekundärstromes in Funktion verschieden großer Kompensationsspannungen dieser Richtung auf einer Normalen $i-i$ zu $s\mathcal{E}_2$. Der Winkel φ_2^* ist abhängig vom Ohmschen Widerstand und der Streureaktanz des Sekundärkreises gemäß

$$\operatorname{tg} \varphi_2^* = \frac{s^* X_2 \sigma}{R_2} \quad (72)$$

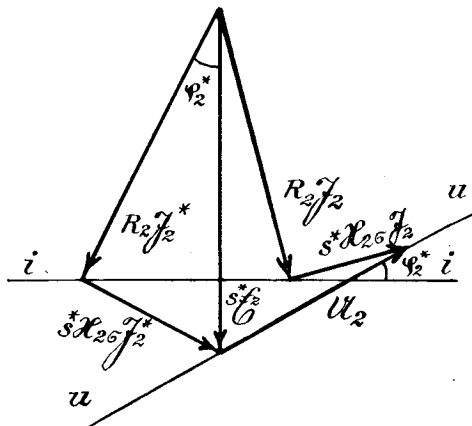
Eine Kompensationsspannung beliebiger Größe, die mit $s\mathcal{E}_2$ den Winkel $\frac{\pi}{2} - \varphi_2^*$ einschließt, hat somit bei einer der Schlüpfung s^* entsprechenden Belastung keinen Einfluß auf die Drehzahl der AM. Sie wirkt nur auf Größe und Phase von Primär- und Sekundärstrom ein. Da der Winkel φ_2^* seinen Wert mit der Belastung ändert, muß die Kompensationsspannung ihre Richtung gegenüber $s\mathcal{E}_2$ ebenfalls mit der Belastung ändern, wenn sie über das ganze Belastungsgebiet keinen Einfluß auf die Drehzahl haben soll.

Berücksichtigt man, daß $s\mathcal{E}_2$ annähernd gleiche oder entgegengesetzte Richtung wie die primäre Klemmenspannung hat und daß für kleinen Schlupf φ_2^* angenähert null wird, so beeinflusst eine mit der primären Klemmenspannung in Quadratur stehende Kompensationsspannung nur den Leistungsfaktor der AM. Während, je nachdem die AM unter- oder übersynchron läuft, eine Kompensationsspannung gleicher Richtung wie die primäre Klemmenspannung eine Vergrößerung oder Verkleinerung, eine solche entgegengesetzter Richtung eine Verkleinerung oder Vergrößerung der Schlüpfung der AM bewirkt.

Figur 6:
Primäres und sekundäres Admittanzdiagramm der unkompenzierten AM.



Figur 7:
Richtung der Kompensationsspannung ohne Einfluß auf die Schlüpfung s^* der AM.



II. Der Einfluß der Kompensationsspannung auf das Diagramm der Asynchronmaschine.

1. Allgemeine Gleichungen.

Durch den Anschluß einer HM an die Schleifringe der AM wird die Spannungsgleichung für den Sekundärkreis um die Klemmenspannung der HM erweitert, diejenige für den Primärkreis bleibt unverändert. Bei vom Netz erregter HM ist jedoch zu beachten, daß zur Bestimmung des Netzstromes zum Primärstrom der AM noch der vom Netz bezogene Erregerstrom der HM zu addieren ist (vgl. Abschnitt 7, S. 44). Die Charakteristik der Klemmenspannung der HM bestimmt die Art der Kompensation und alle sonstigen Änderungen im Verhalten der AM.

Im folgenden sollen für einen einfachen, möglichst viele Spannungscharakteristiken in sich schließenden Ansatz für die Kompensationsspannung die Diagramme der kompensierten AM abgeleitet werden. Durch Untersuchung der von den verschiedenen HM erzeugten Klemmenspannung sollen diese nachher anhand der Patentliteratur möglichst auf diese Grundfälle zurückgeführt oder ihre Unterschiede gegenüber diesen besprochen werden.

Die Kompensationsspannung sei in erster Linie abhängig von den zu ihrer Erzeugung in Frage kommenden elektrischen Größen Netzspannung, Primär- und Sekundärstrom, sowie von der Schlüpfung, mit der die Frequenz des Sekundärstromes und, je nach Antrieb oder Schaltung der EM, auch die Drehzahl der HM sich ändert. Bezieht man die der Netzspannung proportionale Komponente der Kompensationsspannung nicht auf die primäre Klemmenspannung der AM, sondern auf die dieser proportionale sekundäre Stillstandsspannung (Gleichung 39), so lautet der Ansatz für die Kompensationsspannung

$$U_2 = (\mathcal{A}_{10} - s \mathcal{A}_{1s}) \mathfrak{I}_1 + (\mathfrak{B}_{20} - s \mathfrak{B}_{2s}) \mathfrak{I}_2 + (\mathfrak{C}_{20} - s \mathfrak{C}_{2s}) \mathfrak{C}_{20} \quad (73)$$

Die Komponenten der Proportionalitätsfaktoren sind

$$\mathcal{A}_{10} = A_{10}' + j A_{10}'', \quad \mathcal{A}_{1s} = A_{1s}' + j A_{1s}'', \quad \mathfrak{B}_{20} = B_{20}' + j B_{20}'' \text{ usw.} \quad (74)$$

Nach diesem Ansatz bestehen die Komponenten der Kompensationsspannung U_2 einerseits aus den Strömen \mathfrak{I}_1 und \mathfrak{I}_2 und der sekundären Stillstandsspannung \mathfrak{C}_{20} proportionalen Spannungen gleicher Richtung und solchen in Quadratur dazu, andererseits aus solchen, die gleichzeitig noch mit der Schlüpfung veränderlich sind. Diese Komponenten seien konstante (Index 0) und variable (Index s) Nebenschluß-, primäre und sekundäre Hauptstrom-Kompensationsspannung genannt. Dabei bezieht sich konstant und variabel nur auf die Abhängigkeit der Kompensationsspannung von der Schlüpfung. Die konstante primäre und sekundäre Hauptstrom-Kompensationsspannung ändern sich proportional dem Primär- und Sekundärstrom unabhängig von der Schlüpfung, die variablen Kom-

pensationsspannungen sind gleichzeitig noch der Schlüpfung proportional. In Figur 8 ist die Kompensationsspannung \mathfrak{U}_2 mit ihren Komponenten gemäß Gleichung 73 dargestellt.

Zufolge der Abhängigkeit zwischen Primär- und Sekundärstrom läßt sich die primäre Hauptstromspannung durch die sekundäre Hauptstrom- und Nebenschlußspannung darstellen. Mit den Abkürzungen

$$\mathfrak{A}_1 = \mathfrak{A}_{10} - s \mathfrak{A}_{1s}, \quad \mathfrak{B}_2 = \mathfrak{B}_{10} - s \mathfrak{B}_{1s}, \quad \mathfrak{C}_2 = \mathfrak{C}_{20} - s \mathfrak{C}_{2s} \quad (75)$$

und unter Beachtung von Gleichung 44 und 45 ist

$$\mathfrak{A}_1 \mathfrak{J}_1 = \mathfrak{A}_1 \frac{\mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{Z}_1} (\mathfrak{J}_{2m} - \mathfrak{J}_2) = - \frac{\mathfrak{A}_1}{\mathfrak{X}_{12}} (\mathfrak{C}_{20} + \frac{\mathfrak{X}_{12} \mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{Z}_1}) \mathfrak{J}_2 \quad (76)$$

Setzt man weiter

$$\mathfrak{B}_1 = \mathfrak{A}_1 \frac{\mathfrak{X}_{21}}{\mathfrak{Z}_1} \quad \mathfrak{C}_1 = - \frac{\mathfrak{A}_1}{\mathfrak{X}_{12}}, \quad (77)$$

so lautet Gleichung 73:

$$\mathfrak{U}_2 = (\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2) \mathfrak{J}_2 + (\mathfrak{C}_1 + \mathfrak{C}_2) \mathfrak{C}_{20} = \mathfrak{C}_H + \mathfrak{C}_N \quad (78)$$

Die Komponenten der Konstanten betragen:

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}_1 &= \mathfrak{B}_{10} - s \mathfrak{B}_{1s}, & \mathfrak{B}_2 &= \mathfrak{B}_{20} - s \mathfrak{B}_{2s} \\ \mathfrak{C}_1 &= \mathfrak{C}_{10} - s \mathfrak{C}_{1s}, & \mathfrak{C}_2 &= \mathfrak{C}_{20} - s \mathfrak{C}_{2s} \end{aligned} \quad (79)$$

Eine Zusammenfassung nach erzeugten Spannungsarten ergibt:

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_2 \quad \mathfrak{C} = \mathfrak{C}_1 + \mathfrak{C}_2 \quad (80)$$

$$\begin{aligned} \mathfrak{B}_0 &= \mathfrak{B}_{10} + \mathfrak{B}_{20} & \mathfrak{C}_0 &= \mathfrak{C}_{10} + \mathfrak{C}_{20} \\ \mathfrak{B}_s &= \mathfrak{B}_{1s} + \mathfrak{B}_{2s} & \mathfrak{C}_s &= \mathfrak{C}_{1s} + \mathfrak{C}_{2s} \end{aligned} \quad (81)$$

Demnach dienen die Faktoren \mathfrak{B} zur Darstellung der Hauptstromspannungen \mathfrak{C}_H , die Faktoren \mathfrak{C} für die Nebenschlußspannungen \mathfrak{C}_N . Der Index 1 weist auf die Erzeugung durch den Primärstrom, der Index 2 bei der Hauptstromkomponente auf den Sekundärstrom, bei der Nebenschlußkomponente auf eine der sekundären Stillstandsspannung proportionale Spannung, meist die primäre Klemmenspannung. Die Indices 0 und s unterscheiden wie bisher von der Schlüpfung unabhängige und dieser proportionale Spannungskomponenten.

Die Spannungsgleichung der kompensierten AM lautet nun nach Gleichung 38:

$$(s + \mathfrak{C}) \mathfrak{C}_{20} = (R_2 + s \mathfrak{Z}_{2\infty} - \mathfrak{B}) \mathfrak{J}_2 \quad (82)$$

Die sekundäre Admittanz wird:

$$\mathfrak{Y}_2 = \frac{\mathfrak{C}_0 + s(1 - \mathfrak{C}_s)}{R_2 - \mathfrak{B}_0 + s(\mathfrak{Z}_{2\infty} + \mathfrak{B}_s)} \quad (83)$$

Das ist die Gleichung eines Kreises, gleichgültig aus welchen der angenommenen Komponenten die Kompensationsspannung zusammengesetzt ist. Der Charakter der Admittanzkurve ist derselbe geblieben, nur

Lage und Größe haben sich geändert. Ist dagegen die Kompensationsspannung auch von s^2 oder höhern Potenzen von s abhängig, so entstehen im allgemeinen Kurven höherer Ordnung (vgl. Gleichung 63).

Analog wie bei der unkompensierten AM ließe sich der primäre Leistungsfaktor berechnen, die Gleichung wird jedoch noch unübersichtlicher als dort. Es ist deshalb vorteilhafter, diesen dem Stromdiagramm zu entnehmen, dem infolge seiner Kreisform auch weiterhin Nutzleistung, Wirkungsgrad und Ueberlastbarkeit der AM entnommen werden können.

Die folgenden nur für die sekundäre Admittanz abgeleiteten Gleichungen sind auch für die primäre Admittanz sinngemäß gültig, insbesondere gelten die Bedingungen über das Zusammenfallen gewisser Punkte des Admittanzkreises der kompensierten AM mit entsprechenden des Grundkreises ohne weiteres auch für das primäre Admittanzdiagramm.

Diese ausgezeichneten Punkte, sowie die Vektoren von den Grundkreispunkten zu den entsprechenden des Admittanzkreises der kompensierten AM sind:

1. Der ideelle Leerlaufpunkt ($s = 0$)

$$\mathfrak{Y}_{20} = \frac{\mathfrak{C}_0}{R_2 - \mathfrak{B}_0} \quad (84)$$

2. Der Kurzschlußpunkt ($s = 1$)

$$\begin{aligned} \mathfrak{Y}_{2K} &= \frac{\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{C}_s + 1}{R_2 + \mathfrak{Z}_{2\infty} + \mathfrak{B}_s - \mathfrak{B}_0} \\ &= \mathfrak{Y}_{2K}^* + \frac{\mathfrak{C}_0 - \mathfrak{C}_s - \mathfrak{Y}_{2K}^* (\mathfrak{B}_s - \mathfrak{B}_0)}{R_2 + \mathfrak{Z}_{2\infty} + \mathfrak{B}_s - \mathfrak{B}_0} \end{aligned} \quad (85)$$

3. Der ideelle Kurzschlußpunkt ($s = \infty$)

$$\mathfrak{Y}_{2\infty} = \frac{1 - \mathfrak{C}_s}{\mathfrak{Z}_{2\infty} + \mathfrak{B}_s} = \mathfrak{Y}_{2\infty}^* - \frac{\mathfrak{C}_s + \mathfrak{Y}_{2\infty}^* \mathfrak{B}_s}{\mathfrak{Z}_{2\infty} + \mathfrak{B}_s} \quad (86)$$

Durch diese drei Punkte ist der Admittanzkreis bestimmt. Die Konstruktion dieses Kreises aus obigen drei Punkten wäre allerdings etwas mühsam und infolge der meist geringen Differenz zwischen Kurzschluß- und ideellem Kurzschlußpunkt im allgemeinen ungenau. Dagegen ist aus den drei Gleichungen zu ersehen, daß unter gewissen Bedingungen Punkte des neuen Admittanzkreises mit entsprechenden Punkten des Grundkreises zusammenfallen. Für beliebige Konstanten der AM ist dies z. B. der Fall für:

$$\mathfrak{Y}_{20} = \mathfrak{Y}_{20}^* \text{ und } \mathfrak{Y}_{10} = \mathfrak{Y}_{10}^* \text{ wenn } \mathfrak{C}_0 = 0 \quad (87)$$

$$\mathfrak{Y}_{2K} = \mathfrak{Y}_{2K}^* \text{ und } \mathfrak{Y}_{1K} = \mathfrak{Y}_{1K}^* \text{ wenn } \mathfrak{C}_0 = \mathfrak{C}_s \text{ und } \mathfrak{B}_0 = \mathfrak{B}_s \quad (88)$$

$$\mathfrak{Y}_{2\infty} = \mathfrak{Y}_{2\infty}^* \text{ und } \mathfrak{Y}_{1\infty} = \mathfrak{Y}_{1\infty}^* \text{ wenn } \mathfrak{C}_s = 0 \text{ und } \mathfrak{B}_s = 0 \quad (89)$$

Ist eine dieser drei Bedingungen erfüllt, so ist es vorteilhaft, den betreffenden Punkt des Grundkreises zur Konstruktion des Admittanz-

kreises zu benützen. Es ist dann nur noch der Mittelpunkt des sekundären Admittanzkreises zu bestimmen. Nach Gleichung 54 berechnet sich der Mittelpunktsvektor zu

$$\mathfrak{M}_{Y_1} = \frac{\mathfrak{C}_0 (\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} + \hat{\mathfrak{B}}_s) - (1 - \mathfrak{C}_s) (R_2 - \hat{\mathfrak{B}}_0)}{(R_2 - \mathfrak{B}_0) (\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} + \hat{\mathfrak{B}}_s) - (\mathfrak{B}_{2\infty} + \mathfrak{B}_s) (R_2 - \hat{\mathfrak{B}}_0)} \quad (90)$$

Diese Gleichung ist etwas lang geraten, was aber bei Berücksichtigung der im ganzen sechs verschiedenen Komponenten der Kompensationsspannung nicht erstaunlich ist. Als Hauptergebnis sei zusammengefaßt: Mit jeder der durch den Ansatz 73 ausgedrückten Kompensationsspannungen ist das Admittanzdiagramm ein Kreis, dessen Mittelpunkt im allgemeinen vom Mittelpunkt des Grundkreises verschieden ist; ausgezeichnete Punkte fallen unter gewissen Bedingungen mit entsprechenden des Grundkreises zusammen.

Eine gewisse Vereinfachung des allgemeinen Ansatzes läßt sich durch Berücksichtigung der beiden wichtigsten Antriebsarten der HM erreichen. Man unterscheidet allgemein zwischen nur elektrisch und elektrisch und mechanisch mit der VM gekuppelter HM; im ersten Fall spricht man oft auch einfach von elektrisch, im zweiten Fall von mechanisch gekuppelter HM. Die Drehzahl der elektrisch gekuppelten HM und damit meist auch die von ihr erzeugte Kompensationsspannung sind oft von der Schlüpfung der VM unabhängig. Die Drehzahl der mechanisch mit der VM gekuppelten HM beträgt $\omega_3 = \ddot{u} (1 - s) \omega_1$, wobei \ddot{u} eine von den Polzahlen der beiden Maschinen und vom Uebersetzungsverhältnis der Kupplung abhängige Konstante ist. Die Rotationsspannung dieser Maschine wird somit proportional $1 - s$.

Diesen beiden Spannungen entspricht der Ansatz:

$$U_2 = (1 - \sigma s) \mathfrak{B}_\sigma \mathfrak{J}_2 + (1 - \sigma s) \mathfrak{C}_\sigma \mathfrak{C}_{20} \quad (91)$$

Für die nur elektrisch gekuppelte HM ist $\sigma = 0$ zu setzen. Damit wird in den vorangehenden Gleichungen

$$\mathfrak{B}_s = \mathfrak{C}_s = 0 \quad (92)$$

Für die elektrisch und mechanisch gekuppelte HM ist $\sigma = 1$ und damit

$$\mathfrak{B}_0 = \mathfrak{B}_s \quad \mathfrak{C}_0 = \mathfrak{C}_s \quad (93)$$

Ein Vergleich mit Gleichungen 88 und 89 zeigt, daß für diese Spannungseigenschaften für die elektrisch gekuppelte HM der ideale Kurzschlußpunkt und für die elektrisch und mechanisch gekuppelte HM der Kurzschlußpunkt mit dem entsprechenden Punkt des Grundkreises zusammenfällt.

Die Gleichung für den Mittelpunktsvektor lautet für diese Kompensationsspannungen

$$\mathfrak{M}_{Y_2} = \frac{R_2 - \hat{\mathfrak{B}}_\sigma - \mathfrak{C}_\sigma (\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} + \sigma R_2)}{R_2 (\mathfrak{B}_{2\infty} - \hat{\mathfrak{B}}_{2\infty}) + (\mathfrak{B}_\sigma - \hat{\mathfrak{B}}_\sigma) \sigma R_2 + \mathfrak{B}_\sigma \hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} - \hat{\mathfrak{B}}_\sigma \mathfrak{B}_{2\infty}} \quad (94)$$

Die Mittelpunktverschiebung, d. i. der Vektor vom Grundkreismittelpunkt zum Mittelpunkt des neuen Admittanzkreises beträgt:

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{M}_{Y_2} - \mathfrak{M}_{Y_2^*} \quad (95)$$

2. Die Nebenschluß-Kompensationsspannung.

Die Nebenschluß-Kompensationsspannung wird im allgemeinen durch einen besondern Generator erzeugt, oder dem Primärnetz entnommen. In diesem Fall ergibt sich ihre Größe und Richtung zu

$$\mathfrak{E}_N = \mathfrak{D}_1 U_1 = \mathfrak{C}_2 \mathfrak{C}_{20} \quad (96)$$

Der Zusammenschluß zwischen den Faktoren \mathfrak{D}_1 und \mathfrak{C}_1 ergibt sich aus Gleichung 39

$$\mathfrak{C}_2 = - \frac{\mathfrak{B}_1}{\mathfrak{X}_{12}} \mathfrak{D}_1 \quad (97)$$

Meist ist die Nebenschluß-Kompensationsspannung der sekundären Stillstandsspannung allein ($\sigma = 0$), oder dieser und der Schlüpfung proportional ($\sigma = 1$):

$$\mathfrak{E}_N = (1 - \sigma s) \mathfrak{C}_{2\sigma} \mathfrak{C}_{20} = (1 - \sigma s) C_{2\sigma} e^{j\gamma} \mathfrak{C}_{20} \quad (98)$$

Der Kurzschlußpunkt oder der ideelle Kurzschlußpunkt des Grundkreises sind Punkte des neuen Admittanzkreises. Der Stromkreismittelpunkt kann beliebig gewählt werden. Sein Mittelpunktvektor, vom Grundkreismittelpunkt ausgehend, ergibt sich aus Gleichungen 94 und 95 zu:

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{M}_{Y_2} - \mathfrak{M}_{Y_2^*} = \frac{(\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} + \sigma R_2) \mathfrak{C}_{2\sigma}}{R_2 (\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} - \mathfrak{B}_{2\infty})} \quad (99)$$

Da \mathfrak{B}_2 direkt proportional $\mathfrak{C}_{2\sigma}$ ist, beschreibt der Mittelpunkt des Admittanzkreises in Funktion des Parameters $\mathfrak{C}_{2\sigma}$ eine diesem ähnliche Kurve. Die beiden wichtigsten Fälle sind:

a) Die Kompensationsspannung konstanter Phase.

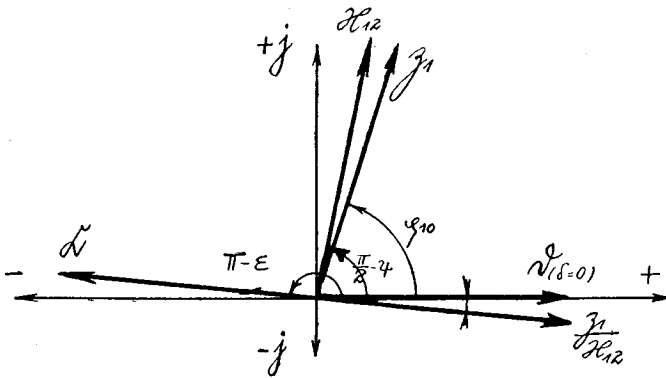
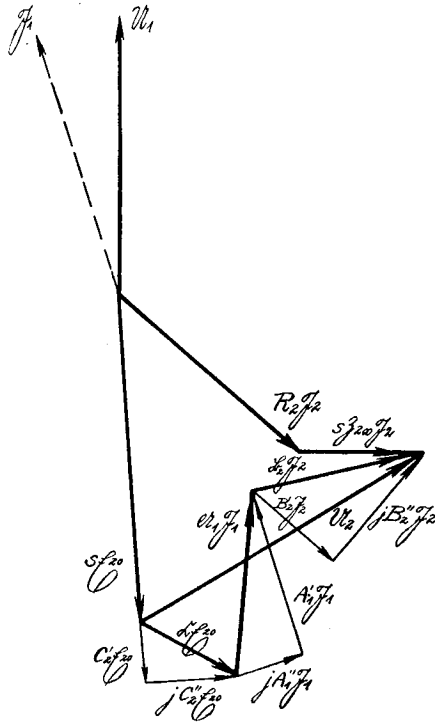
Für konstantes γ wandert der Stromkreismittelpunkt in Funktion von $\mathfrak{C}_{2\sigma}$ mit der Spitze des Vektors \mathfrak{M}_{Y_2} auf einer Geraden durch den Mittelpunkt des Grundkreises. Ihre Richtung ist die Richtung des Vektors

$$\Omega_2 = j(\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} + \sigma R_2) e^{j\gamma}. \quad (100)$$

Der rein imaginäre Nenner der Gleichung 99 ist dabei als negativ angenommen, was für kleinen Primärwiderstand R_1 stets der Fall ist (Gleichung 24). Für konstante Nebenschlußspannung ergibt sich die Richtung der Mittelpunktsgersten besonders einfach zu

$$\Omega_2 = j \hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} e^{j\gamma} \approx \mathfrak{Y}_{2\infty}^* e^{j\left(\frac{\pi}{2} + \gamma\right)} \quad (101)$$

Figur 8:
Die Komponenten der
Kompensationsspannung.



Figur 9: Die Faktoren \mathfrak{E} und \mathfrak{D} der Nebenschlußspannung.

Für eine von der Schlüpfung unabhängige Kompensationsspannung ist der geometrische Ort der möglichen Stromkreismittelpunkte eine um den Winkel $\frac{\pi}{2} + \gamma$ gegen die Richtung des ideellen Kurzschlußstromes geneigte Gerade durch den Mittelpunkt des Grundkreises.

b) Die Kompensationsspannung konstanter Größe.

Für konstantes $\mathfrak{G}_2\sigma$ ergibt sich als geometrischer Ort der Stromkreismittelpunkte in Funktion von γ ein Kreis um den Grundkreismittelpunkt, bekannt als Thomälenkreis. Sein Durchmesser berechnet sich aus dem absoluten Betrag des Vektors \mathfrak{B}_2 zu

$$d_{M2} = 2 | \mathfrak{B}_2 | = \frac{C_2\sigma \sqrt{(R_2\infty + \sigma R_2)^2 + X_2\infty^2}}{R_2 X_2\infty} \quad (102)$$

Unter Vernachlässigung der Eisenverluste und des Ohmschen Widerstandes des Primärkreises wird der Durchmesser des Thomälenkreises für konstante Kompensationsspannung ($R_1 = \psi = \sigma = 0$) besonders einfach

$$d_{M2} = \frac{C_2\sigma}{R_2} \quad (103)$$

Der Durchmesser des Thomälenkreises im primären Admittanzdiagramm ergibt sich unter Berücksichtigung der Gleichungen 49 und 97 für eine Kompensationsspannung $\mathfrak{G}_N = \mathfrak{D}_1 \mathfrak{U}_1 = D_1 e^{j\delta_1} \mathfrak{U}_1$ zu

$$d_{M1} = \frac{X_{21} D_1}{R_2 X_1} \quad (104)$$

Bei der der primären Klemmenspannung proportionalen Nebenschlußspannung ist die Größe der Verschiebung des Stromkreismittelpunktes außer der Größe der Kompensationsspannung proportional der Größe der Gegenreaktanz und umgekehrt proportional dem Ohmschen Widerstand des Sekundärkreises und der Eigenreaktanz des Primärkreises. Oder bei gegebener primärer Eigenreaktanz der AM ist die Wirkung der Kompensationsspannung umso größer, je größer die Eigenreaktanz des Sekundärkreises und je kleiner der Ohmsche Widerstand des Sekundärkreises und der Koeffizient der Gesamtstreuung sind.

In Figur 9 ist der Zusammenhang zwischen den Faktoren \mathfrak{G}_2 und \mathfrak{D}_1 dargestellt (Gleichung 97), um den Einfluß der Nebenschlußspannung im primären und sekundären Diagramm besser beurteilen zu können. Das Argument der Impedanz \mathfrak{B}_1 ist ζ_{10} , das der Gegenreaktanz X_{12} ist $\frac{\pi}{2} - \psi$. Demzufolge wird der Winkel zwischen \mathfrak{G}_2 und \mathfrak{D}_1

$$\angle (\mathfrak{G}_2, \mathfrak{D}_1) = \frac{\pi}{2} = \psi + \zeta_{10} = \pi - \varepsilon \quad (105)$$

Die Kompensationsspannung ist gegen die primäre Klemmenspannung um den Winkel

$$\delta = \gamma - \left(\frac{\pi}{2} + \psi + \zeta_{10} \right) = \gamma + \varepsilon - \pi \quad (106)$$

geneigt. Da angenähert $\varepsilon = 0$ ist, wird näherungsweise

$$\delta \approx \gamma - \pi \quad (107)$$

In Figur 10 ist das Admittanzdiagramm, in Figur 11 a, b, c das Spannungsdiagramm für verschiedene Richtungen der konstanten Nebenschluß-Kompensationsspannung \mathfrak{G}_N in Funktion von γ dargestellt. Sämtliche Admittanzkreise gehen durch den Kurzschlußpunkt des Grundkreises.

Für $\gamma = 0$ werden bei verkleinerter Schlüpfung Leistungsfaktor und Ueberlastbarkeit nur im motorischen Arbeitsgebiet verbessert (Figur 11 a).

Für $\gamma = \pi$ werden Leistungsfaktor und Ueberlastungsfähigkeit im generatorischen Arbeitsgebiet verbessert, bei motorischem Betrieb verschlechtert. Die Schlüpfung wird vergrößert (Figur 11 b).

Für $\gamma = \frac{\pi}{2}$ werden bei annähernd unveränderter Schlüpfung Leistungsfaktor und Ueberlastungsfähigkeit im motorischen und generatorischen Arbeitsgebiet verbessert (Figur 11 c).

Es ist dies die normaler Weise verwendete Richtung der Kompensationsspannung, denn für $\gamma = 0$ und für $\gamma = \pi$ wird der Leistungsfaktor bei kleiner Spannung nur wenig verbessert, weiter wird die Drehzahl beeinflußt und gleichzeitig bei großer Spannung der Verlauf des Leistungsfaktors mit der Belastung sehr ungünstig.

Für $\gamma = \frac{3\pi}{2} = -\frac{\pi}{2}$ werden Leistungsfaktor und Ueberlastungsfähigkeit ohne wesentlichen Einfluß auf die Drehzahl verkleinert. Diese Richtung der Nebenschluß-Spannung ist somit zur Phasenkompensation unbrauchbar.

Bei geeigneter Wahl der Kompensationsspannung kann der Leistungsfaktor für zwei Belastungspunkte, z. B. für Leerlauf und Vollast gleich der Einheit gemacht werden. Soll der Leistungsfaktor für motorischen und generatorischen Betrieb verbessert werden, so ist die Kompensationsspannung etwas größer zu wählen. Die AM nimmt dann bei Leerlauf voreilenden Strom auf.

Die zur Phasenkompensation sehr geeignete Nebenschlußspannung scheint ohne weiteres auch zur Drehzahlregelung verwendbar zu sein. Macht man \mathfrak{G}_N der bei einer bestimmten Schlüpfung s_0 im Sekundärteil der AM induzierten Spannung $s_0 \mathfrak{G}_2$ gleich, so wird die AM mit dieser Schlüpfung leerlaufen. Durch Wahl von \mathfrak{G}_N ist die Drehzahlregelung innerhalb beliebiger Grenzen ohne weiteres möglich. Allein

aus der Verschiebung des Stromkreismittelpunktes bei konstantem Kurzschluß- bzw. ideellem Kurzschlußpunkt ergibt sich ein mit der Abweichung von der synchronen Drehzahl wachsender Admittanzkreis ungünstiger Lage. In Figur 12 sei M^*M_s die Mittelpunktsverschiebung, die sich aus der gewünschten Drehzahl ergibt ($\gamma \approx \pi$). Eine zu dieser Spannung normale Kompensationsspannung ($\gamma \approx \pm \frac{\pi}{2}$) hat keinen Einfluß auf die Drehzahl. Der Stromkreismittelpunkt kann dadurch beliebig auf der Normalen zu M^*M_s durch M_s gewählt werden, wobei der ideale Kurzschlußpunkt stets ein Punkt des Admittanzkreises ist. Es kann somit für einen beliebigen Belastungspunkt der Leistungsfaktor vorgeschrieben werden; aber dieser schwankt sehr erheblich mit der Belastung, und zwar umso mehr, je größer die Abweichung von der synchronen Drehzahl ist. Es ist dies der gleiche Nachteil, der sich auch beim Winter-Eichberg- und Schrage-Motor bemerkbar macht, bei denen dem Sekundärteil ebenfalls eine konstante Spannung zur Drehzahlregelung aufgedrückt wird. Der Nachteil fällt umso schwerer ins Gewicht, je größer die AM und je kleiner daher der sekundäre Widerstand gegenüber den Reaktanzen wird, da der Stromkreisdurchmesser umgekehrt proportional dem Sekundärwiderstand ist. Eine günstige Lage des Admittanzkreises läßt sich bei Drehzahlregelung mit konstanter Nebenschlußspannung durch Kombination dieser Spannung mit einer Hauptstromspannung erreichen (vgl. Abschnitt 6).

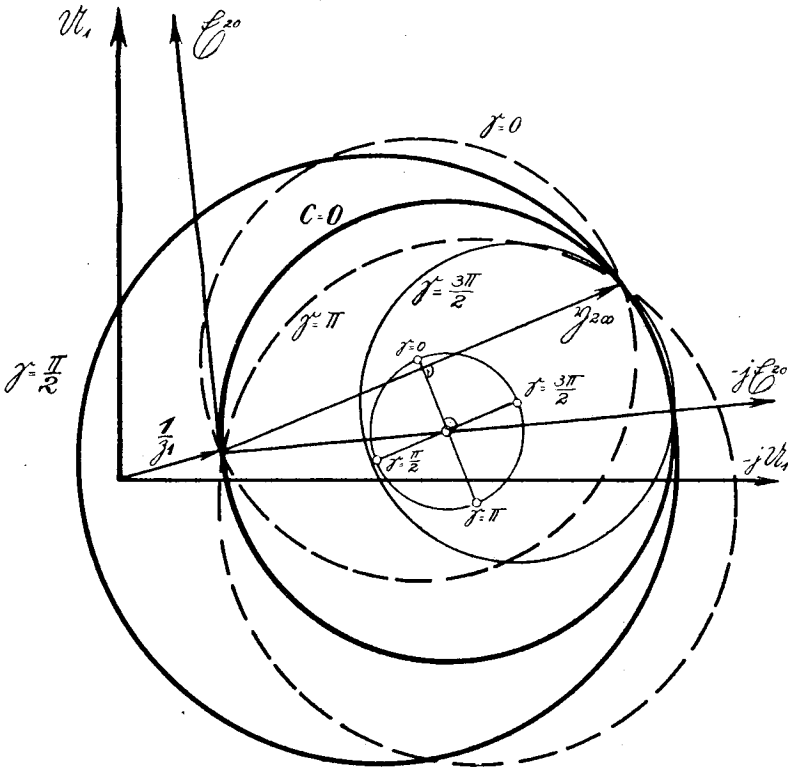
3. Die sekundäre Hauptstrom-Kompensationsspannung.

Die sekundäre Hauptstrom-Kompensationsspannung ist dem Sekundärstrom allein ($\sigma = 0$), oder diesem und der Schlüpfung der AM proportional ($\sigma = 1$). Ihre Gleichung lautet:

$$\mathcal{E}_{H2} = (1 - \sigma s) \mathfrak{B}_{2\sigma} \mathfrak{F}_2 = (1 - \sigma s) B_{2\sigma} e^{j\beta} \mathfrak{F}_2 \quad (108)$$

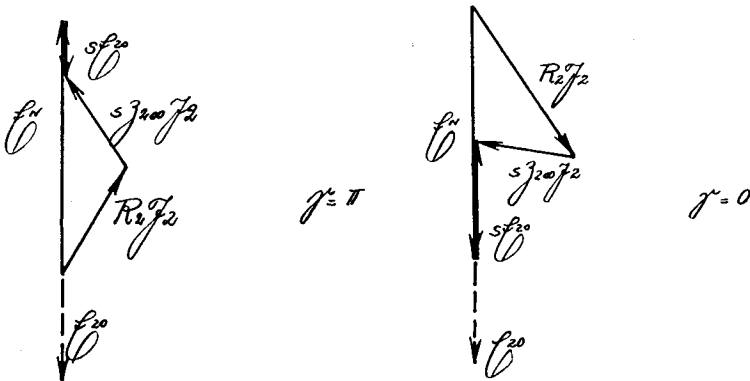
Im ersten Fall ($\sigma = 0$) werden Leerlauf- und ideeller Kurzschlußpunkt, im zweiten Fall ($\sigma = 1$) Leerlauf und Kurzschlußpunkt des Grundkreises Punkte des neuen Admittanzkreises (Gleichung 87—89). Es sind also stets zwei Punkte des Admittanzkreises durch die Konstanten der AM bestimmt. Der Mittelpunkt des Admittanzkreises kann somit nur auf der Mittelsenkrechten der Verbindungsgeraden des ideellen Leerlaufpunktes und des Kurzschlußpunktes bzw. ideellen Kurzschlußpunktes verschoben werden. Die Gleichung dieser Geraden ergibt sich in der Form eines zur Geraden degenerierten Kreises aus Gleichung 90 oder 94 in Funktion des Parameters $\mathfrak{B}_{2\sigma}$ zu:

$$\mathfrak{M}_{Y2} = \frac{\hat{\mathfrak{B}}_{2\sigma} - R_2}{R_2 (\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} - \mathfrak{B}_{2\infty}) - \mathfrak{B}_{2\sigma} (\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} + \sigma R_2) + \hat{\mathfrak{B}}_{2\sigma} (\mathfrak{B}_{2\infty} + \sigma R_2)} \quad (109)$$



Figur 10: Admittanzdiagramm bei konstanter Nebenschluß-Kompensationsspannung.

Spannungsdiagramme bei konstanter Nebenschlußspannung.



Figur 11 a: Motor.

Figur 11 b: Generator.

Da der Nenner stets rein imaginär ist, beschreibt der Vektor \mathfrak{M}_{Y_2} einen Kreis, dessen Mittelpunkt sich im Unendlichen befindet (Gleichung 54), d. h. eine Gerade. Da der Stromkreis weiterhin durch den Leerlaufpunkt, der im sekundären Diagramm mit dem Ursprung zusammenfällt, geht, ist der absolute Betrag dieses Vektors \mathfrak{M}_{Y_2} der Radius des neuen Admittanzkreises. Der Durchmesser des Admittanzkreises wird für $\mathfrak{B}_2\sigma = jB_2\sigma$ ($\beta = \frac{\pi}{2}$):

$$d_2 = \frac{\sqrt{B_2\sigma^2 + R_2^2}}{R_2 X_{2\infty} + B_2\sigma (R_{2\infty} + \sigma R_2)} \quad (110)$$

und für $\mathfrak{B}_2\sigma = -jB_2\sigma$ ($\beta = -\frac{\pi}{2}$)*):

$$d_2 = \frac{\sqrt{B_2\sigma^2 + R_2^2}}{R_2 X_{2\infty} - B_2\sigma (R_{2\infty} + \sigma R_2)} \quad (111)$$

Mit Hilfe der beiden bereits bekannten Punkte und des so berechneten Durchmessers kann der Admittanzkreis konstruiert werden (Figur 13). Will man bei der Konstruktion vom primären Grundkreis ausgehen, so kann der nach Gleichung 110 oder 111 berechnete Durchmesser gemäß Gleichung 47 auf den Durchmesser des primären Admittanzdiagrammes umgerechnet werden:

$$d_1 = \frac{X_{12} X_{21}}{R_{10}^2 + X_{10}^2} d_2 \quad (112)$$

Da der Leerlaufpunkt unverändert bleibt, wird die AM nur bei Belastung kompensiert. Der Leistungsfaktor nimmt bis zu einer bestimmten Belastung zu, nachher wieder ab, verhält sich also prinzipiell ähnlich wie bei einer unkompensierten AM; die Ueberlastungsfähigkeit wird erhöht. Wird der Durchmesser des Admittanzkreises durch eine grosse Kompensationsspannung so groß gemacht, daß bereits bei kleinen Belastungen die AM vollständig kompensiert wird, so wird die Maschine bei Vollast stark überkompensiert. Das ist ein erheblicher Nachteil der sekundären Hauptstrom-Kompensationsspannung, da dann infolge der bei Ueberkompensation auftretenden größern Ströme Primär- und Sekundärwicklung reichlicher dimensioniert werden müssen, oder aber die AM nur bei erheblicher Belastung kompensiert werden kann.

Zur Phasenkompensation ist für generatorischen Betrieb ($s < 0$) $\beta < 0$ und für motorischen Betrieb ($s > 0$) $\beta > 0$ zu wählen; dementsprechend wird in beiden Fällen eine dem Sekundärstrom zeitlich voreilende Spannung in den Sekundärkreis eingeführt (vgl. S. 14).

Steht die Kompensationsspannung mit dem Sekundärstrom in Quadratur ($\beta \pm \frac{\pi}{2}$), so wird die Schlüpfung der AM entsprechend dem größern Ohmschen Spannungsabfall des um den Magnetisierungsstrom

*) Für komplexes \mathfrak{B} wird die Berechnung im folgenden Abschnitt durchgeführt.

vergrößerten Sekundärstromes vergrößert; eine konstante mit dem Sekundärstrom zusammenfallende oder ihm entgegengerichtete Spannungskomponente wird am einfachsten durch eine entsprechende Verkleinerung oder Vergrößerung des sekundären Widerstandes der AM berücksichtigt.

4. Die primäre Hauptstrom-Kompensationsspannung.

Die primäre Hauptstrom-Kompensationsspannung ist dem Primärstrom allein ($\sigma = 0$) oder diesem und der Schlüpfung proportional ($\sigma = 1$). Die Gleichung für diese Kompensationsspannung lautet:

$$E_{H1} = (1 - \sigma s) \mathfrak{A}_1 \mathfrak{I}_1 = (1 - \sigma s) A_{1\sigma} e^{j\alpha} \mathfrak{I}_1 \quad (113)$$

Wie erwähnt, kann diese Spannung in zwei Komponenten zerlegt werden, deren eine eine Nebenschluß-, deren andere eine sekundäre Hauptstromspannung ist. Nach Gleichung 77 und 88—89 sind der Kurzschlußpunkt ($\sigma = 1$) oder der ideelle Kurzschlußpunkt ($\sigma = 0$) des Grundkreises Punkte des Admittanzkreises, da diese für beide Komponenten der Kompensationsspannung unverändert bleiben.

Zur Konstruktion des Diagrammes berechnet man erst den durch die sekundäre Hauptstrom-Spannungskomponente allein bedingten Mittelpunktsvektor (Gleichung 94 für $\mathfrak{C} = 0$). Da \mathfrak{C} nur als Summand im Zähler vorkommt, ist diese Gleichung für $\mathfrak{C} = 0$ identisch mit Gleichung 109, so daß diese Zerlegung für jeden Wert von \mathfrak{C} möglich ist. Nach Zerlegung des Faktors \mathfrak{B}_1 in seine reelle und imaginäre Komponente $\mathfrak{B}_1 = B_1' + jB_1''$ und unter Weglassung der sich im rein imaginären Nenner aufhebenden reellen Summanden ergibt sich der absolute Betrag dieser Verschiebung zu:

$$M_{Y2} = \frac{\sqrt{(B_1' - R_2)^2 + B_1''^2}}{2 \{R_2 X_{2\infty} - B_1' X_{2\infty} + B_1'' (R_{2\infty} + \sigma R_2)\}} \quad (114)$$

Die Richtung dieser Mittelpunktsverschiebung durch die sekundäre Hauptstrom-Spannungskomponente bleibt gleich oder wird mit der Vorzeichenänderung des Nenners von Gleichung 94 der im vorangehenden Abschnitt berechneten entgegengesetzt, je nachdem

$$B_1'' (\sigma R_2 + R_{2\infty}) - B_1' X_{2\infty} + R_2 X_{2\infty} \cong 0 \quad (115)$$

Wird obiger Ausdruck zu Null, so wird $M_{Y2} = \infty$; das Admittanzdiagramm wird eine Gerade. In allen anderen Fällen ist jedoch noch die durch die Nebenschlußkomponente der Kompensationsspannung (\mathfrak{C}_1) bedingte Mittelpunktsverschiebung zu berücksichtigen. Da der Nenner von Gleichung 94 rein imaginär ist, hat die Hauptstromspannung keinen Einfluß auf die *Richtung* der durch die Nebenschluß-Kompensationsspannung bedingten Mittelpunktsverschiebung; diese berechnet sich somit wie auf Seite 30 und ff. gezeigt. Im Gegensatz zu dem in Gleichung 114 berechneten Mittelpunktsvektor, dessen Richtung und Größe unabhängig

von \mathcal{C}_1 sind, wird jedoch hier der absolute Betrag der Mittelpunktsverschiebung, d. h. die Größe des Thomälenkreises um den mit Hilfe von Gleichung 114 berechneten Mittelpunkt nicht nur durch die Nebenschlußspannung, sondern auch durch die gleichzeitig vorhandene Hauptstromspannung beeinflusst.

Der Durchmesser des Thomälenkreises bei gleichzeitig vorhandener sekundärer Hauptstrom-Spannungskomponente ergibt sich aus Gleichung 94 zu

$$d_M = \frac{C_1 \sqrt{(R_{2\infty} + \sigma R_2)^2 + X_{2\infty}^2}}{X_{2\infty} R_2 - B_1' X_{2\infty} + B_1'' (R_{2\infty} + \sigma R_2)} \quad (116)$$

Für die Richtung der Mittelpunktsverschiebung gilt dieselbe Regel wie bei der Hauptstromkomponente: die Richtung der Verschiebung bleibt unverändert für positive Werte des Nenners von Gleichung 94, während sie für negativen Nenner im umgekehrten Sinne erfolgt.

Aus den so berechneten Durchmessern und ihren bereits bekannten geometrischen Oertern kann der Admittanzkreis der primären Hauptstromspannung wie auch das Diagramm einer analog wirkenden Kombination einer Nebenschluß- und einer Hauptstromspannung konstruiert werden.

Um die Bewegung des Admittanzkreismittelpunktes in Funktion des Argumentes α des Faktors \mathfrak{A}_1 zu verfolgen, muß auf Gleichung 77 zurückgegriffen werden. Die von \mathfrak{A}_1 abhängigen Konstanten betragen in Funktion von α :

$$C_1 e^{j\gamma} = \frac{A_1 e^{j\left(\frac{\pi}{2} + \alpha + \psi\right)}}{X_{12}}$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} + \psi + \alpha \approx \frac{\pi}{2} + \alpha \quad (117)$$

$$B_1 e^{j\beta} = \frac{X_{12} A_1}{Z_{10}} e^{j\left(\alpha - \frac{\pi}{2} - \psi - \zeta_{10}\right)}$$

$$\beta = \alpha - \zeta_{10} - \psi - \frac{\pi}{2} \approx \pi + \alpha \quad (118)$$

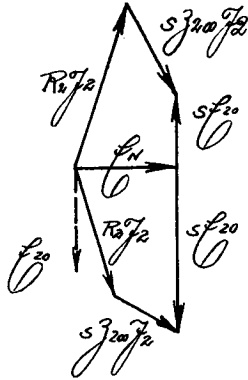
Damit ist auch die Richtung der Mittelpunktsverschiebung der primären Hauptstromspannung auf die Nebenschluß- und sekundäre Hauptstromspannung zurückgeführt.

Für $\alpha = \frac{0}{\pi}$ wird $\gamma \approx \pm \frac{\pi}{2}$ und $\beta \approx \frac{\pi}{0}$. Die Mittelpunktsverschiebung erfolgt gegen den Abschnitt $0 < \gamma < \frac{\pi}{2}$ des Thomälenkreises oder in entgegengesetzt gleicher Richtung (vgl. Figur 11) bei gleichzeitiger Vergrößerung oder Verkleinerung der Schlüpfung annähernd proportional der Wirkkomponente des Primärstromes.

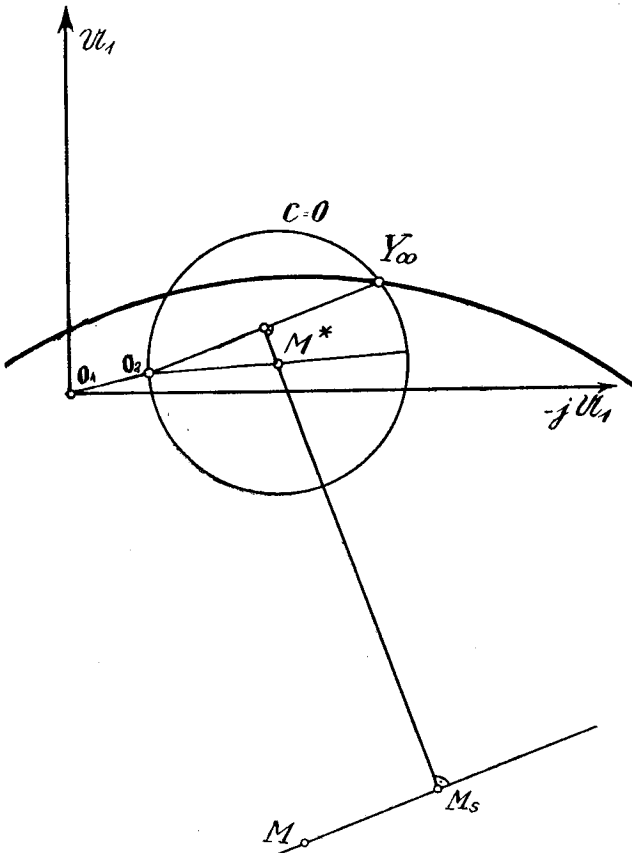
Generator.
Nebenschlußspannung.

Figur 11 c:

Motor.



$$\beta^* = \frac{\pi}{2}$$



Figur 12: Admittanzdiagramm bei Drehzahlregelung
mittels konstanter Nebenschlußspannung.

Für $\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$ wird $\gamma \approx 0$ und $\beta \approx \mp \frac{\pi}{2}$. Hauptstrom- und Nebenschlußkomponente wirken auf die Mittelpunktverschiebung in ungefähr gleicher Richtung entsprechend einer Verbesserung des Leistungsfaktors bei generatorischem oder motorischem Betrieb, wobei die Drehzahl bei gutem Leistungsfaktor nur wenig beeinflusst wird.

Die primäre Hauptstromspannung wird für sich allein wohl kaum verwendet, obwohl sie prinzipiell zur Phasenkompensation geeignet ist. Dies liegt vor allem daran, daß die Nebenschlußspannung, besonders für das Gebiet geringer Belastung, bedeutend wirksamer ist, während anderseits für Kompensation bei Vollast der AM die besonders einfach erzeugbare sekundäre Hauptstromspannung ebenso günstig arbeitet. Die gleichzeitige Verwendung der primären Hauptstromspannung mit der Nebenschlußspannung bei Drehzahlregelung wird in Abschnitt 6 besprochen.

5. Die ausschließlich variablen Kompensationsspannungen.

Bei den bisher besprochenen Kompensationsspannungen erfolgte teilweise neben der Kompensation der VM eine Vergrößerung ihrer Ueberlastungsfähigkeit; diese bleibt jedoch innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen, da der Admittanzkreis in seiner Größe nur wenig verändert werden kann, wenn bei unverändertem Kurzschlußpunkt oder ideellem Kurzschlußpunkt für günstigen Verlauf des Leistungsfaktors mit der Belastung der Stromkreis die Spannungsaxe in zwei nicht zu weit auseinanderliegenden Punkten schneiden soll. Ganz anders liegen die Verhältnisse, wenn eine der Schlüpfung der VM proportionale Spannung in ihren Sekundärkreis eingeführt wird (L. 9, S. 49). In diesem Fall sind die variablen Komponenten der Spannungsgleichung 78 in beliebiger Größe ohne die Bindung an die konstanten Komponenten wie in Gleichung 91 wirksam. Die Gleichung dieser Kompensationsspannung lautet

$$\mathcal{C}_s = -s \mathcal{C}_s \mathcal{C}_{20} - s \mathcal{B}_s \mathcal{J}_2 \quad (119)$$

Eine dem Primärstrom proportionale Komponente braucht nicht besonders berücksichtigt zu werden, da sie nach dem vorangehenden stets auf diese Form gebracht werden kann. Der Leerlaufpunkt des Grundkreises bleibt für diese Spannung unverändert, dagegen wird der ideelle Kurzschlußpunkt nun (siehe Gleichung 83):

$$\mathcal{J}_{2\infty} = \frac{1 - \mathcal{C}_s}{\mathcal{B}_{2\infty} + \mathcal{B}_s} \quad (120)$$

Durch Wahl von \mathcal{B}_s oder \mathcal{C}_s kann der ideelle Kurzschlußpunkt ganz beliebig gewählt werden, mit der Hauptstromkomponente selbst im Unendlichen bei relativ kleiner Kompensationsspannung.

Mittelpunktverschiebung und Admittanzkreisdurchmesser berechnen sich analog wie in den vorangehenden Abschnitten, wobei auf etwaige gegenseitige Beeinflussung durch eine meist gleichzeitig verwendete konstante Kompensationsspannung Rücksicht zu nehmen ist. Die Richtung der Mittelpunktverschiebung für die variable Nebenschlußspannung allein beträgt:

$$\mathfrak{D} = j \mathfrak{C}_s \approx e^{j\left(\frac{\pi}{2} + \gamma_s\right)} \quad (121)$$

Der Stromkreisdurchmesser wird nach Gleichungen 67, 90, 95:

$$d_Y = \frac{1 - C_s}{X_{2\infty}} \quad (122)$$

Die sekundäre Admittanz wird nach Gleichung 83 eine Gerade, wenn $R_2 - \mathfrak{B}_0 + s(\mathfrak{B}_{2\infty} + \mathfrak{B}_s) \pm \{R_2 - \hat{\mathfrak{B}}_0 + s(\hat{\mathfrak{B}}_{2\infty} + \hat{\mathfrak{B}}_s)\} = 0$ (123) da in diesem Fall der Nenner von Gleichung 83 rein reell oder rein imaginär wird. Diese Bedingung wird erfüllt, wenn z. B.

$$\mathfrak{B}_s = -\mathfrak{B}_{2\infty} \quad \text{oder} \quad \mathfrak{B}_s = \hat{\mathfrak{B}}_{2\infty}$$

und gleichzeitig $\mathfrak{B}_0 = \pm B_0$ oder $\mathfrak{B}_0 = 0$ (124)

Unter diesen Bedingungen ist die sekundäre Admittanz eine Gerade durch den Leerlaufpunkt, der seinerseits durch eine konstante Nebenschlußspannung beliebig gewählt werden kann. Die Richtung der Admittanzgeraden kann durch die variable Spannungskomponente vorgeschrieben werden. Die Ueberlastbarkeit der AM wird dabei unendlich groß. Die Gleichung der Admittanzgeraden lautet für $\mathfrak{B}_s = -\mathfrak{B}_{2\infty}$ und $\mathfrak{B}_0 = 0$:

$$\mathfrak{Y}_2 = \frac{\mathfrak{C}_0 + s(1 - \mathfrak{C}_s)}{R_2} \quad (125)$$

Wie im folgenden Abschnitt dargelegt, liegt die Bedeutung dieser Spannung für die Phasenkompensation vor allem in ihrer günstigen Wirkung als Zusatzspannung bei drehzahlregelten AM.

6. Die Nebenschluß- und Hauptschluß-Kompensationsspannung.

Wie erwähnt, scheint die Nebenschlußspannung prinzipiell für sich allein sehr gut zur Drehzahlregelung geeignet zu sein, sobald sie eine Komponente in Richtung der im Sekundärkreis vom Hauptfeld induzierten Spannung hat. Bei gleicher Richtung mit $s\mathfrak{C}_2$ verkleinert sie die Schlußleistung der AM, bei entgegengesetzter Richtung wirkt sie in umgekehrtem Sinn. Weiter kann durch eine zu dieser Regulierspannung senkrecht stehende Kompensationsspannung stets für eine beliebige Dreh-

zahl der AM vollständige Phasenkompensation erreicht werden. Einzig der ungünstige Verlauf des Leistungsfaktors mit variierender Belastung verunmöglicht die Anwendung dieser Spannung zur Drehzahlregelung bei größeren Abweichungen vom Synchronismus.

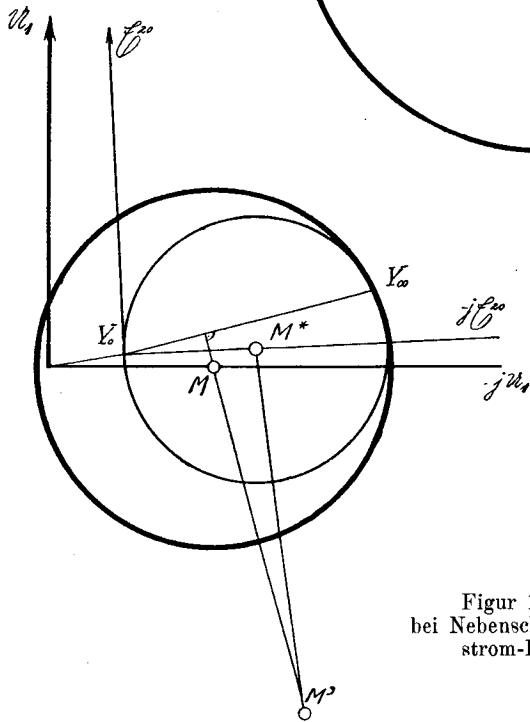
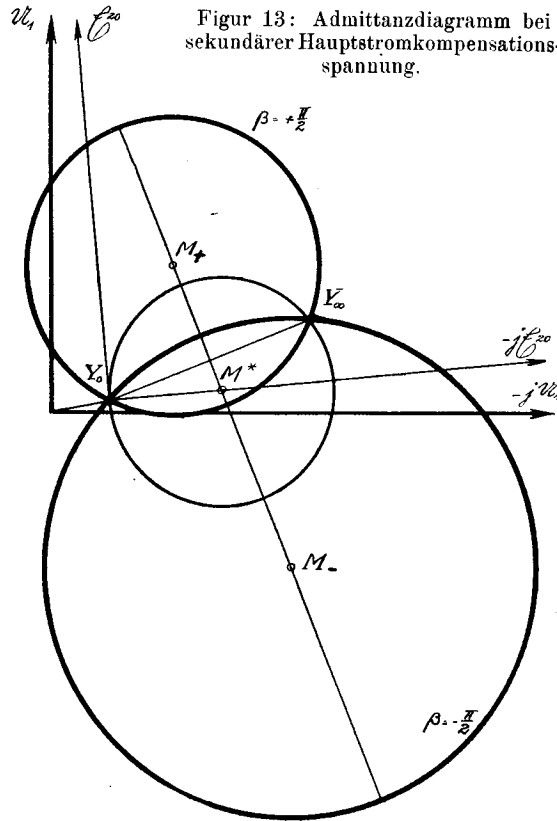
Eine zum Primärstrom in Quadratur stehende primäre Hauptstromspannung hat bei gutem Leistungsfaktor nur geringen Einfluß auf die Drehzahl, sie stört daher die Drehzahlregelung in keiner Weise. Dagegen bedingt sie, wie in Abschnitt 4 dargelegt, eine Verschiebung des Admittanzkreismittelpunktes in ungefähr gleichen Richtungen wie die zur Drehzahlregelung dienende Komponente der Nebenschlußspannung. Ebenso gibt die sekundäre Hauptstromspannung stets eine Mittelpunktsverschiebung in annähernd denselben Richtungen. Die Nebenschlußspannung hat dabei auf die Mittelpunktsverschiebungen, bedingt durch die primäre oder sekundäre Hauptstromspannung, keinen Einfluß. Diese berechnet sich, wie wenn die Nebenschlußspannung nicht vorhanden wäre. Für eine günstige Lage des Admittanzdiagrammes bei allen durch die Nebenschlußspannung eingestellten Schlüpfungen muß sie sich jedoch mit dieser, der die unerwünschte Verschiebung des Admittanzkreismittelpunktes proportional ist, ändern. Die Größe dieser Verschiebung durch die Nebenschlußspannung wird dagegen nach Gleichung 83 durch die Hauptstromspannung ebenfalls beeinflusst, nur die Richtung bleibt unverändert.

Es ist daher möglich, durch eine primäre oder sekundäre Hauptstromspannung dem Stromkreismittelpunkt auch bei Drehzahlregelung mittelst einer Nebenschlußspannung eine günstige Lage für den Verlauf des Leistungsfaktors mit der Belastung zu geben. In Figur 14 bedingt z. B. die Nebenschlußspannung zur Drehzahlregelung eine Mittelpunktsverschiebung M^*M' . Durch eine sekundäre Hauptstromspannung wird der Admittanzkreismittelpunkt von M' nach M (normal zu $\mathfrak{Y}_{2\infty}$) verschoben. Wird statt der sekundären eine primäre Hauptstromspannung eingeführt, so ergeben sich nach deren Zerlegung eine sekundäre Hauptstrom- und zwei Nebenschluß-Spannungen, wobei nach Vereinigung der beiden Nebenschlußkomponenten sich wieder dasselbe Bild ergibt.

Obwohl primäre und sekundäre Hauptstromspannung schon lange bekannt sind — erstere wurde in Verbindung mit der Nebenschlußspannung, die allerdings nicht zur Drehzahlregelung diente, bereits im ersten Patent über die Verwendung eines kompensierten FW zur Erregung asynchroner Wechselstrommaschinen vorgeschlagen (DRP 91 571) — hat erst in jüngerer Zeit Dreyfus auf die Bedeutung dieser Zusatzspannung bei Drehzahlregelung mit konstanter Spannung hingewiesen (L. 6, 7 und 8). Die erforderliche Hauptstromspannung ist verhältnismäßig klein. Soll die zusätzliche Mittelpunktsverschiebung diesen gerade bis zur imaginären Axe ($-j\mathfrak{G}_{20}$) bringen, so ergibt sich aus Gleichung 94 für rein imaginären Wert von \mathfrak{M}_{Y2} die Bedingung

$$B\sigma'' + C\sigma' X_{2\infty} - C\sigma'' (R_{2\infty} + \sigma R_2) = 0 \quad (126)$$

Figur 13: Admittanzdiagramm bei sekundärer Hauptstromkompensationsspannung.



Figur 14: Admittanzdiagramm bei Nebenschluß- und sekundärer Hauptstrom-Kompensationsspannung.

Für $C\sigma'' = 0$ beträgt dann die Hauptstromspannung nach Gleichung 96 und 108

$$\mathcal{E}_{H2} = j X_{2\infty} \mathfrak{J}_2 \frac{\mathcal{E}_N}{\mathcal{E}_{20}} \quad (127)$$

Setzt man näherungsweise $\frac{\mathcal{E}_N}{\mathcal{E}_{20}} \approx s$, so wird

$$\mathcal{E}_{H2} = j s X_{2\infty} \mathfrak{J}_2 \quad (128)$$

Die für günstige Lage erforderliche sekundäre Hauptstromspannung ist ungefähr gleich der sekundären Reaktanzspannung. Dieses Resultat ergibt sich auch durch die einfache Ueberlegung, daß die zusätzliche Hauptstromspannung vor allem die mit der Schlüpfung veränderlichen sekundären Streuspannungen kompensieren soll.

7. Die Darstellung des Netzstromes bei vom Netz erregter Hintermaschine.

Wird die HM vom Netz erregt, so ist zu dem bisher berechneten Primärstrom der AM noch der von der HM oder ihrer Erregermaschine vom Netz bezogene Strom zu addieren.

Dient der von der HM vom Netz bezogene Strom nur zur Erregung ihres Feldes, wie z. B. beim kompensierten FW, so ist er im allgemeinen gegenüber dem Primärstrom der VM klein und kann mit genügender Genauigkeit als konstant angenommen werden. Die Addition dieses Magnetisierungsstromes zum Primärstrom der AM erfolgt am einfachsten durch eine Verschiebung des Koordinatensystems um den negativen Betrag dieses Stromes, bzw. im Admittanzdiagramm um seine negative Admittanz.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn die HM außer ihrer Magnetisierungsleistung elektrische Energie vom Netz bezieht oder an dieses abgibt, wie dies z. B. beim Frequenzwandler der Fall ist. Der vom Netz bezogene Strom des Frequenzwandlers ist, abgesehen von seinem Magnetisierungsstrom, der auch hier durch die oben erwähnte Koordinatenverschiebung berücksichtigt werden kann, dem Sekundärstrom proportional gemäß

$$\mathfrak{J}_4 = \mathfrak{F} \mathfrak{J}_2. \quad (129)$$

Im Faktor \mathfrak{F} sei die gesamte Phasenverschiebung dieses Stromes gegen die primäre Klemmenspannung inbegriffen, sei diese nun durch Bürstenverschiebung am FW oder durch andere Mittel erfolgt. Der gesamte vom Netz zu liefernde Strom ist nun:

$$\mathfrak{J}_N = \mathfrak{J}_1 + \mathfrak{J}_4 = \mathfrak{J}_1 + \mathfrak{F} \mathfrak{J}_2 \quad (130)$$

Unter Berücksichtigung von Gleichung 48 und 43 wird:

$$\mathfrak{J}_N = (1 - \mathfrak{F} \frac{\mathfrak{J}_1}{\mathfrak{X}_{12}}) \mathfrak{J}_1 + \frac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{X}_{12}} u_1 \quad (131)$$

Mit den Abkürzungen:

$$\mathfrak{B} = 1 - \mathfrak{F} \frac{\mathfrak{B}_1}{\mathfrak{X}_{12}} \quad \text{und} \quad \mathfrak{W} = \frac{\mathfrak{F}}{\mathfrak{X}_{12}} \quad (132)$$

schreibt sich Gleichung 131 einfacher:

$$\mathfrak{J}_N = \mathfrak{B} \mathfrak{J}_1 + \mathfrak{W} \mathfrak{U}_1 \quad (133)$$

Der Netzstrom entsteht demnach aus dem Primärstrom der AM durch Multiplikation mit dem Vektor \mathfrak{B} und Addition des Vektors $\mathfrak{W} \mathfrak{U}_1$; für konstantes \mathfrak{F} sind beide Vektoren konstant.

Im primären Admittanzdiagramm erfolgt diese Operation am einfachsten durch eine Maßstabänderung im Verhältnis 1:V und eine Drehung und Verschiebung des Koordinatensystems entsprechend dem Argument von \mathfrak{W} und der Größe und Richtung von $\mathfrak{W} \mathfrak{U}_1$.

III. Die Hintermaschinen.

1. Die Einteilung der Hintermaschinen.

Die Hintermaschinen (HM) sind in den Sekundärkreis der mit Schleifringanker versehenen AM als Vordermaschine (VM) eingeschaltete Hilfsmaschinen. Sie sollen den Magnetisierungsstrom der VM liefern oder diese sogar zur Abgabe von Blindstrom ans Netz befähigen. Infolge der meist sehr geringen Frequenz des Sekundärstromes beträgt die Leistung einer HM, die ausschließlich zur Phasenkompensation dient, nur wenige Prozente der Leistung der VM, während sie bei gleichzeitiger Drehzahlregelung entsprechend dem Drehzahlbereich ansteigt.

Die HM seien im folgenden in zweimal zwei Gruppen eingeteilt, nämlich

I. Nach der Art der Erregung in

1. Eigenerregte Maschinen.
2. Fremderregte Maschinen.

II. Nach der Art der Energieumsetzung in

3. Maschinen mit Drehmoment.
4. Maschinen ohne Drehmoment.

In bezug auf die Erregung wird zwischen eigenerregten und fremderregten Maschinen unterschieden. Eigenerregt seien alle jene Maschinen, deren Feld durch den Sekundärstrom oder einen von der Sekundärspannung der VM abhängigen Strom erzeugt wird; sie sind insbesondere selbsterregt, wenn sie imstande sind, ihren Erregerstrom, bzw. die Erregerspannung selbst zu erzeugen, unabhängig von der Sekundärspannung der VM, die demzufolge auch im Leerlauf kompensiert werden kann, während bei eigenerregter HM, die der Selbsterregung nicht fähig ist, Erregerspannung und Strom mit dem Sekundärstrom der VM bei ideellem Leerlauf zu Null werden, so daß die

HM wirkungslos wird. Die fremderregten HM können ihren Erregerstrom vom Netz oder von einem besondern Generator, der Erregermaschine (EM) erhalten. Eine weitere Unterscheidung bezüglich der Erregung der HM kann noch gemacht werden zwischen im Ständer oder im Läufer untergebrachter Erregerwicklung, und endlich nach der Schaltung zwischen Haupt- oder Nebenschlußerregung oder nach auf induktivem Wege erzeugtem Erregerstrom.

Die HM, welche ein mechanisches Drehmoment entwickeln, seien im folgenden als Kommutatormaschinen (KM) bezeichnet, während solche, bei denen das nicht der Fall ist, Phasenschieber (Ph) genannt werden. Die KM kann frei laufend aufgestellt sein, und das auf den Läufer übertragene Drehmoment dient nur zur Ueberwindung der Antriebsverluste, oder sie kann mit einer Antriebs- oder Belastungsmaschine in Energieaustausch stehen. Der Ph muß stets angetrieben werden.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten HM nach diesen Gesichtspunkten findet sich in Figur 15. Ueber der Horizontalen sind die Ph, darunter die KM, links der Vertikalen eigenerregte, rechts fremderregte HM aufgeführt.

Von der ältesten HM, dem Ph von Leblanc ausgehend, der mit Eigenerrregung und ohne eigenes Drehmoment arbeitet (1), gelangt man in der Tabelle über die ursprüngliche Form der Maschine von Leblanc mit Kompensations- und Erregerwicklung im Ständer (1a) bei nicht um 90° in der Phase verschobenem Erregerstrom oder Drehung der Achse der Erregerwicklung zu den eigenerregten KM (2), die mit oder ohne Kompensationswicklung ausgeführt werden können. Die wichtigsten Vertreter sind die Maschine nach Winter-Eichberg mit verteilter Erregerwicklung, die Bauart nach Scherbius mit drei ausgeprägten Polen pro Polteilung und verkürztem Wicklungsschritt im Anker, und die KM nach Winter-Eichberg mit der doppelten Anzahl ausgeprägter Pole und normaler Ankerwicklung. Die Erregung kann in allen drei Fällen im Haupt-, Neben- oder Haupt- und Nebenschluß gemeinsam erfolgen. Diese Maschinen entwickeln ein Drehmoment und sind somit auch der Selbsterregung fähig, sobald die erzeugte Spannung genügend groß ist und geeignete Richtung besitzt, um die Ohmschen Spannungsabfälle zu überwinden. Die Selbsterregung kann aber auch durch eine nur induktiv erregte Käfigwicklung im Ständer (7), wie sie die von Kozisek vorgeschlagene KM besitzt, oder endlich bei Läufererregung mittels eines zwischen Klemmen und Erregerwicklung geschalteten Induktionsfrequenzwandlers ¹⁾ IFW (6) erfolgen, der die mit Schlupffrequenz pulsierende Spannung zur Läufererregung auf Netzfrequenz umformt.

Diese eigenerregten KM können sämtlich durch Anschluß ihrer Erregerwicklung an eine besondere Spannungsquelle zu entsprechenden

¹⁾ Als IFW wird im folgenden eine als Frequenzwandler betriebene AM bezeichnet.

fremderregten KM gemacht werden. Durch Fremderregung wird das Feld der HM vom Sekundärstrom oder der Sekundärspannung unabhängig, ohne durch einen nicht ganz einfach regelbaren selbsterregten Strom erzeugt zu werden. Rein äußerlich betrachtet ergibt sich durch Anbringen von Schleifringen oder durch Hinzufügen einer besondern Schleifringwicklung neben der Kommutatorwicklung aus dem Ph von Leblanc der Frequenzwandler (FW) (4); der Läufer rotiert im Gegensatz zum Ph von Leblanc entgegen der Rotationsrichtung des Drehfeldes. Den Schleifringen wird nicht nur die Erregerleistung für das Drehfeld, sondern auch die gesamte kommutatorseitig übertragene Leistung übermittelt.

Der kompensierte FW besitzt im Ständer eine vom Kommutatorstrom durchflossene Kompensationswicklung, welche das Ankerfeld des Kommutatorstromes aufhebt (5). Seinen Schleifringen wird nur der Magnetisierungsstrom zugeführt. Als Maschine mit Ständerwicklung entwickelt er ein Drehmoment, das der kommutatorseitig umgesetzten Energie und den Verlusten entspricht. Statt aus dem gewöhnlichen FW kann man sich diese Maschine ebensogut aus der kompensierten KM (3) entstanden denken, indem diese statt im Ständer im Läufer erregt wird.

Damit ist der Kreis durch die vier Quadranten der Figur 16 geschlossen. Die Zusammenstellung der Patente im zweiten Teil dieser Arbeit folgt der vorstehenden Einteilung im Uhrzeigersinn, indem zuerst die eigenerregten Ph, dann alle fremderregten und zuletzt die selbsterregten HM erwähnt werden. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, bleiben Kondensatoren, Synchronmaschinen und auch die Vibratoren unberücksichtigt. Ueber diese seien hier immerhin die Patente No. 254 118, 261 400 und 385 654 erwähnt.

Nur die eigenerregten Ph sind reine Blindleistungsmaschinen. Die Maschinen mit Drehmoment können elektrische Energie in mechanische umsetzen, die fremderregten FW diese auch in elektrischer Form über ihre Erregerwicklung weiterleiten.

Die eigenerregten Maschinen laufen alle asynchron, sie sind an keine bestimmte Drehzahl gebunden, ebenso die im Ständer fremderregten Maschinen. Die läufererregten Maschinen und speziell alle FW sind synchron zu betreiben, es sei denn, die Frequenz ihres Erregerstromes werde von ihrer Drehzahl abhängig gemacht. Ihre Drehzahl ist je nach der Art der Schaltung von der Drehzahl der VM, der Netzfrequenz oder beiden zusammen abhängig. Wird die HM mit der VM mechanisch gekuppelt, so ist die Phase der von ihr erzeugten Spannung gegenüber den in der VM induzierten Spannungen bei Erregung durch das Primärnetz durch die Lage der mechanischen Kupplung festgelegt. Bei elektrischer Kupplung und unter Umständen auch bei Erregung der HM durch eine besondere EM sind die in VM und HM induzierten Spannungen nicht immer eindeutig bestimmt.

Die VM werde z. B. durch einen netzerregten, nur elektrisch gekuppelten FW kompensiert, der durch eine vom Netz und den Schleifringen der VM doppelt gespeiste AM mit gleicher Drehzahl wie die VM angetrieben wird. FW und Antriebsmotor bilden in diesem Fall zusammen ebenfalls eine Kaskade, deren VM und HM miteinander mechanisch gekuppelt sind. Bei Leerlauf der eigentlichen VM kann diese unter Umständen als doppelt gespeiste AM und der Motor als durch den mit ihm gekuppelten FW kompensierte AM laufen, und erst mit zunehmender Belastung fällt diese aus der ihr aufgezwungenen fast synchronen Drehzahl auf die ihrer Belastung entsprechende Schlüpfung. Da die Drehzahl des Hilfsmaschinensatzes, der keine mechanische Energie abgibt, nur von seinen Verlusten abhängig ist, bleibt diese stets in unmittelbarer Nähe der Leerlaufdrehzahl. Dieser Betriebszustand wird nur bei starker oder Ueberkompensation der VM im Leerlauf entstehen können, da dann die Spannung des FW hoch genug ist, um diese gewissermaßen als Synchronmaschine zu erregen. Ueberkompensation bei Leerlauf ist aber meist gerade erwünscht.

2. Die Spannungsgleichung der mehrphasigen Kommutatormaschine.

In den folgenden Ableitungen bezeichnen die Indices 3 den Läuferstromkreis der HM und die in diesem fließenden Ströme und induzierten Spannungen, 4 den Erregerstromkreis, 5 die Kompensationswicklung.

Ein von einem in einer ruhenden Wicklung 4 fließenden Strom \mathfrak{J}_4 herrührendes Feld der Rotationsgeschwindigkeit $\omega_1 = s\omega_1$ erzeugt in einer mit der Geschwindigkeit $\omega_3 = t\omega_1$ rotierenden Wicklung 3 die Transformationsspannung

$$\mathfrak{E}_{3t} = -s \mathfrak{X}_{43t} \mathfrak{J}_4 \quad (134)$$

und die Rotationsspannung

$$\mathfrak{E}_{3r} = +t \mathfrak{X}_{43r} \mathfrak{J}_4 \quad (135)$$

Bei reinem Drehfeld, das im folgenden stets vorausgesetzt wird, ist $\mathfrak{X}_{43t} = \mathfrak{X}_{43r}$, und die in der Wicklung 3 induzierte Spannung beträgt:

$$\mathfrak{E}_3 = - (s - t) \mathfrak{X}_{43} \mathfrak{J}_4 \quad (136)$$

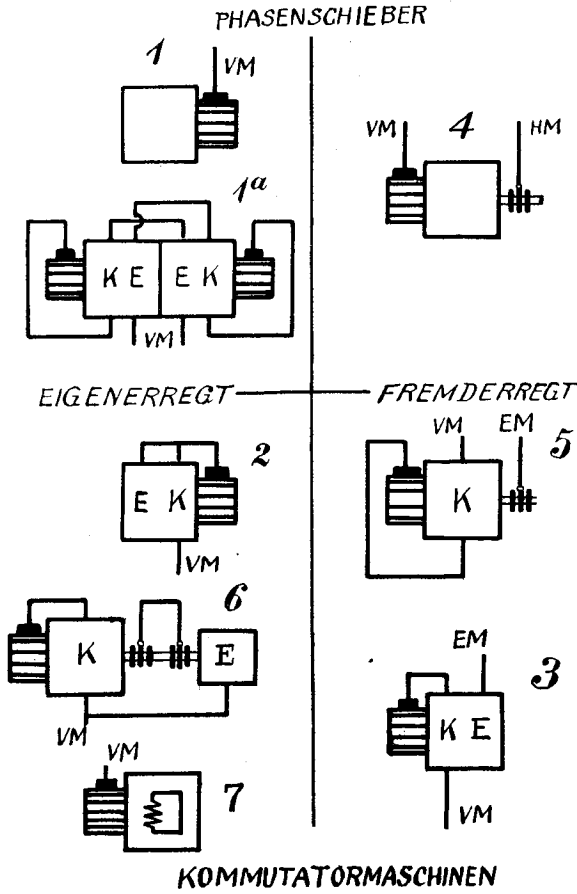
Die Eisenverluste in der HM sollen im allgemeinen nicht berücksichtigt werden; sämtliche Reaktanzen und Gegenreaktanzen $\mathfrak{X}_3, \mathfrak{X}_1, \mathfrak{X}_{43}$ etc. sind dann rein imaginäre Größen. Die angewandte Schreibweise gestattet jedoch, bei Bedarf auch die Eisenverluste der HM in Berücksichtigung zu ziehen.

Die Schleifringspannung der VM ist

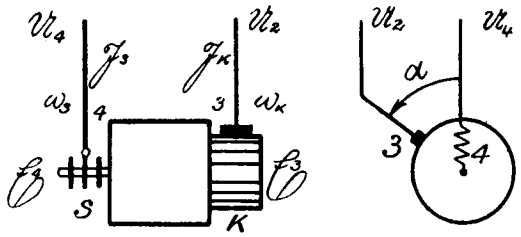
$$\mathfrak{U}_2 = (R_2^* + s \mathfrak{Z}_{2\infty}^*) \mathfrak{J}_2 - s \mathfrak{E}_{20} \quad (137)$$

Die Klemmenspannung der HM beträgt

$$\mathfrak{U}_3 = (R_3 + s \mathfrak{X}_{3\sigma}) \mathfrak{J}_3 - \mathfrak{E}_3 \quad (138)$$



Figur 15: Prinzipielle Einteilung der Hintermaschinen.



Figur 16: Frequenzwandler.

Wird nur der Arbeitsstromkreis 3 an die Schleifringe der VM angeschlossen, so wird $\mathfrak{J}_2 = \mathfrak{J}_3$, außerdem ist stets $\mathfrak{U}_2 = -\mathfrak{U}_3$, da die negative Klemmenspannung, d. h. die Summe der induzierten Spannungen vermindert um die Spannungsabfälle der einen Maschine stets die der andern aufgedrückte Klemmenspannung darstellt.

Die Spannungsgleichung für den gesamten Sekundärkreis lautet:

$$\mathfrak{E}_3 - (R_3 + s\mathfrak{X}_{3\sigma})\mathfrak{J}_2 + s\mathfrak{E}_{20} = (R_2^* + s\mathfrak{Z}_{2\infty}^*)\mathfrak{J}_2 \quad (139)$$

Ohmscher Widerstand R_3 und Streureaktanz $\mathfrak{X}_{3\sigma}$ der HM können mit den sekundären Konstanten R_2^* und $\mathfrak{Z}_{2\infty}^*$ der VM zusammengefaßt werden gemäß:

$$R_2 = R_2^* + R_3 \quad \text{und} \quad \mathfrak{Z}_{2\infty} = \mathfrak{Z}_{2\infty}^* + \mathfrak{X}_{3\sigma} \quad (140)$$

Der Grundkreis bezieht sich, wie bereits früher erwähnt, stets auf die so erweiterten Konstanten der VM. Die Spannungsgleichung für den gesamten Sekundärkreis lautet nun:

$$\mathfrak{E}_3 + s\mathfrak{E}_{20} = (R_2 + s\mathfrak{Z}_{2\infty})\mathfrak{J}_2 \quad (141)$$

Im folgenden wird die Kompensationsspannung \mathfrak{E}_3 berechnet, nicht die wirklich den Schleifringen der VM aufgedrückte Spannung \mathfrak{U}_2 , die einzig bei Nebenschluß-Erregung der HM zur Berechnung ihres Erregerstromes gebraucht wird, sonst aber bei Verwendung der erweiterten sekundären Konstanten der VM keine Bedeutung mehr hat.

3. Der eigenerregte Phasenschieber nach Leblanc-Scherbius.

Der eigenerregte Phasenschieber nach Leblanc ist die älteste der zur Phasenkompensation der AM vorgeschlagenen HM. In der einfachsten Form besteht er nur aus einem mit einem mehrphasigen Bürstensenetz versehenen Gleichstromanker, der übersynchron zu seinem Kommutatorstrom angetrieben wird.

Der Kommutator- und Arbeitsstrom ist gleichzeitig Erregerstrom ($\mathfrak{J}_2 = \mathfrak{J}_3 = \mathfrak{J}_4$) und induziert in dem mit der Geschwindigkeit $\omega_3 = t\omega_1$ umlaufenden Kommutatoranker die Spannung

$$\mathfrak{E}_3 = -(s - t)\mathfrak{X}_3\mathfrak{J}_2 \quad (142)$$

Eine etwas genauere Berechnung nach Arnold (L. 1, S. 14) gibt ein prinzipiell gleiches Resultat. Darnach ist die effektive Reaktanz X_{eff} eines mit der Geschwindigkeit ω_3 rotierenden Kommutatorankers für einen Strom der Rotationsgeschwindigkeit $s\omega_1$

$$X_{\text{eff}} = sX_3 \left(1 - \frac{\omega_3}{s\omega_1} \Delta\right) \quad (143)$$

Dabei ist sX_3 die Reaktanz des ruhenden Ankers, berechnet für die Frequenz des Kommutatorstromes. Der Faktor Δ ist abhängig vom

innern Widerstand der Kurzschlußkreise Δp , der zwischen den Bürstenspitzen induzierten Spannung Δe und der Zahl der Bürstenaxen m gemäß:

$$\Delta = \frac{\Delta p}{\Delta e} \cdot \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\frac{\pi}{m}} \quad (144)$$

Die induzierte Spannung wird somit

$$\mathfrak{E}_3 = -j s X_3 \left(1 - \frac{t}{s} \Delta\right) \mathfrak{J}_2 \quad (145)$$

Für $t > s$ wird die wirksame Reaktanz negativ, im Anker wird eine dem Strom voreilende Spannung induziert. Der Ph wirkt ähnlich wie ein Kondensator, die induzierte Spannung nimmt jedoch, im Gegensatz zum Kondensator, mit abnehmender Frequenz des speisenden Stromes etwas zu.

Für elektrische Kupplung des Ph wird

$$\omega_3 = \pm \ddot{u} \omega_1 \quad \text{und} \quad t = \pm \ddot{u} \quad (146)$$

Für mechanische Kupplung des Ph wird

$$\omega_3 = \pm \ddot{u} (1 - s) \omega_1 \quad \text{und} \quad t = \pm (1 - s) \ddot{u} \quad (147)$$

Die Konstante \ddot{u} ist im ersten Fall das Verhältnis der konstanten Drehzahl des Ph zur synchronen Drehzahl der VM, im zweiten Fall das Uebersetzungsverhältnis der Kupplung zwischen Ph und VM, stets gleiche Polzahl der beiden Maschinen vorausgesetzt. Die Konstante \ddot{u} ist positiv oder negativ, je nachdem die beiden Maschinen sich in gleichem oder entgegengesetztem Sinn drehen.

Werden Ohmscher Widerstand und Reaktanz des stillstehenden Ph mit den entsprechenden sekundären Konstanten der VM zusammengefaßt, so bleibt als Kompensationsspannung nur die Rotationsspannung

$$\mathfrak{E}_{3r} = \pm \ddot{u} X_3 (1 - \sigma s) \mathfrak{J}_2 = \mathfrak{B}_2 \mathfrak{J}_2 = \pm j B_2 \mathfrak{J}_2 \quad (148)$$

Dabei ist wie gewohnt für elektrisch gekuppelten Ph unter Voraussetzung konstanter Antriebsdrehzahl $\sigma = 0$ und für mechanisch und elektrisch gekuppelten Ph $\sigma = 1$ zu setzen.

Die Kompensationsspannung des eigenerregten Ph ist bei jeder Belastung mit dem Sekundärstrom der VM in Quadratur. Die Wirkleistung des Ph ist Null. Seine Stromwärmeverluste müssen von der VM getragen werden. Ihre Schlüpfung wird dabei sowohl durch den größeren Widerstand des Sekundärkreises, als auch durch die Vergrößerung des Sekundärstromes vergrößert.

Die Kompensationsspannung ist eine sekundäre Hauptstromspannung. Es ergibt sich somit das im Abschnitt II,3 abgeleitete Stromdiagramm.

Das Argument des Faktors \mathfrak{B}_2 beträgt $\beta_2 = \pm \frac{\pi}{2}$.

Wie aus dem Diagramm ersichtlich, ergibt der positive Wert von β_2 nur für motorischen, der negative nur für generatorischen Betrieb der VM einen bessern Leistungsfaktor. Beim Uebergang von der einen zur andern Betriebsart muß deshalb die Drehrichtung des Ph oder diejenige ihres Drehfeldes umgekehrt werden.

4. Der Frequenzwandler.

Im Läufer eines Frequenzwandlers (FW) befindet sich eine Gleichstromwicklung, die einerseits mit dem Kommutator, andererseits bei Drehstrom an drei um 120° versetzten Punkten mit drei Schleifringen verbunden ist (Figur 16), oder, wie bei der Maschine nach Schrage, zwei getrennte Wicklungen, wobei die eine an den Kommutator, die andere an die Schleifringe angeschlossen ist. Wie beim eigenenerregten Ph, von dem sich der FW im Aufbau nur durch die Schleifringe unterscheidet, kann der unbewickelte Ständer weggelassen werden. Bei großen Leistungen werden im Ständer Wendepole untergebracht, die das die kommutierenden Windungen durchsetzende Hauptfeld kompensieren (L. 22).

Die Schleifringe des FW seien an die konstante Spannung der Netzfrequenz angeschlossen; dementsprechend rotiert das Drehfeld gegenüber dem Läufer mit der konstanten Geschwindigkeit $\omega_s = 2\pi f_s$ und gegenüber den im Raum stillstehenden Kommutatorbürsten mit der Geschwindigkeit $\omega_K = \omega_s + \omega_r$, vorausgesetzt, daß sich der Läufer mit der Geschwindigkeit ω_r dreht und die Indices K und s Kommutator- und Schleifringseite kennzeichnen.

Die Frequenz des Kommutatorstromes kann somit durch Wahl der Rotationsgeschwindigkeit des Läufers beliebig eingestellt werden. Ebenso kann dem Kommutator ein Strom konstanter Frequenz zugeführt und dabei die umgeformte Frequenz an den Schleifringen abgenommen werden. Mit abnehmender Frequenz des Schleifringstromes wird jedoch der sonst für konstante Spannung konstante Fluß infolge der geringern Relativgeschwindigkeit zwischen Feld und Läufer immer größer und für $\omega_s = 0$ theoretisch unendlich groß. In allen Fällen, wo auf besonders kleine Frequenzen und insbesondere auf Gleichstrom umgeformt werden soll, muß die variable Frequenz am Kommutator abgenommen werden.

Soll am Kommutator zur Kompensation einer AM eine mit Schlupffrequenz pulsierende Spannung abgenommen werden, so ist die erforderliche Drehzahl des FW

$$\begin{aligned} \text{für } \omega_s &= \pm \omega_1 \text{ und } \omega_K = \pm s \omega_1 : \omega_r = \pm (1 \mp s) \omega_1 \\ \text{für } \omega_s &= \pm (1 - s) \omega_1 \text{ und } \omega_K = \pm s \omega_1 : \omega_r = \pm \omega_1 \end{aligned} \quad (149)$$

Im ersten Fall wird der FW mit konstanter Netzfrequenz gespeist, im zweiten Fall mit einer der Drehzahl der VM proportionalen Frequenz. Dabei sind je nach Schaltung der Phasenfolge zwei verschiedene Dreh-

richtungen möglich, im ersten Falle zudem für jede Drehrichtung zwei verschiedene Geschwindigkeiten, während im zweiten Fall der FW stets synchron mit dem Netz anzutreiben ist.

Die Spannungen der Schleifring- und Kommutatorseite sind, abgesehen vom Spannungsabfall, bei nur einer Läuferwicklung oder zwei gleichen Wicklungen gleich, da bei gleicher Phasen- und Bürstenzahl stets die gleiche Zahl Windungen an Spannung liegt¹⁾. Die gegenseitige Lage der beiden Spannungen verschiedener Frequenz ist abhängig von der gegenseitigen Lage der Schleifringanschlußpunkte zu den Kommutatorbürsten. Die beiden Spannungen seien in Phase, wenn zur Zeit Null die Schleifringanschlüsse unter den Bürsten liegen. Durch Bürstenverschiebung oder Verstellen der Antriebskupplung kann somit jede beliebige Phasenverschiebung α der beiden Spannungen hergestellt werden. Die Spannungsgleichung des FW lautet somit:

$$\mathcal{E}_K = e^{-j\alpha} \mathcal{E}_s \quad (150)$$

Abgesehen von der phasendrehenden Wirkung des Winkels α und den Spannungsabfällen im FW sind Größe und Phase der abgenommenen Spannung der Erregerspannung proportional. Diese wird meist entweder vom Netz oder einem besondern Generator, der Erregemaschine EM geliefert. Im ersten Fall erfolgt die Spannungsregelung durch Transformatoren mit Anzapfungen oder Drehtransformatoren, im zweiten Fall wird die Spannung im Erregerkreis der EM reguliert. Beim einfachen Anzapftransformator ist nur stufenweise Spannungsregelung möglich, die Phase der Spannung kann ebenfalls nur stufenweise durch Aenderungen in der Schaltung gedreht werden. Drehtransformatoren und besondere EM gestatten kontinuierliche Spannungsregelung. Die Phase kann in allen Fällen durch Bürstenverschiebung beliebig eingestellt werden.

Im Winkel α sei bei Besprechung des FW als HM in Kaskadenschaltungen stets die gesamte Phasenverschiebung der Kompensationsspannung gegen die Erregerspannung berücksichtigt, gleichgültig, ob diese durch Bürstenverschiebung oder andere Mittel, z. B. einen Drehtransformator oder Phasenumschaltung erfolgt sei.

Da der Winkel α beliebig eingestellt werden kann, ist der FW keine reine Blindleistungsmaschine, sondern steht mit dem Sekundärteil der VM in elektrischem Energieaustausch. Der FW entwickelt kein eigenes Drehmoment, da er ja keine Ständerwicklung besitzt; alle Energie wird auf elektrischem Wege ans Netz oder an die EM des FW weitergeleitet. Sobald der FW belastet wird, so wird das Feld des Kommutatorstromes \mathfrak{J}_K infolge der konstanten Schleifringspannung durch entgegengesetzt gleiche AW der Schleifringseite (AW_s') aufgehoben. Im Raum-Zeit-Diagramm der Figur 17 sind die AW auf die Schleifringseite bezogen (vgl. S. 14), die Ströme dagegen in ihrer zeit-

¹⁾ Der Einfluß der endlichen Lamellenzahl bleibt dabei unberücksichtigt.

lichen Phase dargestellt. Nach der Figur 17 ist $AW_K = AW_s'$ und $\varphi_s = \varphi_i$. Abgesehen vom Magnetisierungsstrom \mathfrak{J}_m und den Verlusten sind somit Schleifring- und Kommutatorstrom stets gleich groß und gegenüber Schleifring- und negativer Kommutatorspannung um gleiche Winkel in der Phase verschoben.

Die Spannungsabfälle, bedingt durch den Ohmschen Widerstand und die Streureaktanz der Ankerwicklung, sind beim FW sehr klein. Bei gemeinsamer Ankerwicklung berechnet sich der effektive Ohmsche Widerstand R_e ¹⁾ und die effektive Streureaktanz X_e nach Seiz (L. 19) aus dem Ankerwiderstand R und der Reaktanz X bezogen auf Netzfrequenz zu

$$R_e = 0,63 R \quad X_e = \frac{X}{3} \left(0,02 \frac{\omega_s}{\omega_1} + 0,52 \frac{\omega_K}{\omega_1} \right) \quad (151)$$

Liegen die Schleifringe am Netz, so wird $\omega_s = \omega_1$ und $\omega_K = \omega_1$ und somit die Reaktanz

$$X_e = \frac{X}{3} (0,02 + 0,52 s) \quad (152)$$

Wird dagegen der Kommutator ans Netz gelegt, so wird $\omega_s = s\omega_1$ und $\omega_K = \omega_1$ und die Reaktanz wird

$$X_e = \frac{X}{3} (0,02 s + 0,52) \quad (153)$$

Bei Erregung des FW mittels einer besondern EM mit Rotationsfrequenz der VM werden die konstanten Summanden obiger Gleichungen $(1-s)$ proportional. In beiden Fällen wird bei der üblichen Schaltung, in der der FW über die Schleifringe erregt wird und kommutatorseitig mit der AM verbunden ist, bei kleinen Schlüpfungen der VM der Spannungsabfall erheblich kleiner als bei der umgekehrten Anordnung.

Bei getrennten Wicklungen können die Widerstände beider Wicklungen zusammengefaßt werden. Bezeichnen r_s und r_k den Ohmschen Widerstand der Schleifring- und der Kommutatorwicklung und r_s' und r_k' die auf die Windungszahl der Kommutator- bzw. Schleifringseite reduzierten Widerstände, so ist der effektive Widerstand auf der Kommutatorseite $r_e = r_k + r_s'$, auf der Schleifringseite $r_e = r_s + r_k'$. Der induktive Spannungsabfall ist bei in gleichen Nuten untergebrachten Wicklungen annähernd gleich oder nur wenig größer als bei gemeinsamer Ankerwicklung. Der gesamte Spannungsabfall im FW wird somit sehr angenähert:

$$\Delta \mathcal{E} = - \left(r_e + \frac{sX}{6} \right) \mathfrak{J}_2 \quad (154)$$

und kann somit durch entsprechende Vergrößerung der sekundären Konstanten der VM leicht berücksichtigt werden. Damit wird die

¹⁾ Eine Berechnung der Kupferverluste gibt auch Weiler (L. 21).

Spannung des FW, je nachdem dieser schleifringseitig oder kommutatorseitig durch die Spannung U_4 erregt wird

$$\mathcal{E}_3 = - e^{\pm j\alpha} U_4 \quad (155)$$

· Meist ist die aufgedrückte Spannung U_4 proportional der Netzspannung. Dann wird auch die Spannung \mathcal{E}_3 des FW der Netzspannung proportional

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{D}_1 U_1 = \mathcal{C}_2 \mathcal{E}_{20} \quad (156)$$

Der FW liefert demnach eine konstante Nebenschlußspannung, für welche das Diagramm der AM in Abschnitt II, 2 abgeleitet und besprochen wurde.

5. Der Frequenzwandler mit Kompensationswicklung.

Der FW mit Kompensationswicklung nach Figur 18 trägt im Ständer eine vom Kommutatorstrom durchflossene Wicklung, die meist so bemessen ist, daß sie das Ankerfeld des Kommutatorstromes aufhebt. Für die Frequenz gelten die gleichen Bedingungen wie für den unkompenzierten FW. Die AM kann aber jetzt nur auf der Kommutatorseite angeschlossen werden, da der Sekundärstrom der VM kompensiert werden soll, um den Netzstrom des FW zu verringern. Mit den Bezeichnungen der Figur 18 betragen die vom gemeinsamen Feld in den beiden Wicklungen induzierten Spannungen unter Vernachlässigung der Streuung

$$\mathcal{E}_4 = - X_{44} \mathcal{I}_4 - (s-t) \{ X_{54} e^{j\gamma} + X_{34} e^{j\alpha} \} \mathcal{I}_3 \quad (157)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{3,5} = & - \{ X_{43} e^{-j\alpha} + (1+t) X_{45} e^{-j\gamma} \} \mathcal{I}_4 \\ & - \{ (s-t) (X_{33} + X_{53} e^{j(\gamma-\alpha)}) + s (X_{35} e^{-j(\gamma-\alpha)} + X_{55}) \} \mathcal{I}_3 \end{aligned} \quad (158)$$

Dabei ist $t = \frac{\omega_3}{\omega_1}$ die Rotationsgeschwindigkeit des Läufers, bezogen auf synchrone Drehzahl oder die Frequenz des Schleifringstromes. Die Bürsten und die Kompensationswicklung sind um die Winkel α und γ gegen die Axe der Schleifringwicklung verschoben. X_{44} , X_{33} und X_{55} sind die Eigenreaktanzen der Wicklungen, w_4 , w_3 und w_5 ihre Windungszahlen. Die Gegenreaktanzen betragen dann

$$\begin{aligned} X_{43} &= X_{44} \frac{w_3}{w_4} = X_{33} \frac{w_4}{w_3} = X_{34} \\ X_{45} &= X_{44} \frac{w_5}{w_4} = X_{55} \frac{w_4}{w_5} = X_{54} \\ X_{35} &= X_{33} \frac{w_5}{w_3} = X_{55} \frac{w_3}{w_5} = X_{53} \end{aligned} \quad (159)$$

Die Gleichungen 157 und 158 schreiben sich für $t = s - 1$ und unter Beachtung der Gleichungen 159:

$$\mathcal{E}_4 = -\mathcal{X}_{44} \mathcal{J}_4 - \left(\mathcal{X}_{55} \frac{w_4}{w_5} e^{j\gamma} + \mathcal{X}_{33} \frac{w_4}{w_3} e^{j\alpha} \right) \mathcal{J}_3 \quad (160)$$

$$\mathcal{E}_{3+5} = - \left(\mathcal{X}_{44} \frac{w_3}{w_4} e^{-j\alpha} + s \mathcal{X}_{44} \frac{w_5}{w_4} e^{-j\gamma} \right) \mathcal{J}_4 \quad (161)$$

$$- \left\{ \left(\mathcal{X}_{33} + \mathcal{X}_{55} \frac{w_3}{w_5} e^{j(\gamma - \alpha)} \right) + s \left(\mathcal{X}_{33} \frac{w_5}{w_3} e^{-j(\gamma - \alpha)} + \mathcal{X}_{55} \right) \right\} \mathcal{J}_3$$

Die im Kommutatorstromkreis induzierte Spannung beträgt somit

$$\mathcal{E}_{3+5} = \left(\frac{w_3}{w_4} e^{-j\alpha} + s \frac{w_5}{w_4} e^{-j\gamma} \right) \mathcal{E}_4 \quad (162)$$

Besitzt der kompensierte FW nur *eine* Läuferwicklung, so ist $w_3 = w_4$. Für vollständige Kompensation des Feldes des Sekundärstromes wird $w_5 = w_3$ und $\beta = \gamma - \alpha = \pi$. Für die übliche Bürststellung $\alpha = -\frac{\pi}{2}$ und $\gamma = \frac{+\pi}{2}$ wird dann

$$\mathcal{E}_{3+5} = +j(1 - s) \mathcal{E}_4 \quad (163)$$

Für $w_5 = 0$ entsteht der gewöhnliche FW, wie er im vorangehenden Abschnitt behandelt wurde.

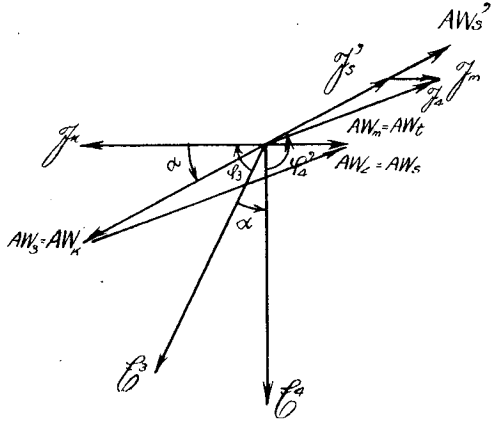
Die Spannung des kompensierten FW ist eine variable (von der Schlüpfung abhängige) Nebenschlußspannung, die bei vollständiger Kompensation die in Gleichung 91 und 98 angenommene konstante und variable Komponente enthält. Das Stromdiagramm für diese Spannung wurde in Abschnitt II, 2 abgeleitet.

Da im Einfluß auf das Stromdiagramm der Unterschied gegenüber der konstanten Nebenschlußspannung nur gering ist, erübrigt sich hier eine besondere Untersuchung des Diagramms für den seltenen Fall des teilweise kompensierten FW (siehe DRP 103 627, Figur 46).

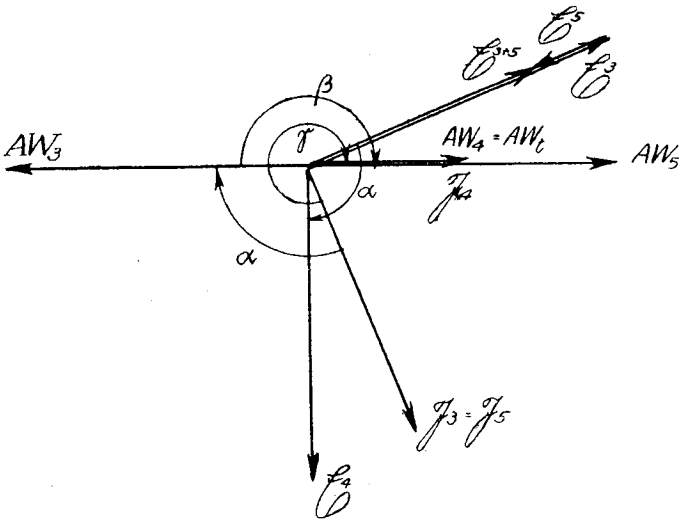
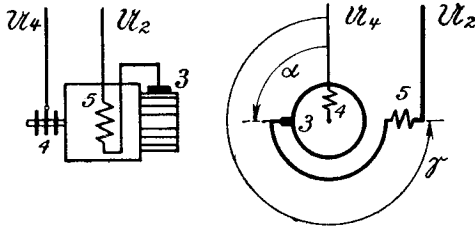
Das Spannungsdiagramm des kompensierten FW ist in Figur 19 dargestellt. \mathcal{E}_3 , \mathcal{E}_4 und \mathcal{E}_5 sind die vom gemeinsamen Hauptfeld in den betreffenden Wicklungen induzierten Spannungen, $\mathcal{E}_{HM} = \mathcal{E}_{3+5} = \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_5$ ist die Kompensationsspannung der HM. Für das Diagramm wurde der Strom $\mathcal{J}_3 = \mathcal{J}_2$ der Spannung \mathcal{E}_3 um $\frac{\pi}{2}$ nacheilend angenommen; die HM liefert somit eine reine Blindspannung.

Da der Erregerstrom \mathcal{J}_4 und die AW des Stromes $\mathcal{J}_5 = \mathcal{J}_3$ in der Kompensationswicklung in dem für die Arbeitsweise der HM maßgebenden Raum-Zeit-Diagramm miteinander zusammenfallen, entwickelt der kompensierte FW bei der angenommenen Belastung kein Drehmoment. Dagegen ist leicht ersichtlich, daß bei einer Aenderung der Richtung des Kommutatorstromes \mathcal{J}_3 bei konstantem Bürstwinkel α oder des

Figur 17:
Diagramm des Frequenzwandlers.



Figur 18:
Frequenzwandler mit
Kompensationswicklung.



Figur 19: Diagramm des Frequenzwandlers mit Kompensationswicklung.

Bürstenwinkels bei unveränderter Stromphase, d. h. sobald die Kommutatorspannung nicht mehr eine reine Blindspannung ist, der kompensierte FW ein motorisches oder generatorisches Drehmoment entwickelt.

Bei vollständiger Kompensation wird der Klammerausdruck in Gleichung 160 gleich Null, und der Schleifringstrom berechnet sich zu:

$$\mathfrak{I}_4 = \frac{\mathfrak{E}_4}{-X_{14}} \quad (164)$$

Der Schleifringstrom des kompensierten FW ist somit unter Vernachlässigung des Ohmschen Widerstandes der Erregerwicklung reiner Blindstrom und vom Kommutatorstrom unabhängig. In der leichten Regulierbarkeit dieses Stromes gegenüber dem mit der Belastung der AM schwankenden Schleifringstrom des unkompensierten FW liegt die Bedeutung der Kompensationswicklung. Dem kompensierten FW wird keine elektrische Leistung zugeführt. Der Sekundärspannung kann jedoch wie beim gewöhnlichen FW jede beliebige Richtung gegeben werden, somit dem Sekundärteil der AM auch elektrische Energie zu- oder weggeführt werden. Diese Energie wird, wie bereits an Hand des Diagrammes besprochen, vom kompensierten FW in mechanische Energie umgeformt und über die Kupplung weitergeleitet.

FW mit und solche ohne Kompensationswicklung sind demnach zwei ganz verschiedene Maschinen. In der einen findet nur eine Frequenzumformung ohne mechanische Energieumsetzungen statt, die andere arbeitet als fremderregter Motor oder Generator.

Kupferverluste und Streureaktanz des kompensierten FW sind größer als diejenigen des unkompensierten, da keine Ueberlagerung der Läuferströme mehr stattfindet. Dazu kommen noch die Verluste der Kompensationswicklung. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß die Richtung der Kommutatorspannung nicht mehr durch Bürstenverschiebung eingestellt werden kann, es sei denn, die Ständerwicklung werde stets mit den Bürsten um denselben Winkel verdreht, damit Bürstenaxe und Axe der Kompensationswicklung stets miteinander zusammenfallen.

Diese Nachteile werden aber durch die Vorteile des kleinern Schleifringstromes und die dadurch bedingte leichtere Spannungsregelung und die bessere Kommutation reichlich aufgehoben. Die Oberfelder des Sekundärstromes haben keinen Einfluß mehr auf die Güte der Kommutation, da sie wie das Hauptfeld durch die Kompensationswicklung aufgehoben werden; ebenso verschwinden die Oberfelder, die durch die zeitlich veränderliche Lage zwischen Schleifringanschlüssen und Kommutatorbürsten bedingt sind (L. 11), da der Kommutatorstrom nicht mehr über die Schleifringe weitergeleitet wird.

Durch den so einfachen Zusatz „Mit und ohne Kompensationswicklung“ verlangen viele Patente Schutz für Einrichtungen bei beiden Maschinen. Um Wiederholungen zu vermeiden, schien mir deshalb eine gemeinsame Besprechung der Patente dieser beiden prinzipiell so verschiedenen Maschinen vorteilhaft.

6. Die ständererregten Hintermaschinen.

Die einfachste ständererregte Kommutatormaschine besteht aus einem Kommutatoranker und der Erregerwicklung im Ständer, wie z. B. die von Nehlsen (L. 12) vorgeschlagene Drehstrom-Serie-Erregermaschine. Meist wird jedoch im Ständer noch eine vom Läuferstrom durchflossene Kompensationswicklung untergebracht, welche die AW der Ankerwicklung aufhebt. In Figur 20 ist K die Kompensationswicklung und E die Erregerwicklung; der Erregerstrom ist wie üblich mit \mathfrak{I}_4 bezeichnet. Die Bürsten sind um den Winkel α aus der Axe der Erregerwicklung verdreht.

Die Erregerwicklung ist auf den Umfang des Ständers verteilt oder um ausgeprägte Pole konzentriert. Im ersten Fall erzeugt das Erregerfeld die volle Rotationsspannung in den unter den Bürsten kurzgeschlossenen Windungen; dafür kann die räumliche Lage zwischen Bürsten- und Wicklungsaxe beliebig eingestellt werden. Im zweiten Fall stehen Feld und Bürstenaxen bei der gewöhnlichen Ausführung mit einem ausgeprägten Pol pro Pol und Phase der Maschine senkrecht aufeinander, oder sind bei der Ausführung nach Scherbius mit einem ausgeprägten Pol pro Polpaar und Phase der Maschine und verkürztem Wicklungsschritt im Anker (120°) um $\frac{1}{6}$ des elektrischen Umfanges ($\alpha = \pm \frac{\pi}{3}$) gegeneinander verschoben. Die kommutierenden

Windungen liegen in diesem Fall bei beiden Ausführungsformen zwischen den Polen, so daß das Erregerfeld nicht in die Wendezonen eindringt und nur eine Transformationsspannung in den unter den Bürsten kurzgeschlossenen Windungen induziert wird. Bei ausgeprägten Polen können überdies zwischen diesen Wendepole untergebracht werden, durch welche die Kommutationsverhältnisse noch weiter verbessert werden. Die Kompensationswicklung ist immer als verteilte Wicklung ausgeführt, um die Anker-AW möglichst vollständig aufzuheben.

Da die für das Raum-Zeit-Diagramm maßgebende Lage des Erregerfeldes statt durch den Winkel α , d. h. die räumliche Lage der Erregerwicklung gegenüber den Bürsten, ebensogut durch die zeitliche Lage des Erregerstromes eingestellt werden kann, kann auch die Kompensationswicklung als Erregerwicklung dienen. Figur 21 zeigt eine solche Schaltung bei Nebenschluß-Eigenerregung unter Verwendung eines Erregertransformators ET, während in Figur 22 die besonders einfache Schaltung für Hauptschlußerregung dargestellt ist. Diese Maschine entspricht dem Drehstrom-Serie-Motor und ergibt für $\alpha' = \frac{\pi}{2}$ die

von Nehlsen vorgeschlagene Erregermaschine. Die Spannung dieser un-kompensierten Hauptschlußmaschine kann berechnet werden wie die Spannung einer kompensierten Maschine, deren Erregerwicklung so gewählt wird, daß sie mit der Kompensationswicklung zusammen das

selbe Feld erzeugt, wie die Erregerwicklung der unkompenzierten Maschine für sich allein. Die folgenden Ableitungen berücksichtigen deshalb ausschließlich kompenzierte Maschinen.

Bei einer kompenzierten Kommutatormaschine bilden Anker und Kompensationswicklung nur Streufelder aus. Die Streuspannung der Ankerwicklung ist

$$\mathcal{E}_{3\sigma} = - (s - t \Delta) \mathcal{X}_{3\sigma} \mathcal{J}_3 \quad (165)$$

Die Streuspannung der Kompensationswicklung beträgt:

$$\mathcal{E}_{5\sigma} = - s \mathcal{X}_{5\sigma} \mathcal{J}_5 \quad (166)$$

Dabei bezeichnen $\mathcal{X}_{3\sigma}$ und $\mathcal{X}_{5\sigma}$ die Streureaktanzen der Läufer- und Kompensationswicklung. Die Gegenreaktanzen zwischen Erregerwicklung (4) und Läufer- und Kompensationswicklung seien \mathcal{X}_{43} und \mathcal{X}_{45} . Der Erregerstrom \mathcal{J}_4 erzeugt somit im Läufer die Spannung

$$\mathcal{E}_{43} = - (s - t) \mathcal{X}_{43} e^{-j\alpha} \mathcal{J}_4 \quad (167)$$

und in der Kompensationswicklung die Transformationsspannung

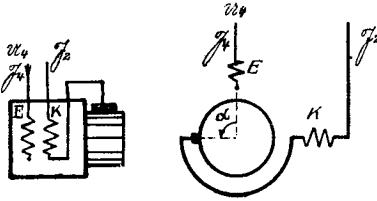
$$\mathcal{E}_{45} = - s \mathcal{X}_{45} e^{-j(\alpha + \pi)} \mathcal{J}_4 = s \mathcal{X}_{45} e^{-j\alpha} \mathcal{J}_4 \quad (168)$$

Da bei vollständiger Kompensation $\mathcal{X}_{43} = \mathcal{X}_{45}$ ist, wird die Spannung der ständererregten HM:

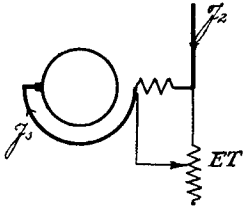
$$\mathcal{E}_{HM} = - \mathcal{E}_{3+5} = \mathcal{E}_{43} + \mathcal{E}_{45} = t \mathcal{X}_{43} e^{-j\alpha} \mathcal{J}_4 \quad (169)$$

Dieser Ableitung wurde ein normaler Anker mit Durchmesserwicklung und gleiche Schaltung der Ständer- und Läuferwicklung zugrunde gelegt. Bei Sternschaltung der Erregerwicklung ist die dadurch bedingte Verdrehung des Drehfeldes stets gesondert zu berücksichtigen. Bei der Scherbius-Maschine gilt die räumliche Verschiebung der Wicklungsachsen (Winkel α) nur für die Oberlagen der Läuferwicklung, für die Unterlagen der Ankerstäbe beträgt die Verschiebung nach Fig. 23 Null oder $-\frac{2}{3}\pi$, während der Axenwinkel für die Oberlagen

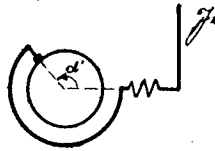
wie erwähnt $\pm \frac{\pi}{3}$ beträgt. Die wirkliche Phasenverschiebung der induzierten Spannung ergibt sich als Mittelwert der beiden Teilspannungen zu $\frac{\pi}{6}$ oder $\frac{2}{3}\pi$. Im zweiten Fall wird diese Spannung \mathcal{E}_{HM} gleich oder entgegengesetzt gleich wie diejenige des Erregerstromes, im ersten Fall steht sie bei Uebergang von Dreieck- auf Sternschaltung im Erregerstromkreis mit dem Erregerstrom in Quadratur, während sie bei der Maschine mit normaler Ankerwicklung und ausgeprägten Polen ($\alpha = \pm \frac{\pi}{2}$) in Phase oder Gegenphase mit dem Erregerstrom ist. Bei



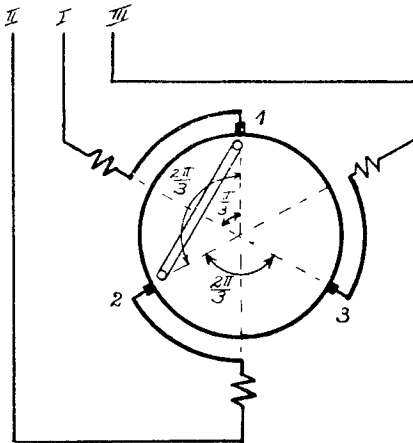
Figur 20: Kompensierte ständererregte HM.



Figur 21: Nebenschluß-Erregung mittels gemeinsamer Erreger- und Kompensationswicklung.



Figur 22: Hauptstrom-Erregung mittels gemeinsamer Erreger- und Kompensationswicklung.



Figur 23: Richtung der Wicklungsachsen bei der Scherbius-Maschine.

der Maschine mit verteilter Erregerwicklung kann der Winkel α wie erwähnt beliebig gewählt werden.

Der Erregerstrom \mathfrak{I}_4 ergibt sich bei Nebenschluß-Erregung einzig aus der aufgedrückten Spannung \mathfrak{U}_4 und der Impedanz \mathfrak{Z}_4 der Erregerwicklung zu $\mathfrak{I}_4 = \frac{\mathfrak{U}_4}{\mathfrak{Z}_4}$, bei Hauptschluß-Erregung ist $\mathfrak{I}_4 = \mathfrak{I}_2$ zu setzen. Die Regulierung der Nebenschluß-Erregung wird jedoch dadurch erschwert, daß die Impedanz $\mathfrak{Z}_4 = R_4 + sX_4$ des Erregerkreises von der Schlüpfung abhängig ist, der die Frequenz des Erregerstromes stets proportional ist. Vor allem die Phasenverschiebung in Funktion der Schlüpfung der VM macht sich sehr störend bemerkbar, und es müssen zu ihrer Verminderung oder Aufhebung besondere Mittel angewendet werden.

Die mit der Schlüpfung proportionalen Teile der Streuspannungen können wie gewohnt in den Sekundärkreis der VM verlegt werden; dagegen kann das von der Schlüpfung unabhängige Glied der Streuspannung $\mathfrak{E}_{3\sigma}$ des Läufers nicht auf diese Weise in die sekundäre Streuspannung der VM einbezogen werden, sondern ist, soweit es nicht vernachlässigt werden kann, gesondert zu berücksichtigen. Der Ohmsche Widerstand des Läuferstromkreises addiert sich in gewohnter Weise zum Ohmschen Widerstand des Sekundärkreises der VM.

Die eigenerregten KM sind prinzipiell alle der Selbsterregung fähig, die läufergespeisten können jedoch nur mittels zwischengeschalteter Umformer sich selbst erregen, da Arbeits- und Erregerstrom verschiedene Frequenz besitzen.

Die Selbsterregung erfolgt, sobald die erzeugte Spannung den Ohmschen Spannungsabfall des gesamten Erregerkreises aufhebt. Auf die induktive Spannung ist keine Rücksicht zu nehmen, da HM zur Phasenkompensation ja an und für sich zu dessen Deckung befähigt sind. Beim Serie-Generator beträgt die induzierte Spannung nach Gleichung 168:

$$\mathfrak{E}_{HM} = t X_{43} e^{-j\alpha} \mathfrak{I}_2 = (B' + jB'') \mathfrak{I}_2 \quad (170)$$

Der Erregerstromkreis ist hier zugleich Arbeitsstromkreis. Seine gesamte Impedanz betrage $\mathfrak{Z}_2 = R_2 + s_s X_2$. Die Frequenz des selbsterregten Stromes sei $\omega_2 = s_s \omega_1$. Dem Erregerstromkreis muß die Spannung $\mathfrak{U}_4 = \mathfrak{Z}_2 \mathfrak{I}_2$ aufgedrückt werden. Die Spannungsgleichung für den gesamten selbsterregten Stromkreis lautet demnach bei Vernachlässigung der Eisenverluste

$$(B' + jB'' - R_2 + j s_s X_2) \mathfrak{I}_2 = 0 \quad (171)$$

Daraus folgt als Bedingung der Selbsterregung

$$B' = R_2. \quad (172)$$

Die Frequenz des selbsterregten Stromes ergibt sich aus

$$s_s = \frac{B''}{X_2} \quad (173)$$

Die Größe der in Wirklichkeit auftretenden Spannungen und Ströme kann diesen Gleichungen nicht entnommen werden; diese ergeben sich aus dem Schnittpunkt der sogenannten Widerstandslinie, welche die Spannung der Erregerwirkung in Funktion des Erregerstromes darstellt, mit der Spannungscharakteristik, der induzierten Spannung in Funktion des Erregerstromes. Die Auswirkung der Selbsterregung ist darnach eine Funktion der Sättigung, die in unsern Gleichungen stets unberücksichtigt blieb.

Aus der Gleichung für die Frequenz ergibt sich, daß das Drehfeld des selbsterregten Stromes für $-\frac{\pi}{2} < \alpha < +\frac{\pi}{2}$ im gleichen Sinn, für $\frac{\pi}{2} < \alpha < \frac{3\pi}{2}$ im entgegengesetzten Sinn wie der Läufer des Seriemo-tors sich dreht. Für $\alpha = \pm\frac{\pi}{2}$ wird $s_s = 0$, es entsteht Gleichstrom. Weiter ist die Frequenz des selbsterregten Stromes umgekehrt proportional der Reaktanz des gesamten Erregerkreises.

Abkürzungen der Patentnehmer.

AEG	Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin.
ASEA	Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget in Västerås.
BBC	Akt.-Gesellschaft Brown, Boveri & Cie. in Baden.
F & A	Forges et Ateliers de Construction Electriques de Jeumont, S. A., Paris.
FGL	Felten und Guillaume-Lahmeyerwerke A. G. in Frankfurt a. M.
MFO	Maschinenfabrik Oerlikon in Oerlikon.
Pöge	Pöge Elektrizitäts-Akt.-Gesellschaft in Chemnitz.
SACM	Société Alsacienne de Constructions mécaniques in Belfort.
SAW	Société Anonyme Westinghouse in Paris.
SSW	Siemens-Schuckertwerke Akt.-Ges. in Berlin-Siemensstadt.
SW	Sachsenwerk Licht- und Kraft-Akt.-Ges. in Niedersedlitz.
TF	Société anonyme pour la Transmission de la Force par l'Electricité, Paris.
UEG	Union Elektrizitätsgesellschaft in Berlin.
WEC	Westinghouse Electric Company, Ltd. in London.
W & O	Chr. Weuste & Overbeck G. m. b. H. und Dr.-Ing. Friedrich Wilhelm Meyer. in Duisburg.

Die Titel der nachfolgenden Patente enthalten:

Patentnummer, Gruppe, Patentnehmer, Anmeldedatum, Erfinder (in Klammer das Anmeldedatum entsprechender Auslandspatente), sowie die Nummer von Zusatzpatenten (M. Z.) oder des Hauptpatentes (Z. z.).

Zweiter Teil.

IV. Die deutschen Patente über Schaltungen und Hintermaschinen zur Phasenkompensation.

1. Der eigenerregte Phasenschieber.

Der eigenerregte Ph liefert nach Gleichung 142—148¹⁾ als Kompensationsspannung stets eine mit dem Sekundärstrom in Quadratur stehende der Rotationsgeschwindigkeit des Ph proportionale sekundäre Hauptstromspannung, deren Einfluß auf Leistungsfaktor und Diagramm der VM in Abschnitt II, 3 (Seite 34) ausführlich besprochen wurde.

Als besonderer Vorteil des eigenerregten Ph sind in erster Linie seine Einfachheit im Aufbau, da die Maschine einen unbewickelten Ständer (157 478) oder überhaupt keinen Ständer (275 571) besitzt, und die asynchrone Drehzahl zu nennen. Ein erheblicher Nachteil ist das Verschwinden der Kompensationsspannung bei Leerlauf der VM (L. 10. Eine Verbesserung der Kompensation bei kleinen Belastungen ergibt sich bei starker Sättigung des Ph, wodurch dessen Reaktanz für kleine Ströme größer als für den Vollaststrom wird. Dadurch kann die VM bereits von einer gewissen Teillast an kompensiert werden (275 571). Für ganz kleine Belastungen und Leerlauf bleibt der Ph aber stets wirkungslos.

Der Einfluß Ohmscher Widerstände im Sekundärkreis, wie sie besonders zur Schlupregelung verwendet werden (303 428, 325 385, 326 347), wird im Anschluß an das letzterwähnte Patent besprochen. Eine nachträgliche Beeinflussung der Kompensation kann durch Widerstände (276 429), Umschaltungen (Abschnitt 9a) oder Verwendung zweier Ph erfolgen. Besonders elegant, allerdings ohne große praktische Bedeutung, ist die Regelung durch Bürstenverschiebung bei Verwendung zweier elektrisch gekuppelter Ph (467 238), wodurch eine kontinuierliche Regelung des Leistungsfaktors bis zu einem der Reihenschaltung beider Ph entsprechenden Maximalwert der Kompensationsspannung möglich wird.

Zur Verbesserung der Kommutation des Ph dienen Kommutationsnuten und Wendepole (157 378, 280 958) oder vorteilhafter eine Käfigwicklung im Ständer (443 390, 455 319), die namentlich auch deshalb bedeutungsvoll ist, weil sie bei geeigneter Dimensionierung zur Selbst-erregung führen kann (vgl. Abschnitt 7, S. 150).

¹⁾ S. 50 u. 51.

Anordnungen für selbstlaufende Ph (274 548, 474 028, 295 609) oder der Einbau des Ph in einen andern Motor (497 555, 519 715) bieten gegenüber dem so einfachen Kommutatoranker, der von einem kleinen normalen, nur die Reibungsverluste deckenden Motor angetrieben wird, keine Vorteile.

94 992 Gr. 2 TF 22. 8. 1895.

Zur Erregung asynchroner Wechselstrommaschinen dienen zwei Gleichstrommaschinen, deren Ankerfeld durch eine vom Ankerstrom durchflossene Kompensationswicklung im Ständer vollkommen aufgehoben wird und deren Feldwicklungen gegenseitig vom Ankerstrom der andern Maschine gemäß Figur 24 durchflossen werden. Die beiden Maschinen werden mit beliebiger aber für beide gleicher Drehzahl angetrieben, wozu sie zweckmäßig miteinander gekuppelt werden. Die Sekundärwicklung der VM ist stets zweiphasig auszuführen.

Der Ankerstrom der einen Maschine ist gegen den Ankerstrom der andern um $\frac{\pm \pi}{2}$ zeitlich verschoben und erzeugt infolge der um den räumlichen Winkel $\frac{\pm \pi}{2}$ gegen die Bürstenaxe verschobenen Feldwicklung im Anker eine mit dem Ankerstrom in Quadratur stehende Rotationsspannung. Die Wirkungsweise der beiden Maschinen entspricht somit, abgesehen von den größern Verlusten in Feld- und Kompensationswicklung, der eines mehrphasigen Kommutatorankers (vgl. nachfolgendes DRP 157 378).

Diese Maschine hat keine praktische Bedeutung erlangt, darf jedoch als Vorläufer des heute noch verwendeten eigenerrregten Ph angesehen werden.

157 378 Gr. 2 SAW 6. 3. 1903.

„Die Schleifringe der VM stehen mit Bürsten in Verbindung, welche in gleichen Abständen auf dem Kommutator eines Gleichstromankers schleifen, der in einem Eisenring ohne Wicklung mit Bezug auf die im Anker fließenden Ströme übersynchron umläuft.“ Der Antrieb des Kommutatorankers erfolgt durch die VM (mechanische Kupplung) oder bei von dieser getrennter HM durch eine beliebige Kraftquelle (elektrische Kupplung).

Während bei der vorangehenden einphasigen Anordnung das Ankerfeld jeder Maschine durch eine Kompensationswicklung ausgelöscht wird und eine besondere Erregerwicklung das Arbeitsfeld erzeugt, sind hier Kompensations- und Feldwicklung weggelassen, das Ankerfeld ist gleichzeitig Arbeitsfeld. Dadurch können, abgesehen vom einfachern Aufbau der Maschine und den Vorteilen einer mehrphasigen gegenüber mehreren einphasigen Maschinen, namentlich die Stromwärmeverluste wesentlich reduziert werden.

Schema und Spannungsdiagramm sind in Figur 25 und 26 a und b für motorischen und generatorischen Betrieb der VM dargestellt. Die gegenüber den Bürsten angebrachten Kommutationsnuten im Ständer schwächen das die kommutierenden Windungen durchsetzende Feld und begünstigen damit die Kommutation; der Ph entwickelt jetzt ein Drehmoment (L. 18).

274 548 Gr. 28 BBC 23. 5. 1913. (Siehe auch Abschn. 6, S. 145.)

Der Ph wird mittels einer Ständerwicklung und einer neben der Kommutatorwicklung im Läufer untergebrachten Kurzschlußwicklung als Asynchronmaschine betrieben.

Infolge des fast synchronen Laufes induziert das Ständerdrehfeld keine nennenswerten Spannungen in den unter den Bürsten liegenden Windungen der Kommutatorwicklung. Die Polzahl der Ständer-Motorwicklung wird so gewählt, daß ihre Gegenreaktanz mit der Kommutatorwicklung Null ist. Weiter wird die Kommutatorwicklung am Nutengrund, die Kurzschlußwicklung am Nutenkopf untergebracht.

Wird die Polzahl der Ständerwicklung gleich der halben Polzahl der Kommutatorwicklung gewählt, so kann diese mit den Ausgleichsverbindungen gleichzeitig als Kurzschlußwicklung für die Polzahl der Ständerwicklung dienen. Statt dessen kann auch die Kommutatorwicklung mit einem dem Mittelwert der beiden Polzahlen entsprechenden Schritt gewickelt werden, wobei sie über gleichnamige Bürsten für die Ständerwicklung als Kurzschlußwicklung dient.

Durch diese, wie auch die spätern Anordnungen zur Vereinigung des Ph mit dem Antriebsmotor, wird dieser für den nur elektrisch gekuppelten Ph ebenfalls überflüssig. Die Einsparung an dieser kleinen, serienmäßig hergestellten Maschine wird aber im allgemeinen durch die kompliziertere Herstellung des Ph mit Zusatzwicklung mehr als aufgehoben.

275 571 Gr. 28 BBC 17. 12. 1910. M. Z. 276 429 und 280 958.

Der Ph ohne Ständer wird stark gesättigt, so daß seine Spannung mit zunehmendem Sekundärstrom relativ langsamer zunimmt als direkter Proportionalität entsprechend, wodurch die VM bereits von einer gewissen Teillast an bis Vollast annähernd richtig kompensiert wird (L. 20).

Das Admittanzdiagramm ist unter Berücksichtigung der Sättigung im Ph punktweise aus dem in Abschnitt II, 3 (S. 35) abgeleiteten Diagramm zu konstruieren, indem für jeden Absolutwert des Sekundärstromes ein nur für diesen gültiger Stromkreis berechnet wird, dessen Durchmesser umso kleiner wird, je mehr der Sekundärstrom zunimmt. Der günstige Einfluß der Sättigung auf den Verlauf des Leistungsfaktors mit der Belastung ist darnach evident.

Als Nachteil sind vor allem die ungünstigeren Kommutierungsverhältnisse zu erwähnen, da infolge der Vereinigung von Läufer und Ständer keine Kommutierungsnuten oder Wendepole zur Erleichterung der Kommutation angebracht werden können.

276 429 Gr. 28 BBC 23. 3. 1911. Z. z. 275 571.

Zur Einstellung der durch den Ph bewirkten Kompensation wird diesem ein Ohmscher, induktiver oder kapazitiver Widerstand parallel geschaltet. Nach weitem Patentansprüchen ist der Widerstand zur Entlastung der Schleifringe der VM auf deren Läufer untergebracht (vgl. DRP 325 385 und 326 347).

280 958 Gr. 28 BBC 27. 5. 1911. Z. z. 275 271.

Der Anker des Ph ohne Ständer wird mit Ringwicklung versehen, so daß einzelne Wendepole verwendet werden können, deren Axen eventuell parallel zur Maschinenaxe liegen.

292 243 Gr. 2. MFO 5. 4. 1914. (Schweiz 2. 4. 1914.)

Zur Erzeugung mehrphasiger dem Strom voreilender Spannungen dienen mehrere als Ph wirkende Kommutatoranker mit um 90° gegeneinander verschobenen Erreger- und Kurzschlußbürsten, wobei „die Phasenzahl der zur Erregung benutzten Stromquellen verschieden ist von der Phasenzahl der erzeugten Spannungen“, indem bei dreiphasigem Sekundärteil der VM zwei einphasige Kommutatoranker verwendet werden, wobei die eine Erregerbürste des einen Ankers mit der Kurzschlußbürste des andern nach Art der Scottschen Schaltung (Figur 27) elektrisch verbunden ist. Drehzahl, magnetischer Widerstand oder Windungszahl der beiden Ph werden so gewählt, daß die beiden Spannungen ein normales Drehstromsystem ausbalanzieren.

Wird der an die Schleifringe der VM angeschlossene Stromkreis mit 3 und der Kurzschlußstromkreis mit 4 bezeichnet, so beträgt die zwischen den Bürsten des erstgenannten Stromkreises induzierte Spannung

$$\mathcal{E}_3 = -s X_3 \mathfrak{J}_3 - t X_3 \mathfrak{J}_4 \quad (174)$$

Die zwischen den Kurzschlußbürsten induzierte Spannung beträgt:

$$\mathcal{E}_4 = -s X_4 \mathfrak{J}_4 + t X_3 \mathfrak{J}_3 = R_4 \mathfrak{J}_4 \quad (175)$$

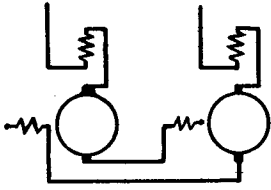
Der Kurzschlußstrom wird:

$$\mathfrak{J}_4 = \frac{t X_3 \mathfrak{J}_3}{R_4 + s X_4} \quad (176)$$

Damit ergibt sich die Spannung in Funktion des Erregerstromes zu:

$$\mathcal{E}_3 = -s X_3 \mathfrak{J}_3 - \frac{t^2 X_3^2 \mathfrak{J}_3}{R_4 + s X_4} \quad (177)$$

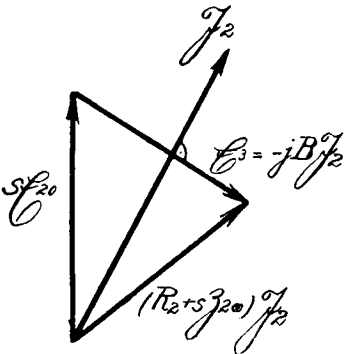
Wie beim mehrphasigen Ph entsteht außer der Reaktanzspannung des Läufers eine dem Sekundärstrom $\mathfrak{J}_2 = \mathfrak{J}_3$ der VM proportionale und um 90° voreilende Spannung und dazu eine diesem Strom entgegengerichtete Spannung, die umso größer wird, je größer der Widerstand des Kurzschlußkreises ist. Da diese Spannung nicht negativ werden kann,



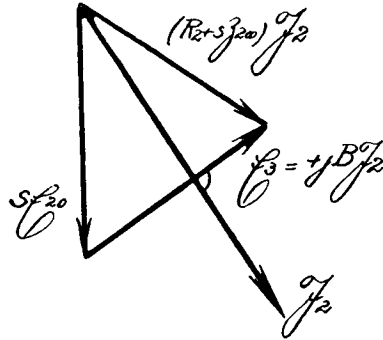
Figur 24: Schaltung zu DRP 94 992.



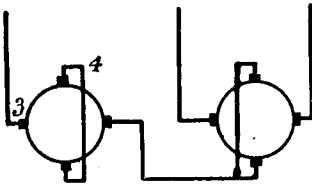
Figur 25: Schaltung zu DRP 157 378.



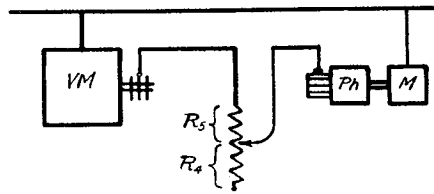
Figur 26 a: Spannungsdiagramm mit eigenerregtem Ph bei motorisch belasteter VM.



Figur 26 b: Spannungsdiagramm mit eigenerregtem Ph bei generatorisch belasteter VM.



Figur 27: Zwei einphasige Phasenschieber in Scottscher Schaltung für Drehstrom.



Figur 28: Schaltung des Schlupf Widerstandes nach DRP 325 385 u. 326 347.

kann der Ph sich nicht selbst erregen, wie das auch mangels einer Ständerwicklung zu erwarten ist. Seine Arbeitsweise ist demnach genau gleich, wie diejenige eines mehrphasigen Ph. Praktisch hat die Verwendung einphasiger Ph keine Bedeutung erlangt.

303 428 Gr. 28 SSW 29. 5. 1915.

Bei Drehzahlregelung der VM mittels in Serie zum Ph geschaltetem Widerstand wird die Drehzahl des Ph proportional dem Schlupfwiderstand verändert, indem z. B. der Schlupfwiderstand der VM und der Schlupfwiderstand des den Ph antreibenden Motors durch mechanische Verbindung gleichzeitig reguliert werden.

Dies ergibt für die verschiedenen Drehzahlen annähernd richtige Kompensation, indem die durch die höhere Drehzahl bedingte Zunahme der Kompensationsspannung (vgl. Abschnitt II, 3, S. 34) der durch den Schlupfwiderstand bedingten Verkleinerung des Admittanzkreisdurchmessers entgegenwirkt.

325 385 Gr. 28 SSW 29. 3. 1914. M. Z. 326 347.

Bei Drehzahlregelung mittels Widerstand im Sekundärkreis soll durch Parallelschalten des Schlupfwiderstandes zum Ph (R_4 in Figur 28) der Arbeitsstrom vom Kommutator ferngehalten werden (vgl. DRP 326 347).

326 347 Gr. 28 SSW 16. 8. 1914. Z. z. 325 385.

Außer dem nach dem Hauptpatent geschalteten Widerstand soll noch ein zweiter Schlupfwiderstand R_5 zwischen Ph und Sekundärkreis der VM geschaltet werden, um Strom und Spannung auf für den Kommutator günstige Werte zu bringen. Die HM wird dabei gemäß Figur 28 zweckmäßig an einen Abzweigpunkt des unterteilten Widerstandes geschaltet.

Im Spannungsdiagramm Figur 29 gelten die ausgezogenen Vektoren für den Fall, daß die Drehzahl nur durch einen Widerstand R_3 in Serie zur HM geregelt wird, während die gestrichelten Vektoren das Diagramm für gleiche Drehzahl und gleichen Leistungsfaktor nach der Anordnung dieser Patentschrift darstellen. Bei Vernachlässigung der Spannungsabfälle im Ph hat sich dessen Spannung auf einer Parallelen zum Sekundärstrom verschoben und ist proportional $\frac{1}{\cos \epsilon}$ größer geworden. Der Widerstand R_5 wird vom Sekundärstrom \mathfrak{I}_2 durchflossen, R_4 nimmt den Strom $\mathfrak{I}_4 = -\frac{\mathfrak{E}_3}{R_4} = \mathfrak{I}_2 \sin \epsilon$ auf, der mit dem Strom $\mathfrak{I}_3 = \mathfrak{I}_2 \cos \epsilon$ des Ph zusammen den Sekundärstrom ergibt. Der Strom, der über den Kommutator dem Ph zugeführt werden muß, ist proportional $\cos \epsilon$ kleiner geworden. Die Blindleistung des Ph bleibt für beide Schaltungen dieselbe, ist aber mit Nebenschlußwiderstand bei kleinerem Strom zu erzeugen.

Bei Drehzahlregelung nimmt die zur Kompensation der VM erforderliche Blindleistung infolge der zunehmenden Sekundärspannung und Frequenz auf jeden Fall annähernd proportional mit der Schlüpfung zu, was die Kompensation erschwert. Als weiterer Nachteil dieser Anordnung sind noch die erheblichen Verluste in den Regulierwiderständen zu erwähnen, die bei Drehzahlregelung mit Widerstand stets in Kauf genommen werden müssen.

416 258 Gr. 28 Pöge 8. 1. 1924.

Zur Verkürzung der Maschinenlänge bei direkt gekuppeltem Ph werden die Schleifringe der VM um den äußern Umfang des Ph angeordnet.

425 122 Gr. 28 SSW 13. 9. 1922. Kozisek.

Zur Aufhebung der Pulsationen der Grundwelle des Erregerfeldes dient eine Kurzschlußwicklung im Ständer des Ph, deren Zeitkonstante kleiner als 1 für die Frequenz des Grundfeldes gewählt wird, um die bremsende Wirkung auf den Läufer möglichst klein zu halten. Die Zeitkonstante soll durch Ohmschen Widerstand oder Einführung elektromotorischer Kräfte auf die erforderliche Größe gebracht werden.

Die Spannungsgleichung für die Ständerwicklung (4) lautet:

$$s X_{34} \mathfrak{J}_3 + (R_4 + s X_4) \mathfrak{J}_4 = 0 \quad (178)$$

Der Ständerstrom beträgt:

$$\mathfrak{J}_4 = - \frac{s X_{34} \mathfrak{J}_3}{R_4 + s X_4} \quad (179)$$

Seine Ohmschen Verluste sind:

$$P_{v4} = R_4 J_4^2 = \frac{R_4 (s X_{34} J_3)^2}{R_4^2 + s^2 X_4^2} \quad (180)$$

Vom Ständerstrom wird auf den Läufer die elektrische Energie

$$P_{43} = (s - t) X_{43} \mathfrak{J}_4 \times \mathfrak{J}_3 \quad (181)$$

übertragen. Unter Beachtung von Gleichung 179 wird

$$P_{43} = \frac{s (s - t) X_{43} X_{34} J_3^2 R_4}{R_4^2 + s^2 X_4^2} \quad (182)$$

Durch Differentiation nach R_4 ergibt sich für beide Leistungen ein Maximum für $R_4 = s X_4$. Da nach der Patentschrift die Zeitkonstante $T = \frac{s X_4}{R_4} < 1$, so werden Verluste und bremsendes Drehmoment für den mit Schlupffrequenz pulsierenden Sekundärstrom klein, wogegen die Pulsationsfelder höherer Frequenz stark abgedämpft werden (vgl. DRP 443 390, S. 72 und DRP 471 182, S. 151).

443 390 Gr. 28 SSW 5. 6. 1921. Kozisek. M. Z. 455 319.

Die infolge des kleinen Luftspaltes sich kräftig entwickelnden Pulsationsfelder, welche die Kommutation stark beunruhigen, werden durch eine Käfigwicklung im Ständer abgedämpft, die auf das Hauptfeld infolge seiner geringen Rotationsgeschwindigkeit keinen wesentlichen Einfluß hat.

Als besonders einfache Ausführungsform sollen die Stirnverbindungen der Kurzschlußwicklung durch die Endbleche hergestellt werden.

455 319 Gr. 28 SSW 3. 11. 1923. Kozisek. Z. z. 443 390.

Der Ständer mit Käfigwicklung wird frei umlaufend angeordnet, damit er mit dem Feld des Sekundärstromes kein bremsendes Drehmoment bildet.

467 238 Gr. 28 SSW 26. 5. 1927. Kozisek.

Für große Asynchronmaschinen können zur Kompensation wegen Kommutationsschwierigkeiten zwei Ph erforderlich sein. Diese zwei mechanisch gekuppelten Ph werden über besondere Schleifringe (Figur 30) auch elektrisch induktiv oder konduktiv miteinander verbunden.

Durch Verschieben der Bürsten oder Verdrehen des Läufers der einen Maschine gegenüber der andern kann nun die Größe der Kompensation beeinflußt werden. Der Verschiebungswinkel zwischen den beiden Bürsten, gleiche Läuferstellung vorausgesetzt, sei β , der über die Schleifringe der beiden Ph fließende Ausgleichsstrom sei \mathfrak{I}_4 . Dann wird für $\sigma = 0$ und $\ddot{u} = 1$ die im Anker von den beiden Strömen induzierte Spannung in der Maschine I:

$$\mathfrak{E}_I = (1 - s) \mathfrak{X}_3 \mathfrak{I}_2 - (1 - s) \mathfrak{X}_3 \mathfrak{I}_4 \quad (183)$$

gemessen am Kommutator oder an den Schleifringen.

In der Maschine II ergibt sich am Kommutator die Spannung:

$$\mathfrak{E}_{IIK} = (1 - s) \mathfrak{X}_3 \mathfrak{I}_2 - (1 - s) \mathfrak{X}_3 \mathfrak{I}_4 e^{-j\beta} \quad (184)$$

und an den Schleifringen die um den Winkel β verschobene Spannung

$$\mathfrak{E}_{IIS} = (1 - s) \mathfrak{X}_3 \mathfrak{I}_2 e^{j\beta} - (1 - s) \mathfrak{X}_3 \mathfrak{I}_4 \quad (185)$$

Wird der Ohmsche Widerstand der beiden Maschinen vernachlässigt, so ergibt sich der Ausgleichsstrom aus

$$\mathfrak{E}_I + \mathfrak{E}_{IIS} = 0 \quad (186)$$

$$\text{zu:} \quad \mathfrak{I}_4 = (1 + e^{j\beta}) \mathfrak{I}_2 \quad (187)$$

Somit wird für die Bürstenstellungen

$$\beta = 0 \quad \mathfrak{I}_4 = 2 \mathfrak{I}_2$$

$$\beta = \frac{\pi}{2} \quad \mathfrak{I}_4 = (1 + j) \mathfrak{I}_2 \quad (188)$$

$$\beta = \pi \quad \mathfrak{I}_4 = 0$$

Die von den beiden Ph im Sekundärkreis der VM induzierte Spannung wird:

$$\mathcal{E}_{HM} = \mathcal{E}_I + \mathcal{E}_{IIK} = (1 - s) X_3 \{ 2 \mathfrak{J}_2 - (1 + e^{j\beta}) \mathfrak{J}_4 \} \quad (189)$$

Diese Spannung beträgt für $\beta = \pi$

$$\mathcal{E}_{HM} \beta = \pi = 2 (1 - s) X_3 \mathfrak{J}_2 \quad (190)$$

Das ist die Spannung, die sich bei Serieschaltung der beiden HM ohne besondere elektrische Kupplung der beiden Läufer ergibt.

Für $\beta = \frac{\pi}{2}$ wird $\mathcal{E}_{HM} = 0$. Die Spannung der HM ist durch den Ausgleichstrom vollständig aufgehoben.

Endlich wird für $\beta = 0$:

$$\mathcal{E}_{HM} \beta = 0 = - 2 (1 - s) X_3 \mathfrak{J}_2 \quad (191)$$

Das ist die Kompensationsspannung, wie sie für generatorischen Betrieb der VM erforderlich ist. Bei diesem Maschinensatz ist es somit möglich, ohne Umkehrung der Drehrichtung oder Phasenvertauschung allein durch Bürstenverschiebung die VM sowohl bei unter-, wie auch bei übersynchronen Drehzahlen zu kompensieren.

468 024 Gr. 28 SSW 10. 1. 1925. Kozisek.

Bei Verwendung zweier eigenerregter Ph werden diese von Leerlauf bis zu einer bestimmten Belastung der VM in Serie geschaltet, bei höheren Belastungen bis Vollast wird nur eine der beiden Maschinen verwendet oder beide Maschinen sind parallel geschaltet. Dadurch ist bereits bei relativ kleinen Belastungen Kompensation ohne erhebliche Ueberkompensation bei Vollast möglich.

Meist dürfte das Abschalten der einen HM dem Parallelbetrieb vorzuziehen sein, da durch den bei kleinen Spannungen erheblichen Einfluß des Bürstenübergangswiderstandes ein Parallelarbeiten unter Umständen erschwert wird.

474 028 Gr. 28 SSW 4. 11. 1923. Brüderlin.

Der Antriebsmotor wird mit dem Ph vereinigt. Dieser erhält zu diesem Zweck eine Ständerwicklung gleicher Polzahl wie die Läuferwicklung, welche außer an den Kommutator auch an Schleifringe angeschlossen ist. Gemäß Figur 31 erfolgt das Anlassen über einen Widerstand R, dann wird die Schleifringwicklung auf eine Induktivität L geschaltet, die für die geringe Frequenz des Schleifringstromes, der durch die Ständerwicklung der HM induziert wird, nahezu ein Kurzschluß ist. Am Kommutator erscheint dagegen dieser Strom mit hoher Frequenz, so daß er nicht in den Sekundärkreis der VM eindringt. Umgekehrt besitzt der Sekundärstrom der VM an den Schleifringen der

HM hohe Frequenz, tritt also nicht in die Reaktanz ein. Die Ständerwicklung der HM wirkt für den Sekundärstrom nahezu wie eine Kurzschlußwicklung und begünstigt daher die Kommutation, entwickelt allerdings auch ein bremsendes Drehmoment (vgl. DRP 274 548, S. 67).

495 609 Gr. 28 SSW 7. 11. 1923. *Kozisek.*

Im Gegensatz zum vorangehenden Patent ist die induzierende Wicklung im Läufer untergebracht. Diese Hilfswicklung ist so gewählt, daß sie in den unter den Bürsten kurzgeschlossenen Windungen keine schädlichen Spannungen induziert, indem z. B. ihre Polzahl doppelt so groß gewählt wird, wie diejenige der Kommutatorwicklung. Die Käfigwicklung im Ständer, die ebenfalls die Kommutation begünstigt, besitzt gleiche Polzahl wie die Hilfswicklung.

Auch für diese beiden Patente gilt das zu DRP 274 548 Gesagte.

497 555 Gr. 28 SW 6. 10. 1927. *Hartwagner.*

Der Ph oder FW (Abschnitt 2) wird in den Läufer des Anwurfmotors der VM eingebaut. Da die beiden Maschinen nicht gleichzeitig gebraucht werden, kommt eine gegenseitige Störung nicht in Frage. Zur Vermeidung einer zu großen Transformationsspannung in der Kommutatorwicklung, herrührend vom Fluß des Anwurfmotors, wird diese am Läufergrund untergebracht und das Eindringen des magnetischen Flusses durch axiale Schlitze im Läuferisen möglichst verhindert (vgl. das zeitlich vorangehende DRP 519 715).

519 715 Gr. 28 SW 6. 5. 1926. *Hartwagner.*

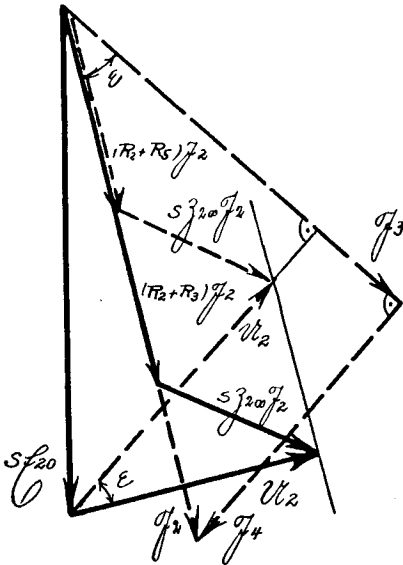
Der asynchrone Antriebsmotor wird mit dem Ph vereinigt. Die Primärwicklung des Antriebsmotors liegt in dem den Läufer des Ph umschließenden Ständer, die Sekundärwicklung ist in besondern, am äußern Läuferumfang liegenden, vom Kraftfluß des Ph durch Schlitze getrennten Nuten untergebracht.

Das Patent stellt im wesentlichen eine Weiterentwicklung der Anordnung nach DRP 274 548 dar, indem die beiden den Läufer durchsetzenden magnetischen Flüsse durch Schlitze im Läuferisen möglichst getrennt werden, wodurch die Einhaltung bestimmter Polzahlverhältnisse überflüssig wird.

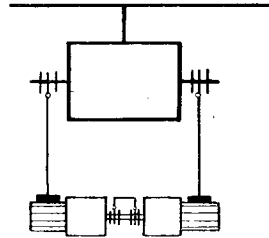
Auch für diese neueste Anordnung gilt das nach DRP 274 548 Gesagte, besonders da nur die Kurzschlußwicklung in offene, die Kommutatorwicklung dagegen in geschlossene Nuten zu liegen kommt.

2. Frequenzwandler und kompensierte Frequenzwandler.

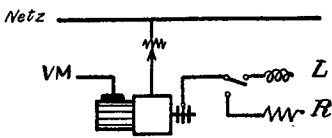
Der FW ist die älteste fremderregte HM. Im Gegensatz zum eigenerregten Ph, der ausschließlich zur Phasenkompensation dient,



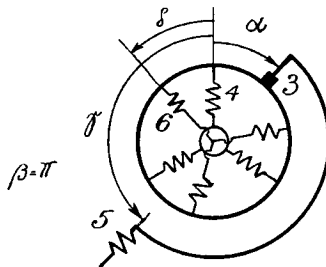
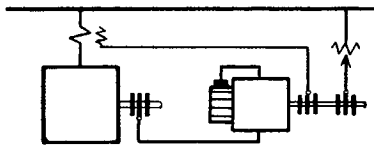
Figur 29:
Spannungsdiagramm zur Schaltung
des Ph mit Schlupf Widerstand
nach DRP 326 347.



Figur 30: VM mit zwei elektrisch und
mechanisch gekoppelten eigenerregten
Phasenschiebern. DRP 467 238.



Figur 31: Als AM am Netz selbst-
laufender eigenerregter Ph.
DRP 474 028.



Figur 32: Frequenzwandler mit Kompen-
sationswicklung und zwei getrennten Er-
regerwicklungen nach DRP 91 571.

wurden die ersten als Vorläufer des FW anzusprechenden läufer-erregten HM nicht zur Phasenkompensierung eines Asynchronmotors, sondern zur Erregung und Kompoundierung von Wechselstromgeneratoren geschaffen (91 571). Diese komplizierte Maschine mit drei Läuferwicklungen ist aber nur historisch interessant, heute werden gewöhnliche und kompensierte FW mit meist nur einer gemeinsamen Kommutator- und Schleifringwicklung (L. 5) verwendet. Die SSW bauten die ersten FW zur Phasenkompensation 1911, den ersten kompensierten FW, der für größere Leistungen den gewöhnlichen FW verdrängt hat, nach dem Kriege (L. 11). Der Vorteil der fremderregten HM gegenüber dem eigenerregten Ph besteht darin, daß die Kompensationsspannung unabhängig vom Sekundärstrom der VM ist und daher diese auch bei Leerlauf kompensiert oder selbst als asynchrone Blindleistungsmaschine (L. 16) betrieben werden kann, wie dies auch mit selbst-erregten KM möglich ist.

Besonders beim unkompensierten FW bietet jedoch die Regelung des Schleifringstromes nicht unerhebliche Schwierigkeiten; dafür kann dort die Phase von Schleifring und Kommutatorspannung in einfachster Weise durch Bürstenverschiebung eingestellt werden. Bei Verwendung eines besondern Transformators (230 452) ist in dessen Primärkreis nur der für die Magnetisierung erforderliche Strom zu regeln. Beim kompensierten FW kann die Spannungsphase nur durch Verdrehen des Läufers (223 612, 394 129) eingestellt werden, da kompliziertere Einrichtungen (391 157) praktisch kaum in Frage kommen. Dafür ist der Schleifringstromkreis nur für die Erregerleistung der HM auszulegen. Meist wird die Kompensationsspannung durch die Erregerspannung der HM reguliert, die durch Regeltransformatoren oder besondere EM geliefert wird. Die verschiedenen Erregerschaltungen sind der Vollständigkeit halber aufgeführt, meist nehmen sie vor allem auf Drehzahlregelung und Kompoundierung der VM Rücksicht.

Von den verschiedenen Patenten über den Antrieb der HM sei auf die asynchrone Betriebsweise der FW besonders hingewiesen (426 840). Interessant ist auch der Vorschlag, die HM bei untersynchronen Drehzahlen der VM übersynchron laufen zu lassen und umgekehrt, so daß sich eine mit zunehmender Schlüpfung zunehmende Kompensationsspannung ergibt (495 109). Schaltungen, bei denen die HM mit eigenem Drehmoment läuft, werden im folgenden Abschnitt behandelt.

Die Kaskadenschaltung mit einer AM (427 741) und die Verwendung zweier Kommutatoren zur Erhöhung der maximalen Leistung (441 718) sind Aushilfslösungen. Kann die für eine große VM erforderliche Leistung nicht mehr durch einen FW erzeugt werden, so ist eine ständererregte HM zu verwenden (Abschnitt 4), deren Kommutation leichter beherrscht werden kann. Zur Phasenkompensation ohne gleichzeitige Drehzahlregelung dürfte der FW oder kompensierte FW meist genügen.

91 571 Gr. 2 TF 9. 6. 1896.

Dieses für die Phasenkompensation der AM durch eine fremd-erregte HM grundlegende Patent wurde kaum ein Jahr nach der Anmeldung des eigenerregten Ph von Leblanc von Hutin und Leblanc angegeben. Darnach erfolgt „die Erregung asynchroner Wechselstrommaschinen mit Hilfe einer mit Stromwender und Bürsten versehenen Maschine, deren Anker sich mitten in festen, von den Bürsten abgezweigten, die Ankerrückwirkung aufhebenden Stromkreisen dreht, und außer den gewöhnlichen Wicklungen noch besondere Wicklungen trägt, welche, einesteils durch den von der Hauptmaschine gelieferten Strom, andererseits durch aus dem Netz entnommene Ströme gespeist, die gewünschtenfalls mittels Stromwandler umgeformt sein können, durch ihr Zusammenwirken Drehfelder erzeugen, die sich mit passender Geschwindigkeit im Raume drehen, die stets durch die den Feldern entgegengesetzte synchrone Drehung der Erregermaschine mit der Hauptmaschine erhalten wird.“

In analoger Weise soll auch die Erregung asynchroner Maschinen erfolgen. An Kommutator und Schleifringen der HM sind darnach getrennte Wicklungen angeschlossen (Figur 32). Außer durch die vom Primärstrom durchflossene Erregerwicklung ist eine weitere Beeinflussung der Spannungscharakteristik der HM durch Wahl der Sättigung vorgesehen, indem die Hauptstrom-Erregerwicklung (6) neben der an der Netzspannung liegenden Nebenschluß-Erregerwicklung (4) gegenüber besonderem Ständereisen geringern Querschnitts angeordnet wird. Dadurch wird gleichzeitig eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Erregerwicklungen so gut wie vollständig vermieden. Die richtige Drehzahl der HM wird erreicht durch mechanische Kupplung mit der VM, sei es direkt oder über ein Zahnradgetriebe.

Die Kompensationsspannung wird bei Vernachlässigung des Einflusses der gegenseitigen Induktion der beiden Erregerwicklungen und vollständiger Kompensation gemäß Gleichung 162:

$$\mathcal{E}_{HM} = \mathcal{E}_{3+5} = (1 - s) \{ X_{43} e^{-j\alpha} \mathcal{E}_4 + X_{63} e^{-j(\alpha - \delta)} \mathcal{E}_6 \} \quad (192)$$

Da die Spannung \mathcal{E}_6 nach Größe und Richtung dem Primärstrom der VM proportional ist, wird:

$$\mathcal{E}_{HM} = (1 - s) (\mathfrak{D}_1 \mathfrak{U}_1 + \mathfrak{A}_1 \mathfrak{F}_1). \quad (193)$$

Der Einfluß einer solchen Nebenschluß- und primären Hauptstrom-Spannung auf den Leistungsfaktor der VM wurde im Kapitel II bereits eingehend untersucht.

Bei diesem und einer Zahl weiterer Patente dieser Zeit, mit Ausnahme von DRP 138 065, das ausdrücklich einen asynchronen Motor mit aufgehobener Phasenverschiebung erwähnt, handelt es sich für die Erfinder nicht in erster Linie um kompensierte Asynchronmotoren, sondern um selbsterregte und kompondierte synchrone und asynchrone

Generatoren mit ähnlichen Erregermaschinen, wie sie für die Synchronmaschinen gebräuchlich sind. Diese Generatoren sind natürlich auch als kompensierte Asynchronmotoren verwendbar, weshalb sie hier nicht unerwähnt bleiben konnten.

Dabei ist jedoch zu beachten, daß zur Zeit der Erteilung dieser Patente wohl kaum berücksichtigt wurde, wie eine derart kompensierte Maschine als Motor bei regulierter Drehzahl arbeitet.

Für das Drehzahlgebiet in der Nähe des Synchronismus dient die Hauptstromspannung zur Kompoundierung; für die Phasenkompensation ist sie überflüssig. So wurde, wie aus den folgenden Patenten ersichtlich, diese etwas komplizierte HM durch den einfachern FW oder den kompensierten FW mit nur einer Läuferwicklung ersetzt, und dieser dann erst in neuerer Zeit durch geeignete Erregung zur Phasenkompensation bei gleichzeitiger Drehzahlregelung der VM brauchbar gemacht (vgl. DRP 500 837, Abschnitt 4, S. 110).

223 612 Gr. 14 SSW 30. 7. 1909.

Bei FW mit Wendepolen, bei denen eine Bürstenverschiebung nicht zugänglich ist, wird die Phase der Kommutatorspannung durch Verdrehen des Läufers relativ zur Antriebswelle eingestellt. Diese Verstellung kann z. B. durch eine Kupplung mit Planetengetriebe erfolgen.

230 452 Gr. 28 SSW 30. 7. 1909.

Der Transformator zur Regelung der Geschwindigkeit einer Mehrphasenmaschine „mit eigenem oder getrennt ausgeführtem Kommutator“ trägt eine vom Primärstrom durchflossene Kompensationswicklung, so daß vom Netz nur der Magnetisierungsstrom zugeführt und geregelt wird.

Wicklung I und II in Figur 33 sind so bemessen, daß ihre AW, abgesehen vom Magnetisierungsstrom, sich stets aufheben. Das ist nach den Beziehungen zwischen Primär- und Sekundärstrom gemäß Gleichungen 45 und 46 mit obigen Einschränkungen für konstante Bürstenstellung stets möglich.

Nach dieser Anordnung ist die beim kompensierten FW im Ständer untergebrachte Kompensationswicklung auf den Transformator verlegt. Als HM dient ein gewöhnlicher FW ohne Ständerwicklung. Aber trotzdem darf die Phase der sekundär aufgedrückten Spannung nur dann durch Bürstenverschiebung geregelt werden, wenn gleichzeitig die magnetische Axe der Wicklung 2 um den gleichen Winkel gedreht wird, was bei einem gewöhnlichen Transformator nicht möglich ist.

235 040 Gr. 29 SSW 18. 3. 1909. M. Z. 242 375 (Abschnitt 6).

Zur selbsttätigen Kompoundierung der VM erfolgt die Speisung des FW über einen Spannungs- und Stromtransformator, der zur Regelung als Drehtransformator ausgebildet ist.

242 426 Gr. 14 SACM 22. 8. 1911.

Der Antrieb des nur elektrisch gekuppelten FW erfolgt durch zwei SM, von denen die eine am Netz, die andere am Sekundärkreis der VM liegt. Entweder sind ihre beiden Läufer gekuppelt und der bewegliche Ständer der einen SM treibt den FW, oder die beiden Läufer treiben den FW über ein Differentialgetriebe gemäß Figur 34.

320 541 Gr. 29 SACM 29. 3. 1913. (Frankreich 29. 3. 1912.)

Der FW (HM) wird gemäß Figur 35 durch eine doppelt gespeiste AM (M) angetrieben, die gleichzeitig mit der VM auf Touren gebracht wird. Diese Antriebsmaschine wird einerseits vom Netz, andererseits von einer mit der VM gekuppelten netzernregten AM gespeist. Ausgleichsströme im gemeinsamen Stromkreis der beiden Hilfsasynchronmaschinen werden durch eine zwischengeschaltete Impedanz \mathfrak{Z} unschädlich gemacht.

Der Antrieb ist speziell für Kaskaden zur Drehzahlregelung bestimmt, sei aber der Vollständigkeit halber hier ebenfalls aufgeführt. Die Kaskade arbeitet wie bei mechanischer Kupplung der HM, da diese infolge der vollständigen Trennung des Sekundärkreises von den Stromkreisen der Antriebsmaschine keine eigene Drehzahl besitzt, die sie der VM aufdrücken könnte, sondern nur durch diese in Gang gehalten wird. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, daß die Schlüpfung der VM stets so groß bleibt, daß die Spannung der AM genügend groß ist, um die Antriebsmaschine M in Synchronismus zu halten.

391 157 Gr. 14 AEG 2. 12. 1922. Hallbach.

Der auf der Kommutatorseite liegende Schleifringkörper des FW ist mit den Ableitungsbolzen gegenüber dem Kommutator drehbar, so daß zum Einstellen der Spannungsphase die Ableitungsbolzen mit beliebigen Kommutatorsegmenten verbunden werden können.

391 204 Gr. 27 SSW 24. 3. 1920. Kozisek.

M. Z. 392 297 und 395 274.

Der kompensierte FW wird durch eine SM mit Netzfrequenz oder Umdrehungsfrequenz der VM erregt und dementsprechend durch die VM oder eine am Netz liegende SM angetrieben. Durch Regulieren im Gleichstrom-Erregerkreis der synchronen EM ist mit einfachen Mitteln eine beliebig feine Spannungsregelung möglich.

392 297 Gr. 27 SSW 24. 8. 1920. Z. z. 391 204. Kozisek.

Zur Verkleinerung der synchronen EM wird diese nur zur Feinregulierung verwendet, während die Grobregulierung durch einen mit der EM in Serie geschalteten Stufentransformator erfolgt.

Bei synchron mit dem Netz umlaufender HM wird der Regeltransformator nach Figur 36 zwischen Kommutator der HM und Schleifringe

der VM parallel zur Kompensationswicklung geschaltet. Die HM arbeitet dann mit der Läuferwicklung über den Transformator als gewöhnlicher FW und über Läufer- und Ständerwicklung als kompensierter FW (vgl. DRP 394 529, Abschnitt 3, S. 97).

Diese beiden Patente befassen sich nicht direkt mit Phasenkompensation, sondern allgemein mit Antrieb und Erregung der HM. Sie sind mit Rücksicht auf das Zusatzpatent No. 395 274 aufgeführt.

394 129 Gr. 29 AEG 25. 1. 1922.

Die mit einem FW gekuppelte VM wird in Abhängigkeit irgendwelcher Zustände im Netz geregelt, indem die Läufer der beiden Maschinen gegeneinander verdreht werden mittels einer magnetischen Kuppelung, die von einem Regler beeinflusst wird, der z. B. auf konstanten Leistungsfaktor reguliert.

395 274 Gr. 27 25. 8. 1920. Kozisek. Z. z. 391 204.

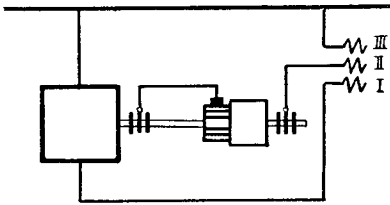
Die synchrone EM in der Schaltung nach dem Hauptpatent besitzt zur gleichzeitigen unabhängigen Phasen- und Drehzahlregelung zwei Erregerwicklungen, deren räumliche Axen um 90° gegeneinander verschoben sind. Der Erregerstrom der einen Wicklung beeinflusst dann vorwiegend die Drehzahl, derjenige der andern den Leistungsfaktor der VM.

Bei verteilter Erregerwicklung wird als EM eine normale Drehstrom-Asynchronmaschine verwendet, wobei zwei im Sternpunkt verbundene Phasen die gegen das zweite Wicklungssystem in Quadratur stehende Erregerwicklung bilden.

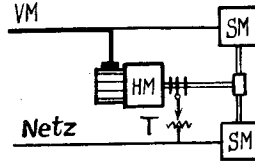
426 840 Gr. 27 SSW 20. 2. 1924. Scharowsky und Pagenstecher. M. Z. 429 232 und 523 375.

Um den FW asynchron betreiben zu können, wird die Frequenz seines Erregerstromes sowohl von der Netzfrequenz wie auch von der Drehzahl der VM und des FW abhängig gemacht, sei es auf mechanischem Wege durch Antrieb der EM des FW mit geeigneter Drehzahl mittels Differentialgetriebe oder durch Umformung der Netzfrequenz derart, daß der den Schleifringen des FW zugeführte Erregerstrom mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega_s = \omega_3 + s \omega_1$ rotiert, wobei ω_3 die Drehgeschwindigkeit des FW ist.

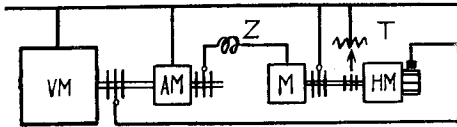
Figur 37 zeigt eine Schaltung bei Verwendung von Differentialgetrieben und einer synchronen EM, Figur 38 eine Schaltung zur Umformung der Netzspannung durch einen Hilfsfrequenzwandler (FW:) und einen IFW als EM des FW. In den beiden Figuren sind die elektrischen Winkelgeschwindigkeiten der Maschinen und der in den verschiedenen Stromkreisen fließenden Ströme eingetragen. Das eine Differentialgetriebe in Figur 37 oder der Hilfsfrequenzwandler in Figur 38 sind überflüssig, wenn als EM eine AM mit drehbarem Ständer verwendet wird.



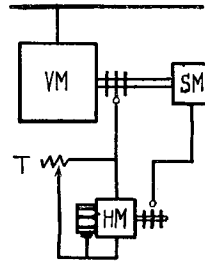
Figur 33: Frequenzwandler mit kompensiertem Erregertransformator.
DRP 230 452.



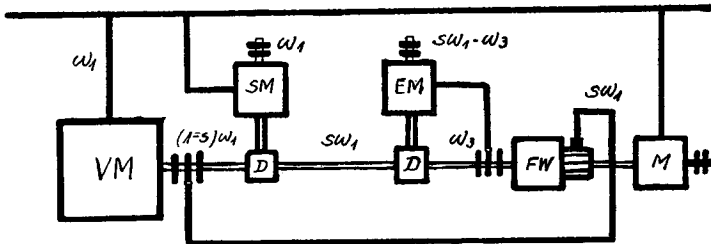
Figur 34: Differentialgetriebe zum Antrieb der HM durch zwei SM nach DRP 242 426.



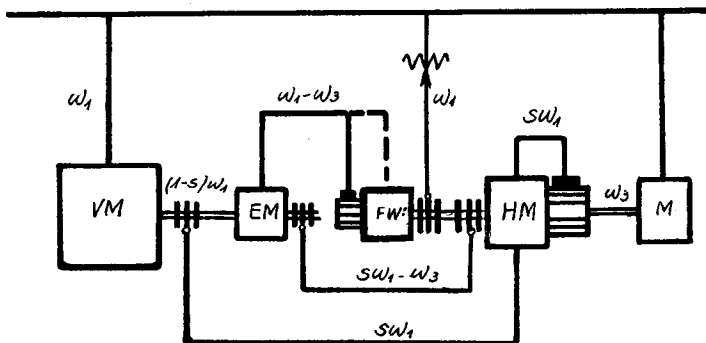
Figur 35: Antrieb der HM nach DRP 392 297.



Figur 36: DRP 320 541.



Figur 37: Asynchron betriebener FW nach DRP 426 840.



Figur 38: Erregung des asynchron betriebenen FW nach DRP 426 840 und 429 232.

Ein Zusatzpatent No. 480 052 beschreibt eine Anordnung zur Beeinflussung der Drehzahlearakteristik der VM.

427 741 Gr. 29 Torda 13. 2. 1924.

Der FW wird schleifringseitig durch eine mit diesem gekuppelte und im Ständer mit Netzfrequenz erregte AM (rotierender Transformator) gespeist (Figur 39). Die VM erhält bei relativ synchroner Drehzahl des nur elektrisch gekoppelten FW Schlupffrequenz, wenn ihre Polzahl gleich der Summe oder Differenz der Polzahlen von FW und AM ist.

Wie bei kommutatorseitiger Erregung des mit der AM gekoppelten FW braucht dieser nicht mehr mit Schleifringen ausgeführt zu werden, da er mit seiner EM direkt gekuppelt ist. Die Frequenz seines Erregerstromes ist bei den üblichen Schlüpfungen der VM so groß, daß der induktive gegenüber dem Ohmschen Widerstand stets überwiegt.

Die Erregung der EM erfolgt in üblicher Weise mit regelbarem Transformator oder Anzapfungen an der Ständerwicklung der VM oder AM.

Die Anordnung entspricht in gewissem Sinne der für die ersten kompensierten FW angegebenen Kaskadenschaltung (DRP 110 260, Abschnitt 4, S. 102). Während aber dort die AM der HM nur Magnetisierungsstrom zu liefern hat, ist hier der Erregerstrom von der Bürstenstellung des FW abhängig. Nur wenn dieser ausschließlich zur Phasenkompensation verwendet wird, liefert die AM nur Blindstrom und entwickelt demzufolge kein Drehmoment, andernfalls arbeitet sie als Motor oder Generator auf die gemeinsame Welle; während beim kompensierten FW dieser ein Drehmoment entwickelt und die EM stets ohne Drehmoment umläuft.

Bezeichnen p_1 die Polzahl der VM, p_5 die Polzahl der EM und \mathcal{E}_{40} deren induzierte Stillstandsspannung, so beträgt die in ihrem Sekundärteil induzierte Spannung näherungsweise:

$$\mathcal{E}_4 = \mathcal{E}_{40} \left(\frac{1}{p_5} - \frac{1}{p_1} (1 - s) \right) = \frac{\mathcal{E}_{40}}{p_1} \left(\frac{p_1}{p_5} - 1 + s \right) \quad (194)$$

Demzufolge setzt sich die Spannung des FW aus einer konstanten und einer mit der Schlüpfung zunehmenden Spannungskomponente zusammen:

$$\mathcal{E}_3 = (\mathcal{D}_0 + s \mathcal{D}_s) \mathcal{E}_{40} \approx (\mathcal{D}_0 + s \mathcal{D}_s) \mathcal{U}_1 = (\mathcal{C}_0 + s \mathcal{C}_s) \mathcal{E}_{20} \quad (195)$$

Die variable Komponente ist jedoch klein, so daß annähernd dasselbe Diagramm entsteht wie bei Netzerregung des FW. Ihre zusätzliche Mittelpunktsverschiebung des Stromkreises berechnet sich nach Gleichung 90 zu:

$$\mathcal{M}_{Y2} = \frac{\mathcal{C}_s}{\hat{\mathcal{B}}_{2\infty} - \mathcal{B}_{2\infty}} \quad (196)$$

Dabei bleibt nach Gleichung 87 der Leerlaufpunkt unverändert. Eine gegenseitige Beeinflussung der konstanten mit dieser variablen Nebenschlußspannung findet nicht statt.

429 232 Gr. 27 SSW 2. 5. 1924. Kozisek. Z. z. 426 840.

Der mit der HM gekuppelte FW wird mit einer an die Kommutatorbürsten angeschlossenen Ständerwicklung (in Figur 38 gestrichelt eingezeichnet) ausgerüstet, mit deren Hilfe er als Nebenschluß-KM die HM antreibt, so daß für den Hilfsmaschinensatz kein besonderer Antriebsmotor mehr erforderlich ist.

441 718 Gr. 28 SSW 17. 2. 1925. Kozisek.

Der kompensierte FW besitzt zwei in demselben aktiven Eisen angeordnete, in denselben oder verschiedenen Nuten untergebrachte und voneinander isolierte Läuferwicklungen, die über je einen Kommutator an die Anfänge und Enden der offenen Sekundärwicklung der VM angeschlossen sind.

Da die Leistung der HM im wesentlichen durch die Kommutation beschränkt wird, kann die sonst mögliche maximale Leistung des kompensierten FW verdoppelt werden. Dafür wird die Konstruktion der HM komplizierter, und die VM ist mit der doppelten Zahl Schleifringe und Bürsten zu versehen, so daß eine ständererregte HM meist vorteilhafter ist.

442 086 Gr. 27 SSW 8. 3. 1925. Kozisek.

Zur Erregung der HM werden zwei in Kaskade geschaltete AM verwendet. Die Ständerwicklung der einen liegt am Netz, die der andern speist die HM. In den gemeinsamen Stromkreis der beiden hintereinander geschalteten Läufer ist ein regelbarer Widerstand oder eine regelbare Spannung, insbesondere ein FW mit oder ohne Kompensationswicklung geschaltet (Figur 40).

Der asynchrone Antrieb macht das Erregeraggregat von Frequenzschwankungen des Netzes unabhängig. Die am Netz liegende AM dient als Antriebsmotor, während die andere die HM erregt und nur ein geringes, den Ohmschen Verlusten des Erregerkreises entsprechendes Drehmoment entwickelt. Der FW gestattet, die Richtung des Sekundärstromes und die Drehzahl der Antriebsmaschine und damit den Erregerstrom der HM nach Phase und Größe zu regulieren.

461 986 Gr. 29 MFO 1. 2. 1925. (Schweiz 24. 1. 1925.)

Die HM wird kommutatorseitig erregt. Zur Kompensation des Ankerfeldes vom Ständer aus muß nun ein dem Schleifringstrom proportionaler Strom von Netzfrequenz verwendet werden. Zu diesem Zweck wird die Kompensationswicklung im Ständer gemäß Figur 41 von einem in den Primärkreis der VM geschalteten Stromtransformator gespeist. Da der Primärstrom bis auf den Leerlaufstrom dem Sekundärstrom proportional ist, kann der Schleifringstrom bis auf diese konstante Differenz ohne weiteres kompensiert werden. Der Einfluß des Leerlaufstromes soll durch zur Kompensationswicklung parallel geschaltete Widerstände oder geeignete Einstellung der räumlichen Axe der Kompensationswicklung aufgehoben werden.

Bei dieser Anordnung führt der Kommutator den Magnetisierungsstrom der HM, die Schleifringe den Sekundärstrom der VM. Der Magnetisierungsstrom der HM ist allerdings, auch wenn man von einer nicht vollständigen Kompensation des Schleifringstromes absieht, nicht konstant, sondern variiert entsprechend der Variation der Reaktanz eines Kommutatorankers mit der Drehzahl der HM und wird bei Synchronismus theoretisch unendlich groß, d. h. die HM kann keine Gleichspannung abgeben, sondern versagt in der Nähe der synchronen Drehzahl.

Die durch diese Anordnung bezweckte Verkleinerung des Kommutator- auf Kosten des Schleifringstromes kann demnach nur bis zu einer gewissen minimalen Frequenz erreicht werden.

464 776 Gr. 27 SSW 18. 6. 1926. Kozisek.

Zur Herabsetzung der Erregerleistung und Verbesserung der Kommutation der HM werden parallel zu ihren Schleifringen Kondensatoren angeschlossen.

470 757 Gr. 28 SSW 3. 7. 1926. Kozisek.

Bei AM, die eine mit Netzfrequenz oder annähernd Netzfrequenz erregte HM und einen Anwurfmotor besitzen, wird dieser als mit Gleichstrom erregte synchrone EM oder als über eine besondere KM mit Schlupffrequenz erregter Asynchrongenerator zur Erregung der HM verwendet.

482 454 Gr. 27 AEG 4. 2. 1926. Weiler.

Zur Erhöhung der Ueberlastungsfähigkeit im untersynchronen Gebiet von Kaskaden mit netzerregter HM werden in den Sekundärkreis feste Widerstände geschaltet, die bei Nennlast $\frac{1}{2}$ bis höchstens 2% der der VM zugeführten Leistung verzehren.

Der Einfluß des Sekundärwiderstandes auf die Größe der Mittelpunktverschiebung des Admittanzkreises bei Nebenschlußkompensations- oder Drehzahlregelungsspannung ergibt sich aus Gleichung 102. Die ungünstige Lage des Admittanzkreises bei kleinem Sekundärwiderstand und Drehzahlregelung mit einer konstanten Spannung bedingt, wie in Kapitel II, 2 (S. 33 u. 34) erwähnt, eine Verringerung der Ueberlastungsfähigkeit bei gleichzeitig ungünstigem Verlauf des Leistungsfaktors.

Nimmt man die mit dem größeren Ohmschen Widerstand des Sekundärkreises verbundenen größeren Verluste und den größeren Drehzahlabfall bei Belastung in Kauf, so ist eine Vergrößerung des Sekundärwiderstandes allerdings das einfachste Mittel, um nicht nur die Ueberlastbarkeit zu erhöhen, sondern auch die Schwankungen des Leistungsfaktors mit der Belastung zu vermindern. Bei großem Drehzahlbereich werden diese Widerstände jedoch zu groß.

483 292 Gr. 27 SSW 5. 5. 1926. *Baudisch.*

Die Erregung der HM erfolgt durch eine vom Netz im Ständer erregte KM (Figur 42), in deren Erregerkreis kleinere Regelorgane erforderlich sind als bei direkter Erregung der HM vom Netz. Gegenüber synchronen EM bietet der asynchrone Antrieb bei starrer Lage der Kompensationsspannung gegenüber der Netzspannung und das Fehlen einer besondern Gleichstrom-Erregerquelle gewisse Vorteile, während die SM an und für sich einer KM als EM vorgezogen wird.

Die EM soll weiter mit zwei oder mehr getrennten Erregerwicklungen ausgerüstet sein, deren Erregerspannungen in bezug auf Phasenlage und Größe von den elektrischen Betriebszuständen des Netzes oder des Maschinensatzes abhängig sind. Der eine Erregerkreis wird z. B. im Nebenschluß vom Netz, der andere im Hauptschluß vom Primärkreis der VM erregt, wie dies auch bei direkter Erregung der HM schon im ersten Patent No. 91 571 vorgeschlagen wurde.

Zur Einleitung der Selbsterregung bei generatorischem Arbeiten der VM sollen die Bürsten der einen der beiden KM aus der Axe der Kompensationswicklung verschoben werden.

495 109 Gr. 29 SSW 12. 7. 1927. *Ljwitschitz.*

Der unmittelbar in den Sekundärkreis der VM oder in den Schlupffrequenz führenden Erregerkreis der HM geschaltete kompensierte FW wird so betrieben, daß seine Rotationsgeschwindigkeit bei untersynchronen Drehzahlen der VM größer, bei übersynchronen Drehzahlen kleiner als die Rotationsgeschwindigkeit des Drehfeldes gegenüber dem Läufer ist. Demzufolge wird die Kommutatorspannung gemäß Gleichungen 157 u. ff.

$$\mathcal{E}_K = \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_5 = (1 + s) e^{-j\alpha} \mathcal{E}_4 \quad (197)$$

Während die Kommutatorspannung bei der sonst üblichen Antriebsweise mit der Schlüpfung abnimmt, nimmt sie hier mit der Schlüpfung zu.

Bei direkt in den Sekundärkreis der VM geschaltetem FW ergibt sich ein mit zunehmender Schlüpfung günstigerer Leistungsfaktor als bei der üblichen Betriebsweise. Weiter kann bei Erregung einer ständererregten HM, die mit der VM mechanisch gekuppelt ist, die durch die Drehzahländerungen der VM bedingte Spannungsänderung aufgehoben werden. Endlich besteht die Möglichkeit, die Drehzahl- oder Leistungscharakteristik der VM zu beeinflussen.

Nachteile der Anordnung sind die komplizierten Antriebsverhältnisse der HM oder ihrer EM und, bei nur untersynchronem Betrieb der VM, die infolge der höhern relativen Geschwindigkeit zwischen Feld und Läufer der HM ungünstigeren Kommutationsverhältnisse. Bei Netzerregung der HM kann diese nicht mehr mit der VM mechanisch gekuppelt werden, sondern ist durch eine doppelt gespeiste AM anzutreiben. Dagegen ergeben sich keine besondern Schwierigkeiten bei Erregung der HM vom Sekundärkreis der VM über einen mit ihr mechanisch gekuppelten FW

(Figur 43), da in diesem Fall ihre Antriebsdrehzahl beliebig gewählt werden kann.

500 004 Gr. 29 SSW 29. 9. 1927. Kozisek.

Der FW ohne Kompensationswicklung wird mit einer Käfigwicklung im frei drehbaren Ständer oder mit massivem rotierendem Ständer ausgerüstet (vgl. DRP. 455 319, Abschnitt 1, S. 52). Das ergibt erheblich bessere Kommutierungsverhältnisse als bei unbewickeltem Ständer, da die Oberfelder durch die Käfigwicklung abgedämpft werden.

510 309 Gr. 29 AEG 30. 5. 1925. Weiler und Welsch.

Zur Drehzahlregelung bei gleichzeitiger Phasenkompensation erfolgt die Erregung des FW über einen festen und einen Drehtransformator in Serie; die durch den Drehtransformator auftretende Phasenverschiebung wird durch Bürstenverschiebung am FW zwangsläufig mit der Spannungsregelung am Drehtransformator wieder aufgehoben.

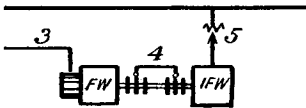
510 818 Gr. 28 MFO 8. 12. 1927. (Schweiz 15. 11. 1927.)

Der nur elektrisch mit der VM gekuppelte kompensierte FW wird durch eine regelbare AM angetrieben. Dabei bestimmt im wesentlichen die Größe der Kompensationsspannung den Leistungsfaktor, der in den Sekundärkreis des Antriebsmotors geschaltete Widerstand R die Drehzahl der VM; beide beeinflussen sich aber in erheblicher Weise. Die VM läuft annähernd als doppelt gespeiste AM, ihre Drehzahlcharakteristik wird durch das Drehmoment der HM und die Charakteristik des Antriebsmotors bestimmt (Figur 44).

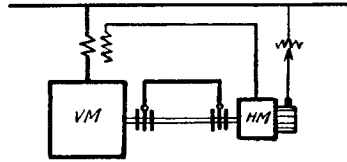
511 824 Gr. 27 SSW 30. 6. 1925. Kozisek.

Die HM ist mit einer am Netz laufenden SM gekuppelt und wird schleifringseitig durch eine im Ständer der VM untergebrachte, mit Gleichstrom erregte Hilfswicklung über eine Hilfswicklung im Sekundärkreis und den Transformator HT erregt. Beide Hilfswicklungen können auch mit den vorhandenen Ständer- und Läuferwicklungen der VM vereinigt werden, wie das in Figur 45 für die Sekundärwicklung angenommen ist. Durch die Ständer-Gleichstromwicklung der VM wird in der Läuferwicklung eine Spannung der Frequenz $(1 - s) f_1$ induziert, während in der Ständerhilfswicklung induzierte Spannungen durch die Reaktanz X abgedämpft werden. Durch den Transformator HT wird im wesentlichen nur der von der Hilfswicklung herrührende Strom der Frequenz $(1 - s) f_1$ transformiert, während die Wirkung des mit Schlupffrequenz pulsierenden Sekundärstromes vernachlässigt werden kann. Der Widerstand R dient zur Regulierung des Erregerstromes.

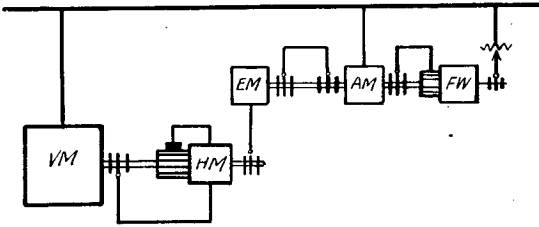
Das Patent stellt eine interessante Erregerschaltung dar, die aber schwerlich große Bedeutung erlangen wird, da eine Hilfswicklung im Ständer der VM unerwünscht ist.



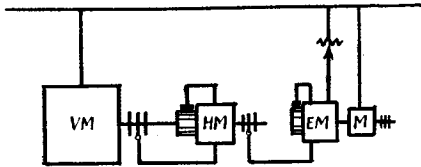
Figur 39: Erregung des FW durch einen IFW. DRP 427 741.



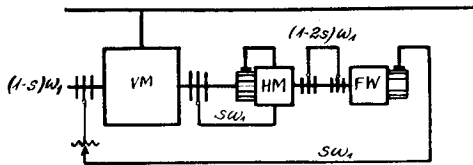
Figur 41: Kommutatorseitig erregte HM. DRP 461 986.



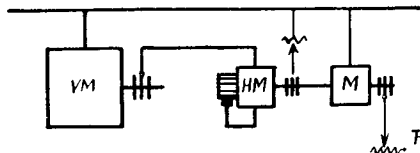
Figur 40: Erregung der HM gemäß DRP 442 086.



Figur 42: Erregung der HM durch netzerregte EM gemäß DRP 483 292.



Figur 43: Schaltung nach DRP 495 108.



Figur 44: Unabhängig fremd angetriebene HM gemäß DRP 510 818.

523 375 Gr. 27 SSW 4. 1. 1930. Kozisek. Z. z. 426 840.

Der Schlupffrequenz führende Erregerkreis des die HM erregenden IFW ist an die Schleifringe der AM angeschlossen, welche die HM antreibt, und in deren Sekundärkreis Ohmsche Widerstände oder ein eigenerregter Ph eingeschaltet sind.

Dieses Patent stellt eine Weiterentwicklung des frühern Zusatzpatentes No. 429 232 dar, indem die dortige Nebenschluß-KM durch eine AM ersetzt wird, die ebenfalls gleichzeitig den Erregerstrom für die EM der HM liefert. Die Anordnung ist insbesondere für kleinen Regelbereich geeignet, da sonst die Drehzahlschwankungen der HM und die Verluste in ihrer mittels Ohmscher Widerstände geregelten Antriebsmaschine zu groß werden, weil die Regulierung der Erregerspannung gleichzeitig mit einer Drehzahlregelung ihrer Antriebsmaschine verbunden ist.

3. Frequenzwandler mit teilweiser Kompensation der Anker-AW des Kommutatorstromes oder mit besonderer Ständerwicklung.

Sämtliche Maschinen dieses Abschnittes besitzen ein regelbares Drehmoment; sie können als Motoren oder Generatoren betrieben werden. Der Läufer ist mit Kommutator und Schleifringen versehen; die Maschinen arbeiten daher auch als Frequenzwandler. Ihr Vorteil gegenüber dem kompensierten FW besteht in der Regulierbarkeit ihres Drehmomentes, die bei mechanischer Kupplung mit der VM eine Einstellung der Leistungsverteilung auf die beiden Maschinen und vor allem bei nur elektrischer Kupplung mit der VM die Möglichkeit gibt, das Drehmoment so einzustellen, daß es im Sinn synchroner Drehung mit der VM zum Antrieb der HM dient. Der kompensierte FW entwickelt zwar bei bestimmter Bürstenstellung ebenfalls ein motorisches Drehmoment, dieses vergrößert sich jedoch mit zunehmender Drehzahl der HM, so daß diese ohne synchrone Antriebs- oder Belastungsmaschine sofort außer Tritt fallen würde.

Diesen Vorteilen stehen jedoch erhebliche Nachteile gegenüber. Die zusätzlichen Wicklungen für das eigene synchronisierende Drehmoment der HM bedeuten gegenüber dem FW eine erhebliche konstruktive Komplikation und erschweren die Regulierung der Kompensationsspannung außerordentlich, da stets auf ein genügendes synchronisierendes Drehmoment Rücksicht zu nehmen ist. Größe und Phase der Kompensationsspannung kann meist, wie zu DRP 103 627 und 247 992 dargelegt, nur innerhalb bestimmter Grenzen eingestellt werden. Dagegen bedeutet die Einsparung einer besondern Antriebsmaschine bei nur elektrischer Kupplung mit der VM einen äußerst geringen Vorteil. Für die Verwendung dieser HM zur gleichzeitigen Drehzahlregelung gelten die gleichen Einschränkungen wie beim FW. Aus diesen Gründen haben die meisten dieser Maschinen keine große Bedeutung erlangt.

Nur bei einigen wenigen HM dient die Ständerwicklung andern Zwecken, so wird z. B. eine Gegenkompoundwicklung vorgesehen (480 372) zur Verminderung von Schwankungen des Sekundärstromes bei Pendelungen der synchronen EM, dann eine Kompoundwicklung (494 230) zur Erzeugung einer Hauptstromspannung. Die letzterwähnte HM besitzt sowohl im Läufer wie im Ständer eine Erregerwicklung und bildet damit den Uebergang zu den ständererregten HM des folgenden Abschnittes.

Alle diese Maschinen werden fremderregt; Selbsterregung wird durch geeignete Dimensionierung der Wicklungen vermieden. Die wenigen läufergespeisten selbsterregten HM sind in Abschnitt 8 zusammengestellt.

103 627 Gr. 2 TF 11. 10. 1898. Z. z. 91 571. Abschn. 2.

Durch Verschieben der Bürsten aus der Axe der Kompensationswicklung oder geeignete Dimensionierung derselben wird erreicht, daß die HM selbst synchron mit der VM läuft.

Aus den Diagrammen Figur 46 und 47, für welche das eine Mal eine Kompensationswicklung geringerer Windungszahl als die Läuferwicklung, das andere Mal der Winkel zwischen Bürsten- und Kompensationswicklungsaxe $\beta = \gamma - \alpha < \pi$ angenommen wurde, ist ersichtlich, daß in beiden Fällen ein synchronisierendes Drehmoment entsteht. Wie gewohnt, ist die Schleifringwicklung als Erregerwicklung mit 4, die Kommutatorwicklung mit 3 und die Kompensationswicklung mit 5 bezeichnet. Die beiden letztgenannten werden vom Strom $\mathfrak{J}_2 = \mathfrak{J}_3 = \mathfrak{J}_5$ durchflossen. Im Diagramm sind Ströme und Spannungen in ihrer zeitlichen Phase, die AW unter Berücksichtigung der Axenwinkel der Wicklungen räumlich-zeitlich dargestellt (vgl. S. 14), wobei die AW des Schleifringstromes mit diesem zusammenfallend angenommen wurden; d. h. das Raum-Zeit-Diagramm bezieht sich auf die Schleifringwicklung.

Figur 46 zeigt zwei Betriebszustände der HM mit einer die AW der Läuferwicklung nur zum Teil aufhebenden Kompensationswicklung, erst unter der Annahme, daß die HM synchron mit der VM angetrieben wird, dann bei freilaufender HM ($'$). Im ersten Fall sind Kupplung und Bürsten so eingestellt, daß die HM kein Drehmoment entwickelt, da ihre Spannung \mathfrak{E}_{HM} normal zum Sekundärstrom \mathfrak{J}_2 steht und sämtliche AW miteinander zusammenfallen. Beim Wegbleiben des treibenden Drehmomentes wird im zweiten Fall der Winkel α sich z. B. um α' verkleinern. Vernachlässigt man die dadurch bedingte Richtungsänderung der Kompensationsspannung und läßt man den Sekundärstrom unverändert, so ergeben sich die mit $'$ bezeichneten AW, gemäß welchen infolge Drehrichtung der Läufer- hinter den Ständer-AW bei negativer Drehrichtung ein motorisches Drehmoment auf den Läufer der HM ausgeübt wird. Da dieses Drehmoment nur die Verluste der HM zu decken hat, bleibt der Winkel α' klein; die gemachten Vernachlässigungen sind stets zulässig.

In Figur 47 sind die Bürsten des kompensierten FW im Sinne der Voreilung aus der Axe der Kompensationswicklung gedreht. Die Ständer-AW bleiben ebenfalls hinter den Läufer-AW zurück, es entsteht wieder ein motorisches Drehmoment, das wie vorher mit dem Winkel α wächst, so daß es auch hier im Sinne synchroner Drehung mit der VM wirkt.

Die Größe der Kompensationsspannung ist angenähert der Schleifringspannung proportional, ihre Richtung ist abhängig von dem durch das Drehmoment bestimmten Winkel α . Sie kann somit nur durch gleichzeitige Aenderung der Größe der Schleifringspannung und des für den Antrieb der HM erforderlichen Drehmomentes nach Größe und Phase eingestellt werden. Das Drehmoment ist aber durch die Verluste gegeben und daher im wesentlichen konstant. Es kann demnach nur die Größe der Kompensationsspannung von einem durch das für den Antrieb der HM erforderliche Drehmoment gegebenen Minimalwert an aufwärts geregelt werden, während ihre Phase durch die Konstruktion der HM festgelegt ist. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, bedingt die Kompensationsspannung infolge ihrer Voreilung zum Sekundärstrom eine Verbesserung des Leistungsfaktors der VM.

144 576 Gr. 6 *Blondel und Société Sautter, Harlé & Co.* 15. 4. 1902.

Die HM besitzt nur eine Läuferwicklung, die zur Compoundierung der VM von einem Spannungs- und Stromtransformator in Serie gespeist wird. Die Ständerwicklung ist im Nebenschluß an die Kommutatorbürsten angeschlossen, so daß die HM als Nebenschluß-KM läuft. Spannungs- und Stromtransformator ergeben eine Nebenschluß- und Hauptstrom-Spannung wie beim kompensierten FW mit zwei getrennten Erregerwicklungen nach DRP 91 571.

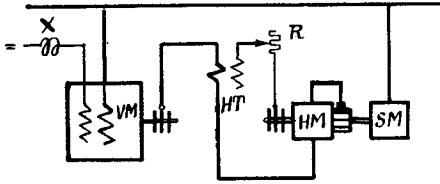
178 461 Gr. 29 *FGL.* 28. 10. 1902.

Die HM wird mechanisch unabhängig von der VM betrieben, indem entweder Ständer und Kommutator am Netz liegen (Figur 48) oder Kommutator- und Ständerwicklung an um 60° gegeneinander versetzten Punkten an die mit zwei Schleifringpaaren versehene Sekundärwicklung der VM angeschlossen werden (Figur 49).

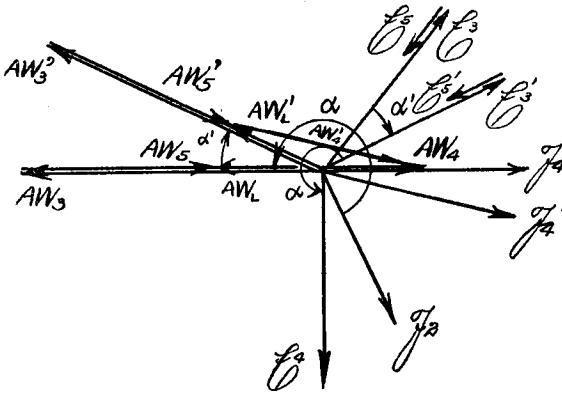
Die Verschiebung der Anschlußpunkte an der Sekundärwicklung der VM soll den Kommutator der HM vom Arbeitsstrom entlasten, indem dieser nur den Magnetisierungsstrom zu führen braucht, der aber, besonders bei Ueberkompensation, einen erheblichen Teil des Arbeitsstromes erreicht, so daß der Vorteil gering erscheint.

Die HM läuft nach beiden Schaltungen als doppelt gespeistes AM synchron mit der VM, wobei die Richtung der Kompensationsspannung durch Bürstenverschiebung beliebig eingestellt werden kann.

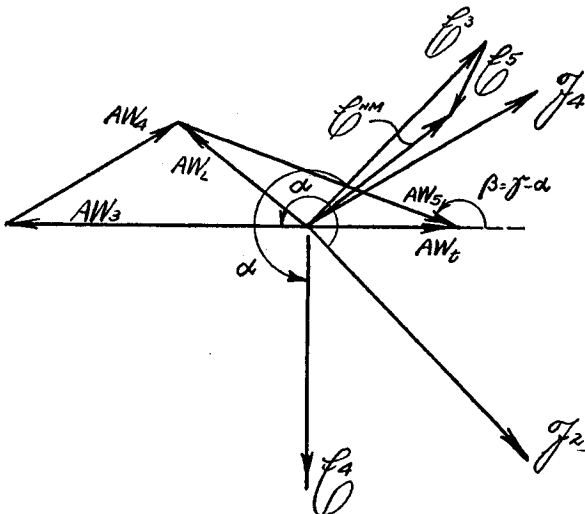
Die Nachteile der Abnahme der Kompensationsspannung an den Schleifringen der HM gemäß Figur 48 wurden bereits in Abschnitt III, 4, Seite 52 erwähnt.



Figur 45: Schaltung gemäß DRP 511 824.



Figur 46: Spannungsdiagramm des freilaufenden unvollständig kompensierten Frequenzwandlers. DRP 103 627.



Figur 47: Spannungsdiagramm des frei laufenden Frequenzwandlers mit gegen die Axe der Hauptschlußänderwicklung verschobenen Bürsten. DRP 103 627.

247 992 Gr. 29 W. & O. und Meyer. 16. 10. 1910.

Die nur elektrisch mit der VM gekuppelte HM besitzt eine induktiv erregte Ständerwicklung, die nach Figur 50 durch den Widerstand R_5 geregelt wird. Eine Antriebsmaschine oder Kupplung mit der VM wird dadurch überflüssig, die HM ist gleichzeitig läufergespeiste AM für ihren Antrieb und FW zur Phasenkompensation der VM.

Mit den in Figur 50 angegebenen Bezeichnungen für die Kommutatorwicklung 3, die Ständerwicklung 5 und die Schleifringwicklung 4 betragen die induzierten Spannungen:

In der Kommutatorwicklung

$$\mathcal{E}_3 = -X_{43} e^{-j\alpha} \mathcal{I}_4 - X_3 \mathcal{I}_3 - X_{53} e^{-j\alpha} \mathcal{I}_5 \quad (198)$$

In der Schleifringwicklung

$$\mathcal{E}_4 = -X_4 \mathcal{I}_4 - X_{34} e^{j\alpha} \mathcal{I}_3 - X_{54} \mathcal{I}_5 \quad (199)$$

In der Ständerwicklung

$$\mathcal{E}_5 = -sX_{45} \mathcal{I}_4 - X_{35} e^{j\alpha} \mathcal{I}_3 - sX_5 \mathcal{I}_5 = R_5 \mathcal{I}_5 \quad (200)$$

Bei Synchronismus zwischen VM und HM ist $\mathcal{I}_3 = \mathcal{I}_2$, und der Winkel α ergibt sich in gewohnter Weise aus der Verschiebung der Axen von Schleifring- und Kommutatorwicklung.

Aus Gleichung 200 berechnet sich der Ständerstrom zu:

$$\mathcal{I}_5 = \frac{sX_{45} \mathcal{I}_4 + sX_{35} e^{j\alpha} \mathcal{I}_3}{R_5 + sX_5} \quad (201)$$

Schleifring- und Kommutatorspannung verhalten sich nach Gleichung 198 und 199 wie beim unkompenzierten FW:

$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_4 e^{-j\alpha} \quad (202)$$

Der Winkel α jedoch kann nicht durch mechanische Verschiebungen eingestellt werden, da die selbstlaufende HM nur elektrisch mit der VM verbunden ist

Eine weitere analytische Behandlung führt auf umständliche Gleichungen, da, außer den wie beim FW zu berücksichtigenden Ohmschen Verlusten, sämtliche Reibungsverluste der HM zur Festlegung des Winkels α in Rechnung zu setzen sind, weil sich dieser nach dem Antriebsdrehmoment einstellt. Das Spannungsdiagramm gewährt jedoch einen guten Einblick in die Arbeitsweise der HM.

In Figur 51 ist das Spannungsdiagramm der VM gezeichnet. In ihren Sekundärkreis ist der Widerstand R_2' eingeschaltet, ihre Schleifringspannung ist dann $U_2 = -R_2' \mathcal{I}_2$. Die Kommutatorspannung der HM sei vor dem Zuschalten gleich groß ($E_3 = U_2$). Laufen beide Maschinen synchron, so sind die beiden Spannungen für den Winkel $\alpha = \alpha_0$ phasengleich ($\mathcal{E}_3 = U_2$, Figur 52). Der Sekundärkreis kann

nun nach Belieben auf den Widerstand R_2' oder die HM geschaltet werden, da bei Vernachlässigung der Spannungsabfälle in der HM die in beiden Stromkreisen induzierten Spannungen gleich sind.

In den beiden Diagrammen sind der Einfachheit halber die sekundäre Stillstandsspannung und die vom Hauptfeld in der HM induzierte Spannung phasengleich angenommen; statt dessen könnten auch die primäre Klemmenspannung der VM und die den Schleifringen der HM aufgedrückte Spannung miteinander in Phase angenommen werden, wodurch sich ein etwas anderer Winkel α ergibt. Prinzipiell ändert sich an den Diagrammen dadurch gar nichts. In praxi erkennt man die richtige Größe des Winkels α vor dem Zusammenschalten der beiden laufenden Maschinen am Synchronoskop.

Da die Spannungsabfälle in der HM nicht berücksichtigt werden sollen, ergibt sich nach dem Zusammenschalten das Diagramm Figur 53, in dem der Schleifringstrom der HM zur Kompensation des Kommutatorstromes gewachsen ist, während die übrigen Diagrammgrößen unverändert geblieben sind. Die AW von Ständer und Läufer der HM sind gleich geblieben, beide Maschinen laufen mit unveränderter Drehzahl weiter.

In Figur 54 ist das Diagramm für eine größere Schleifringspannung gezeichnet. Dadurch hat die HM das Bestreben, sich rascher zu drehen, der Winkel α wird kleiner ($|\alpha_1| < |\alpha_0|$, Rotationsrichtung und Bürstenwinkel sind negativ!), die der VM aufgedrückte Spannung verschiebt sich im Sinne der Nacheilung, der Sekundärstrom, der dieser Spannung entgegen gerichtet ist, im Sinn der Voreilung, bis sich infolge der größeren Spannungsabfälle wieder Gleichgewicht einstellt. In analoger Weise wirkt eine Verkleinerung des Widerstandes R_5 . Richtung und Größe der Kompensationsspannung können somit durch Schleifringspannung der HM und Widerstand in der Ständerwicklung nach Größe und Phase eingestellt werden. Bei gleichzeitiger Spannungserhöhung und Vergrößerung des Regulierwiderstandes wird nur die Drehzahl oder nur der Leistungsfaktor der VM geregelt.

Nach dem Patentanspruch soll durch den Widerstand nur der Leistungsfaktor, durch die Größe der Schleifringspannung die Drehzahl der VM geregelt werden. Wie dargelegt wurde, haben beide erheblichen Einfluß auf den Leistungsfaktor. Es ist somit bei Drehzahlregelung für günstigen Leistungsfaktor zur Vermeidung einer allzustarken Kompensierung bei untersynchronen Drehzahlen gleichzeitig mit der Erhöhung der Schleifringspannung der HM auch der Widerstand R_5 zu vergrößern.

Bei Verkleinerung der Schleifringspannung der HM oder Vergrößerung des Widerstandes im Ständerstromkreis wird der Leistungsfaktor der VM verschlechtert, diese kompensiert dann die HM. Wird dabei jedoch deren Ständerstrom kleiner, als zur Ueberwindung des Reibungsdrehmomentes erforderlich ist, so fällt die HM außer Tritt. Bei kompensierter VM dagegen zwingt die HM dieser ihre eigene Drehzahl

auf, die bei konstantem Regulierwiderstand und konstanter Erreger-
spannung fast unabhängig von der Belastung der VM ist, da sie nur
durch die Verluste des Sekundärstromes in der HM beeinflusst wird.
Die VM hat deshalb fast keinen Drehzahlabfall mit der Belastung (vgl.
DRP 510 818, Abschnitt 2, S. 86. Dort wird die HM durch eine AM
angetrieben, hier ist diese mit der HM vereinigt).

248 243 Gr. 38 W & O und Meyer. 1. 12. 1910.

Zur Erzielung einer mit regelbarer Kompensation verbundenen
regelbaren Kompoundierung der VM dienen zwei getrennte Kommutator-
wicklungen im Ständer der HM (Figur 55), die gestatten, durch Schalt-
drehungen die Windungszahlen und Axenrichtungen der Haupt- und
Nebenschlußwicklung beliebig einzustellen.

248 380 Gr. 39 W & O und Meyer. 15. 11. 1910. M. Z. 265 735.

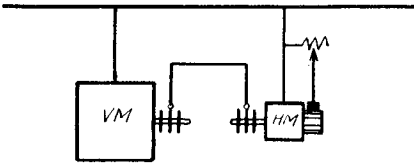
Zur unabhängigen Drehzahl und Phasenregelung der VM besitzt
die HM im Ständer eine aufgeschnittene Kommutatorwicklung, welche
gestattet, durch Schaltdrehungen die in Serie und im Nebenschluß an den
Kommutator angeschlossenen Wicklungen einzeln sowohl nach der
Windungszahl wie nach der räumlichen Axenrichtung einzustellen
(Figur 56).

254 611 Gr. 29 W & O und Meyer. 23. 10. 1910.

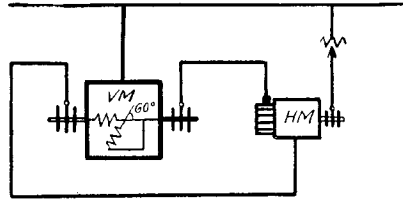
Zwischen VM und Netz ist auf deren Sekundärseite ausschließlich
die HM ohne Zwischenschaltung eines Transformators oder anderer
Regeleinrichtungen geschaltet. Ihre Ständer-Phasenwicklung ist mit ver-
änderlichen Anschlüssen versehen, derart, daß sie teils im Haupt-, teils
im Nebenschluß zu den Kommutatorbürsten geschaltet werden kann.
Durch Verändern der Anschlüsse werden Drehzahl und Leistungsfaktor
der VM geregelt.

Die in der Patentschrift 247 992 beschriebene HM läuft mit eigenem
Drehmoment als läufergespeiste AM. Die in den drei vorstehenden
Patenten 248 243, 248 380 und 254 611 erwähnten HM sind ebenfalls
sämtlich nur elektrisch mit der VM gekuppelt und laufen ebenfalls mit
eigenem Drehmoment, aber nicht als AM, sondern als läufergespeiste
KM, welche ohne weiteres auch die Einstellung übersynchroner Dreh-
zahlen gestatten. Auch hier wird die VM zur doppelt gespeisten AM
und verliert im wesentlichen ihren asynchronen Charakter.

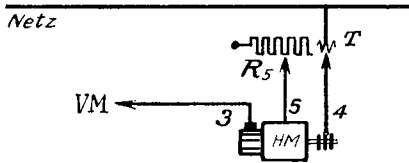
Eine oder gar zwei Ständerwicklungen mit zahlreichen Anschlüssen
nach Art einer Kommutatorwicklung gestatten allerdings eine weitgehende
Einstellbarkeit der Axenrichtung und Windungszahl, ohne jedoch prak-
tische Bedeutung erlangt zu haben, da die HM zu kompliziert, meist
auch sehr schlecht ausgenützt wird.



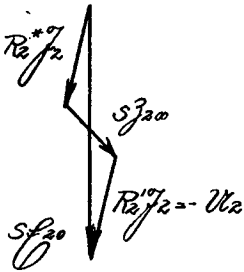
Figur 48. Selbstlaufende HM gemäß DRP 178 461.



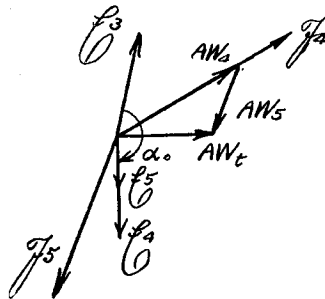
Figur 49.



Figur 50: FW mit induktiv erregter Ständerwicklung gemäß DRP 247 992.



Figur 51: Spannungsdiagramm der VM mit Ohmschem Widerstand im Sekundärkreis.



Figur 52: Spannungsdiagramm der HM vor dem Zusammenschalten mit der VM. (DRP 247 992).

265 734 Gr. 27 W & O und Meyer. 30. 1. 1912.

Die HM mit an den Kommutator angeschlossener, nur in der Windungszahl einstellbarer Ständerwicklung wird mit der VM mechanisch gekuppelt und unterstützt diese mit ihrem Drehmoment. Die Erregung der HM erfolgt erfindungsgemäß durch einen Schalttransformator (T in Figur 58), der die Einstellung der Erregerspannung nach Größe und Phase gestattet. Die Sekundärwicklung dieses Transformators ist insbesondere eine Kommutatorwicklung, die wie die Ständerwicklung der HM nach DRP 248 380 durch Verschieben der Anschlüsse eine Regulierung nach Windungszahl und Axenrichtung ermöglicht. Durch die Ständerwicklung der HM wird die Lastverteilung zwischen den beiden Maschinen, durch den Schalttransformator Drehzahl und Leistungsfaktor der VM eingestellt.

265 735 Gr. 27 W & O und Meyer. 30. 1. 1912. Z. z. 248 380.

Die im Hauptpatent beschriebene HM wird mit der VM mechanisch gekuppelt. Infolge der dreifach regelbaren Ständerwicklung können Drehzahl und Leistungsfaktor der VM, sowie die Verteilung der Leistung auf die beiden Maschinen ausschließlich durch Regulieren an der Statorwicklung eingestellt werden.

265 909 Gr. 29 W & O und Meyer. 30. 1. 1912.

Zur Regulierung der Geschwindigkeit und Kompensierung einer AM bei elektrisch gekuppelter HM, sowie auch zur Lastverteilung bei elektrisch und mechanisch gekuppelter HM besitzt diese eine gegebenenfalls nach Axenrichtung und Windungszahl einstellbare und über einen regelbaren Widerstand (R in Figur 57) an den Kommutator angeschlossene Ständerwicklung.

Diese Anordnung stellt eine Zusammenfassung der in frühern Patenten geschützten Schaltungen dar, indem in die durch einen Widerstand regelbare Ständerwicklung der Maschine nach DRP 247 992 noch die Kommutatorspannung eingeführt wird und gleichzeitig ihre Ständerwicklung bei Bedarf einstellbar gemacht wird, wie dies in den vorangehenden Patenten stets vorgeschlagen wurde.

302 285 Gr. 27 SSW 11. 11. 1914. M. Z. 380 391.

Als HM zur Drehzahlregelung dient eine läufergespeiste Nebenschluß-KM, die durch Bürstenverschiebung geregelt wird. Die Gesamtenergie kann dann bei läufererregter VM beiden Maschinen über gemeinsame Schleifringe zugeführt werden (Figur 59 a), wobei die Läuferwicklung der HM zweckmäßig an Anzapfungen der Primärwicklung der AM angeschlossen wird.

Die Nebenschluß-KM gibt eine Spannung wie der kompensierte FW bei aus der Axe der Kompensationswicklung verschobenen Bürsten.

Die HM kann deshalb wie dieser nur innerhalb enger Grenzen zur Drehzahlregelung verwendet werden, dagegen ist sie zur Phasenkompensation ohne weiteres geeignet.

Zwei Zusatzpatente No. 302 286 und 303 684 beschreiben Schaltungen zur Aenderung der Charakteristik der VM oder Erweiterung des Regelbereiches.

380 391 Gr. 27 SSW 13. 6. 1920. Kozisek. Z. z. 302 285.

Die HM nach dem Hauptpatent soll nur elektrisch mit der VM gekuppelt werden und je nach Einstellung der Ständer-AW zur Phasenkompensation oder auch zur Drehzahlregelung der VM dienen. Sie wird durch eine am Netz liegende SM angetrieben und mit einer Spannung mit der Drehzahl der VM proportionalen Frequenz erregt, die durch eine mit dieser mechanisch gekoppelte synchrone EM erzeugt wird (Figur 59b).

Die Regulierung erfolgt sowohl durch Bürstenverschiebung wie auch durch die Erregung der synchronen EM. Das Anlassen der HM erfolgt als läufergespeiste AM durch die mit der VM gekuppelte EM. Der Anlaßwiderstand kann nachher zweckmäßig zum Einstellen der Ständer-AW der HM dienen (vgl. DRP 394 529).

394 529 Gr. 28 SSW 13. 6. 1920. Kozisek. M. Z. 401 681.

Bei zwangsläufig angetriebener HM, beispielsweise nach DRP 391 204, wird deren Antriebsleistung durch Regulieren der AW ihrer Ständerwicklung z. B. durch einen parallelgeschalteten Widerstand R_6 (Figur 60) beliebig einstellbar gemacht, so daß diese als Anlaßmotor verwendbar, sowie auch zur Phasenkompensation und Drehzahlregelung brauchbar wird.

Unter Berücksichtigung dieses Shuntres R_6 sind die in Kapitel III, 3 abgeleiteten Spannungsgleichungen für $\alpha = \gamma = 0$ wie folgt zu ergänzen.

Die Schleifringspannung der HM beträgt

$$\mathcal{E}_4 = - (\mathcal{X}_4 \mathcal{J}_4 + \mathcal{X}_{34} \mathcal{J}_3 + \mathcal{X}_{54} \mathcal{J}_5) \quad (203)$$

Die negative Schleifringspannung der VM, d. h. die der HM auf der Schlupffrequenzseite aufgedrückte Spannung ist

$$\mathcal{E}_{HM} = + u_2 = - \{ (\mathcal{X}_{43} + s \mathcal{X}_{45}) \mathcal{J}_4 + (\mathcal{X}_3 + s \mathcal{X}_{35}) \mathcal{J}_3 + (\mathcal{X}_{53} + s \mathcal{X}_5) \mathcal{J}_5 \}$$

Weiter gilt für die über den Regelwiderstand kurzgeschlossene Ständerwicklung unter Berücksichtigung der dem Umlaufssinn entgegengerichteten positiven Richtung des Stromes \mathcal{J}_3 :

$$s \mathcal{X}_{45} \mathcal{J}_4 + s \mathcal{X}_{35} \mathcal{J}_3 + s \mathcal{X}_5 \mathcal{J}_5 - R_6 \mathcal{J}_3 = 0 \quad (205)$$

Dieser Kurzschlußkreis verbessert gleichzeitig die Kommutation infolge seiner dämpfenden Wirkung auf die Oberfelder.

Aus den beiden Stromverzweigungspunkten folgt endlich noch die Bedingung

$$\mathfrak{J}_2 = \mathfrak{J}_4 + \mathfrak{J}_5 = \mathfrak{J}_3 \quad (206)$$

Aus diesen Gleichungen läßt sich durch Elimination der übrigen Variablen die Spannung der HM \mathcal{E}_{HM} in Funktion der Schleifringspannung \mathcal{E}_4 der Schlüpfung s und des Sekundärstromes \mathfrak{J}_2 berechnen. Weiter können die übrigen Ströme und ihre Spannungsabfälle ermittelt werden. Aber auch ohne deren Berücksichtigung werden die Gleichungen sehr umfangreich und unübersichtlich.

Eine bedeutende Vereinfachung ohne allzugroße Einschränkungen ergibt die Vernachlässigung aller Streureaktanzen und Gleichsetzung der Eigen- und Gegenreaktanzen gemäß

$$\mathfrak{X}_{45} = \mathfrak{X}_{43} = \mathfrak{X}_{54} = \mathfrak{X}_{53} = \mathfrak{X}_4 = \mathfrak{X}_5 = \mathfrak{X}_3 = \mathfrak{X}_{34} = \mathfrak{X}_{35} = \mathfrak{X} \quad (207)$$

Dieser Annahme entspricht z. B. gemeinsame Schleifring- und Kommutatorwicklung und eine Kompensationswicklung gleicher Windungszahl. In diesem Fall ergibt eine kurze Zwischenrechnung für $\alpha = 0$ und $\gamma = \pi$:

$$\mathcal{E}_{HM} = (1 - s) \mathcal{E}_4 \quad (208)$$

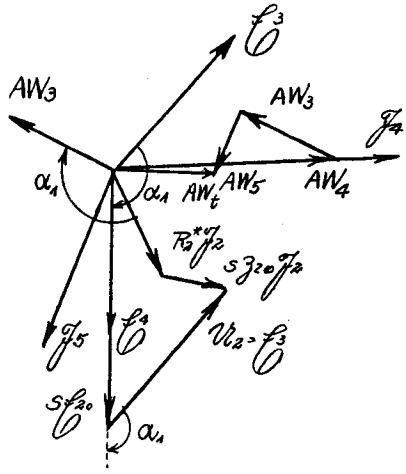
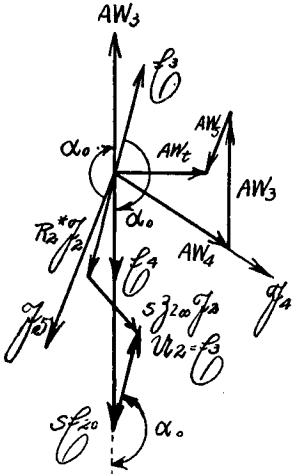
$$\mathfrak{J}_6 = - \left(\frac{1}{\mathfrak{X}} + \frac{s}{R_6} \right) \mathcal{E}_4 \quad (209)$$

$$\mathfrak{J}_5 = - \frac{s}{R_6} \mathcal{E}_4 + \mathfrak{J}_2 \quad (210)$$

$$\mathfrak{J}_4 = \frac{s}{R_6} \mathcal{E}_4 \quad (211)$$

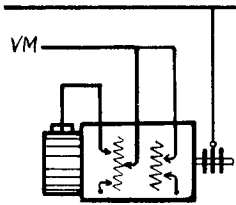
Die Kompensationsspannung ist genau dieselbe geblieben wie beim kompensierten FW. Der Schleifringstrom der HM wird um eine der Schlüpfung proportionale und dem Widerstand R_6 umgekehrt proportionale Wirkstromkomponente vergrößert, die eine entsprechende Entlastung der Antriebsmaschine bewirkt. Dieser Wirkstromkomponente ist auch der Strom im Ohmschen Widerstand und die Aenderung des Stromes in der Kompensationswicklung proportional. Das Spannungsdiagramm zeigt Figur 61, indem die mit ' bezeichneten Größen sich auf einen Widerstand $R_6' > R_6$ beziehen.

Analog wie beim kompensierten FW die Richtung des Sekundärstromes gegenüber dem Feld bzw. der Spannung für das Drehmoment maßgebend war, ist jetzt die Richtung des Stromes \mathfrak{J}_5 dafür ausschlaggebend. Wird \mathfrak{J}_5 senkrecht zu \mathcal{E}_{HM} , so verschwindet das Drehmoment der HM; besitzt \mathfrak{J}_5 eine Komponente in Richtung der Spannung \mathcal{E}_{HM} , so entwickelt die HM ein generatorisches, andernfalls ein motorisches Drehmoment.

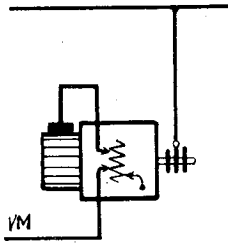


Figur 53: Spannungsdiagramm von VM und HM nach dem Zusammenschalten.

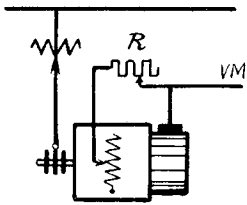
Figur 54: Spannungsdiagramm bei vergrößerter Kompensationsspannung.



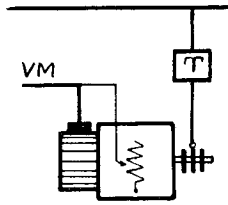
Figur 55: DRP 248 243.



Figur 56: DRP 248 380.



Figur 57: DRP 265 734.



Figur 58: DRP 265 909.

401 681 Gr. 27 SSW 7. 6. 1921. Kozisek. Z. z. 394 529.

Statt des zur Kompensationswicklung parallelgeschalteten Widerstandes wird auf dem Ständer des kompensierten FW eine besondere Hilfswicklung, beispielsweise eine Käfigwicklung, untergebracht, die in gleicher Weise wirkt, allerdings ohne die Möglichkeit der Regulierung.

480 372 Gr. 27 AEG 3. 9. 1927. Weiler.

Zur Unterdrückung von Pendelungen bei Erregung der HM durch eine synchrone EM mit Netzfrequenz wird die HM mit oder ohne Kompensationswicklung mit einer vom Kommutatorstrom durchflossenen, gegen die Ankeraxe um einen rechten Winkel verschobenen Gegenkompondwicklung von wenig Windungen versehen, die im Läufer eine den Ankerstrom schwächende Rotationsspannung erzeugt.

494 230 Gr. 27 SSW 1. 1. 1927. Kozisek.

Die KM zur Erregung der AM oder einer ständererregten HM besitzt sowohl im Ständer wie im Läufer eine Erregerwicklung. Die Läufererregerwicklung wird über eine Drosselspule von einer konstanten Spannungsquelle gespeist, die Ständerwicklung mit einem im wesentlichen der Schlüpfung proportionalen Strom erregt, z. B. mittels eines im Sekundärkreis liegenden Stromtransformators (Figur 62), oder durch Speisung durch den Sekundärstrom.

In der HM wird demzufolge eine annähernd konstante Nebenschluß- und eine konstante Hauptstromspannung induziert, die bei geeigneter Größe auch für die Phasenkompensation vorteilhaft ist.

Gegenüber der Verwendung einer primären Hauptstromspannung hat die Anordnung bei primärer Hochspannung den Vorteil, daß der Stromtransformator nicht für Hochspannung ausgeführt zu werden braucht.

4. Im Ständer fremderregte Hintermaschinen.

Die läufererregten HM, nämlich der FW und der kompensierte FW, sind in ihrer Leistung durch die Kommutation beschränkt. Für besonders große AM, besonders bei gleichzeitiger Drehzahlregelung, muß statt der läufererregten die ständererregte HM verwendet werden. Hier liegen die Kommutationsverhältnisse wesentlich günstiger. Einerseits ist die Transformationsspannung infolge der geringen Frequenz des Erregerstromes bedeutend kleiner als bei läufergespeisten HM, deren Transformationsspannung mit Netzfrequenz pulsiert. Dann kann vor allem bei Maschinen mit ausgeprägten Polen ein Eindringen des Erregerflusses in die unter den Bürsten liegenden Windungen überhaupt vermieden werden. Ein weiterer erheblicher Vorteil der ständererregten gegenüber den läufererregten HM ist ihre asynchrone Drehzahl, da die Frequenz der erzeugten Spannung ausschließlich durch die Frequenz des Erregerstromes gegeben ist.

Im Gegensatz zu spätern Patenten werden die ersten ständererregten HM (110 260, 114 306, 238 065, 254 131) wie die läufererregten mit Netzfrequenz gespeist. Sie haben alle keine praktische Bedeutung erlangt, ebensowenig wie die Verwendung des von Heyland vorgeschlagenen Kommutators mit Widerstandsverbindungen zwischen den Lamellen (200 343). Interessant ist der über rotierende Bürsten oder im frei drehbaren Ständer mit Gleichstrom fremderregte „Eigenerregte Ph“ (500 507). Erst nach Bekanntwerden der selbsterregten und der im Läufer fremderregten HM wurde erstmals zur Drehzahlregelung in Patent 191 859 die allgemein üblich gewordene Schaltung der im Ständer fremderregten HM vorgeschlagen. Als EM dient ein netzregter mit der VM synchron laufender FW. Bei gleichzeitigem Anschluß der Erregerwicklung der HM an die Schleifringe der VM (241 188) läßt sich dessen Leistung, die an und für sich nur gleich der Erregerleistung der HM ist, noch weiter verkleinern. Der Schleifringanschluß kann aber auch zur Selbsterregung der HM (Abschnitt 6) oder zur Aufhebung des Einflusses des induktiven Spannungsabfalles in der Erregerwicklung der HM dienen (Abschnitt 5). Für die EM sind die in den beiden vorangehenden Abschnitten erwähnten Schaltungen auch hier verwendbar, indem zwischen FW und Schleifringe der VM die ständererregte HM geschaltet wird.

Statt vom Netz kann der Erregerstrom von einem einfach regelbaren Gleichstrommotor erzeugt und durch einen Einankerumformer auf Schlupffrequenz umgeformt werden (240 718), oder der von einer synchronen EM erzeugte Wechselstrom wird durch einen FW auf Schlupffrequenz umgeformt (441 566). Diese Schaltungen gestatten eine kontinuierliche Regelung, sie brauchen allerdings besondere EM. Die Verwendung einer EM mit Kommutator-Erregerwicklung im Läufer (484 470) gestattet die Verwendung mit Schlupffrequenz pulsierender Spannungen zu ihrer Erregung.

Bei allen ständererregten HM bewirkt die mit zunehmender Schlupfung der VM zunehmende Reaktanz der Erregerwicklung eine Phasendrehung des Erregerstromes gegen seine erzeugende Spannung und damit auch der Klemmenspannung der HM. Dieser Nachteil macht sich besonders bei Drehzahlregelung störend bemerkbar. Mittel zur ganzen oder teilweisen Kompensierung des Einflusses der variablen Reaktanz der Erregerwicklung der HM sind im folgenden Abschnitt 5 zusammengestellt. Den Nachteil aller fremderregten Maschinen, die mit großen Abweichungen von der synchronen Drehzahl der VM ungünstige Lage des Admittanzdiagrammes, hat auch die ständererregte HM. Eine Verbesserung mit bei allen Belastungen annähernd richtiger Kompensation und eine gleichzeitige Compoundierung der VM ermöglichen die Erregung über einen Serietransformator mit vor und nach dem Nebenschlußtransformator zur Drehzahlregelung eingeschalteter Sekundärwicklung (500 837), oder zusätzliche Erregung mit der durch einen IFW auf Netzfrequenz umgeformten Spannung einer Hilfswicklung im Sekundärteil der VM (494 229), sowie die bereits in frühern Abschnitten erwähnten Einrichtungen.

Zur Verhinderung der Selbsterregung kann eine Gegenkomoundwicklung dienen (504 012); mit der Kompensations-, Kommutations- und Erregerwicklung besitzt die HM dann im ganzen vier Ständerwicklungen, was nicht gerade zu ihrer Einfachheit beiträgt.

Eine interessante Lösung zur Umgehung der Schwierigkeiten, die sich einer richtigen Dimensionierung der Kompensationswicklung infolge der Dreieckschaltung im Läufer und der Sternschaltung der offenen Kompensationswicklung entgegenstellen, ist die Dreieckschaltung der Kompensationswicklung (516 475) bei offener Sekundärwicklung der VM.

110 260 Gr. 6 TF 28. 6. 1899. Z. z. 91 571, Abschnitt 2.

Zur Erregung der VM dient ein Kaskadenumformer, der zwei Gleichstromanker besitzt, deren einer mit dem Kommutator verbunden ist, „während die Spulen des andern mit den zu ihnen in bezug auf eine durch die Achse gehende Ebene symmetrisch liegenden Spulen des ersten Ankers parallel geschaltet sind“. Dieser wird durch eine Ständerwicklung erregt, die von einem am Netz liegenden Spannungstransformator und einem im Primärkreis der VM liegenden Stromtransformator gespeist wird, während jener mit einer vom Kommutatorstrom durchflossenen Kompensationswicklung versehen ist, so daß die HM wie diejenige des Hauptpatentes wirkt.

114 306 Gr. 6 Boucherot. 22. 6. 1899.

Zur Erregung mehrphasiger asynchroner Wechselstrommaschinen wird in deren Sekundärkreis die mit Sinuswicklung im Anker versehene Maschine nach Boucherot (DRP 113 552) geschaltet. Diese ergibt die Spannung:

$$e_{HM} = E_0 \frac{\omega_4 - \omega_3}{K + 1} \cos(\omega_4 + K\omega_3) t \quad (212)$$

wobei ω_4 die Rotationsfrequenz des erregenden Drehfeldes, ω_3 die Rotationsgeschwindigkeit des Ankers und E_0 eine insbesondere von Feldstärke und Windungszahl abhängige Maschinenkonstante und K eine nur von der Verteilung der Wicklung abhängige Konstante ist.

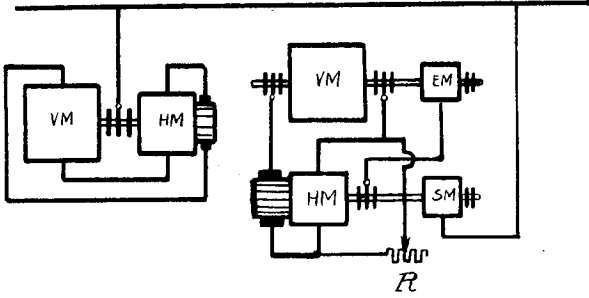
Für $K = 1$ wird:

$$e_{HM} = \frac{E_0}{2} (\omega_4 - \omega_3) \cos(\omega_4 + \omega_3) t \quad (213)$$

Wird das Ankerfeld vom Netz erregt und die HM synchron mit der VM angetrieben, derart daß $\omega_3 = -(\omega_1 - s\omega_1)$, so wird

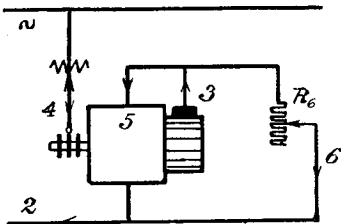
$$e_{HM} = \frac{E_0}{2} (2\omega_1 - s\omega_1) \cos s\omega_1 t \quad (214)$$

Diese Spannung besitzt Schlupffrequenz. Die Spannung der HM trägt somit:

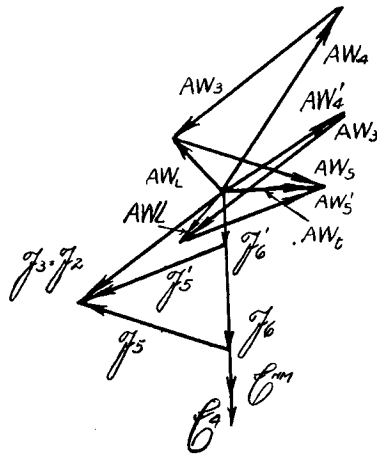


Figur 59 a: DRP 302 285.

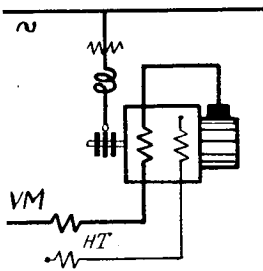
Figur 59 b: DRP 380 391.



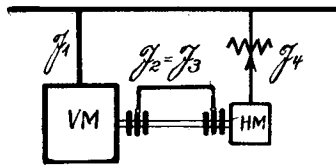
Figur 60: HM nach DRP 394 529.



Figur 61: Spannungsdiagramm der HM nach DRP 394 529.



Figur 62: HM nach DRP 494 230.



Figur 63: Kaskade mit netzerregtem IFW nach DRP 138 064.

$$\mathcal{E}_{HM} = \omega_1 \mathcal{E}_0 \left(1 - \frac{s}{2}\right) \quad (215)$$

Die Erregung soll nach der Patentschrift durch den Primärstrom der VM erfolgen. Die Phase der in der HM induzierten Spannung kann durch Bürstenverschiebung beliebig eingestellt werden. Allgemein wird:

$$\mathcal{E}_{HM} = \{ \mathcal{D}_1 u_1 + \mathcal{X}_1 \mathcal{I}_1 \} \left(1 - \frac{s}{2}\right)^2 \quad (216)$$

In der HM werden eine Nebenschluß- und eine primäre Hauptstromspannung induziert, deren variable Komponenten nur halb so groß sind wie beim kompensierten FW. Da der Unterschied im Diagramm zwischen unkompensiertem und kompensiertem FW klein ist, erübrigt sich eine besondere Untersuchung dieser Spannung. Die Maschine hat zudem keine praktische Bedeutung erlangt.

138 065 Gr. 31 UEG 16. 11. 1901.

Mit dem Läufer der VM wird der Läufer einer zweiten AM, deren Wicklungen gegen die entsprechenden Wicklungen der VM räumlich verstellt sind, mechanisch und elektrisch gekuppelt. Im Läufer der als IFW geschalteten HM wird eine der Größe nach der im Läufer der VM induzierten Spannung proportionale Spannung erzeugt, deren Phase durch die Phase der Erregerspannung der HM oder die räumliche Lage ihrer Ständer- oder Läuferwicklung beliebig eingestellt werden kann:

$$\mathcal{E}_3 = e^{-j\alpha} \mathcal{E}_4 \quad (217)$$

Die Einfachheit dieser ohne Kommutator arbeitenden HM ist bestechend. Die Anordnung ist jedoch bedeutungslos, da wohl die VM kompensiert werden kann, die HM aber dem Netz einen den primären Magnetisierungsstrom übersteigenden wattlosen Strom entnimmt, da deren Erregung ja bei gleicher Frequenz wie im Primärkreis der VM erfolgt (Figur 64). Anders liegen dagegen die Verhältnisse, wenn der IFW zur Erregung einer ständererregten KM dient (vgl. DRP 392 205, 489 136 Abschnitt 6). Weitere Schaltungen dieser Art sind nur bei Drehzahlregelung brauchbar und, da sie für die Phasenkompensation nichts neues bieten, im folgenden nicht erwähnt (z. B. DRP 245 188).

154 131 Gr. 6 Latour. 12. 12. 1902.

Die HM besitzt im Ständer eine netzerregte Kommutatorwicklung, welcher der Strom über synchron mit der VM rotierende Bürsten zugeführt wird. Die Maschine wird asynchron angetrieben (Figur 65).

Die Hauptschwierigkeit aller ständererregten HM, die mit der Frequenz des Erregerstromes variierende Reaktanz des Erregerkreises, wird

¹⁾ Eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Erregerströme bleibt hier unberücksichtigt.

bei dieser Anordnung trotz konstanter Netzfrequenz des Erregerstromes nicht behoben, da der Ständer mit Kommutatorwicklung und rotierenden Bürsten eine mit deren Rotationsgeschwindigkeit variierende Reaktanz besitzt.

Weiter wird durch den ruhenden Kommutator der Erregerwicklung und die rotierenden Bürsten die HM konstruktiv kompliziert.

191 859 Gr. 29 Mülch. 8. 12. 1906. M. Z. 241 188.

Zur Drehzahlregelung wird eine kompensierte HM verwendet, deren Ständerwicklung durch einen mit der VM synchron angetriebenen FW erregt wird. Die bei Drehzahlregelung der VM und beim Regeln mit Ohmschem Widerstand im Erregerkreis der HM entstehende Phasenverschiebung des Erregerstromes muß durch Drehung der Erregerspannung am FW wieder aufgehoben werden (Abbildung 66).

Die HM kann mechanisch oder nur elektrisch mit der VM gekuppelt sein. Der FW ist nur für die Erregerleistung der HM zu dimensionieren. Alle in den Abschnitten 2 und 3 angegebenen Schaltungen, deren Wirkungsweise nicht von einem Leistungsfluß zwischen Kommutator des FW und Schleifringen der VM abhängig ist, sind sinngemäß anwendbar. Das Patent stellt die grundlegende Anordnung der im Ständer fremderregten HM dar.

Die Erregerspannung \mathcal{E}_1 der HM beträgt, je nach Verwendung eines gewöhnlichen oder kompensierten FW:

$$\mathcal{E}_1 = \mathfrak{D}'_1 u_1 \quad (218^a)$$

$$\mathcal{E}_1 = (1 - s) \mathfrak{D}'_1 u_1 \quad (218^b)$$

Der Erregerstrom der HM wird:

$$\mathfrak{I}_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{R_4 + s X_4} \quad (219)$$

Die Spannung der HM wird bei elektrischer ($\sigma = 0$) und mechanischer ($\sigma = 1$) Kupplung mit der VM

bei Verwendung eines gewöhnlichen FW:

$$\mathcal{E}_{HM} = (1 - \sigma s) t X_{43} e^{-j\alpha} \frac{\mathfrak{D}'_1 u_1}{R_4 + s X_4} \quad (220)$$

bei Verwendung eines kompensierten FW:

$$\mathcal{E}_{HM} = (1 - s) (1 - \sigma s) t X_{43} e^{-j\alpha} \frac{\mathfrak{D}'_1 u_1}{R_4 + s X_4} \quad (221)$$

Bei kleinen Schlüpfungen und kleiner Erregerreaktanz ergibt sich die Kompensationsspannung unter Vernachlässigung von sX_4 gegen R_4

bei elektrischer Kupplung und gewöhnlichem FW zu

$$\mathcal{E}_{HM} = \mathfrak{D}_1 u_1 = \mathcal{E}_2 \mathcal{E}_{20} \quad (222)$$

bei mechanischer Kupplung und gewöhnlichem FW oder elektrischer Kupplung und kompensiertem FW zu

$$\mathcal{E}_{HM} = (1 - s) \mathfrak{D}_1 U_1 = (1 - s) \mathcal{E}_2 \mathcal{C}_{20} \quad (223)$$

und endlich bei mechanischer Kupplung und kompensiertem FW zu

$$\mathcal{E}_{HM} = (1 - s)^2 \mathfrak{D}_1 U_1 = (1 - s)^2 \mathcal{E}_2 \mathcal{C}_{20} \quad (224)$$

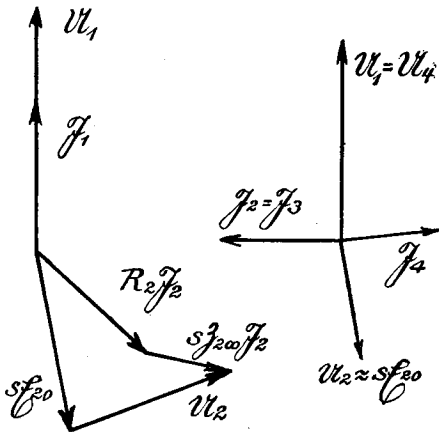
wobei \mathfrak{D}_1' , und \mathfrak{D}_1 wie üblich vom Uebersetzungsverhältnis des Nebenschlußtransformators und den Maschinenkonstanten abhängige Konstanten sind.

In den beiden ersten Fällen ergeben sich die gleichen Diagramme wie für den gewöhnlichen und den kompensierten FW, im dritten Fall dagegen erhält die Kompensationsspannung auch eine dem Quadrat der Schlüpfung proportionale Spannungskomponente. Bei den kleinen Schlüpfungen der ungeredelten HM ergeben sich dadurch jedoch nur kleine Abweichungen vom Kreisdiagramm.

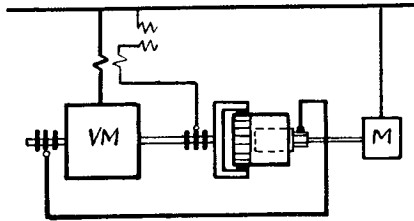
Im allgemeinen kann jedoch die Erregerreaktanz nicht vernachlässigt werden. Sie bewirkt, daß die wirklich von der HM erzeugte Spannung mit zunehmender Schlüpfung gegenüber der oben berechneten Spannung verkleinert und im Sinn der Nacheilung verdreht wird. Die vorangehende ausführliche Besprechung dieses gewissermaßen idealen Falles war jedoch gerechtfertigt, da man stets darnach trachtet, durch besondere Einrichtungen jenen Spannungsverlauf möglichst genau zu erreichen. Denn die mit zunehmender Schlüpfung zunehmende Verdrehung der Spannung der HM gegenüber der Erregerspannung macht eine eindeutige Drehzahl- und Phasenregelung, beispielsweise durch zwei aufeinander senkrecht stehende Spannungen, im Erregerkreis des FW unmöglich, da ja, je nach der gerade vorhandenen Schlüpfung der VM, den beiden Regelspannungen Spannungen verschiedener Phase der HM entsprechen. Die in dieser Patentschrift angegebene Bürstenverschiebung müßte in Abhängigkeit von der Schlüpfung der VM proportional dem Argument des Nenners der Gleichungen 219—221 erfolgen. Bei Verwendung eines kompensierten FW ist dieses Mittel nicht anwendbar. Zur Kompensation der Reaktanzspannung der Erregerwicklung sind eine Reihe Schaltungen bekannt geworden, die der bessern Uebersichtlichkeit halber im folgenden Abschnitt 5 zusammengestellt sind.

200 343 Gr. 7 BBC 15. 10. 1907.

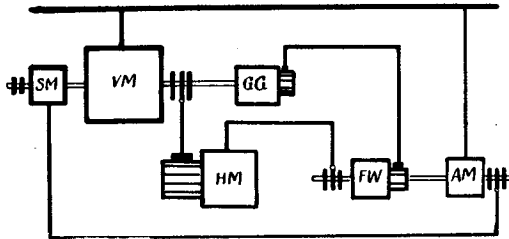
Zur Erregung der HM wird eine der Netzspannung oder dem Primärstrom proportionale Spannung mittels eines mit der VM gekuppelten Kommutators mit Widerständen zwischen den Lamellen, wie er von Heyland in DRP 143 069 für seine kompensierte Maschine vorgeschlagen wurde, auf Schlupffrequenz umgeformt. Der Umformer besitzt halbsoviele Schleifringe wie Lamellen.



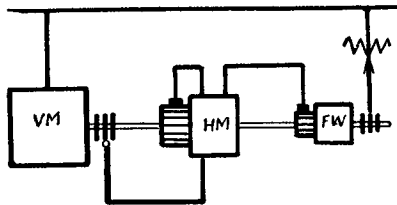
Figur 64: Spannungsdiagramme zu DRP 138 065.



Figur 65: DRP 154 131.



Figur 66: Fremderregte HM nach DRP 191 859.



Figur 67: DRP 240 718.

Diese Umformung hat ebensowenig wie die mit diesem Kommutator ausgerüsteten kompensierten Motoren von Heyland irgendeine Bedeutung erlangt.

240 718 Gr. 30 BBC 26. 8. 1910.

Zur Erregung der HM dient die bei Gleichstromkaskaden den Schleifringen der VM aufgedrückte Spannung. Es wird demnach die HM gewissermaßen zwischen VM und EU einer Gleichstromkaskade geschaltet (Figur 67). EU und GM werden gegenüber der Verwendung in der Gleichstromkaskade bedeutend kleiner, da sie nur noch den Magnetisierungsstrom zu liefern haben. Die GM arbeitet demzufolge stets als Gleichstromgenerator. Die Regelung wird infolge der variablen Reaktanz der Erregerwicklung in gewohnter Weise erschwert (vgl. 191 859).

241 188 Gr. 29 BBC 14. 8. 1910. Z. z. 191 859.

An die Erregerwicklung der HM nach dem Hauptpatent wird außer der Spannung des FW auch die Schleifringspannung der VM gelegt (Figur 68). Die Hauptfeldspannung der HM beträgt dann (Gleichungen 220—224 und 255—258):

$$\mathcal{E}_{HM} = \frac{t X_{43} e^{-j\alpha}}{R_4 + s X_4} \{ (R_2' + s \mathcal{B}_2' \infty) \mathcal{I}_2 + (\mathcal{C}_2 - s) \mathcal{C}_{20} \} \quad (225)$$

Die Spannungsregelung erfolgt weiterhin ausschließlich durch die Spannung des FW, dieser muß aber nur noch einen Teil der in der Schaltung nach dem Hauptpatent erforderlichen Spannung liefern. War vorher die Spannung des FW für eine bestimmte Schlüpfung s^* der VM $\mathcal{C}_2^* \mathcal{C}_{20}$, so berechnet sich jetzt die erforderliche Spannung $\mathcal{C}_2 \mathcal{C}_{20}$ aus der Gleichsetzung der beiden Spannungen der fremderregten und der gemischterregten HM (Gleichungen 222 und 225) zu:

$$\mathcal{C}_2 \mathcal{C}_{20} = \mathcal{C}_2^* \mathcal{C}_{20} \pm \{ s^* \mathcal{C}_{20} - (R_2' + s^* \mathcal{B}_2' \infty) \mathcal{I}_2 \} \quad (226)$$

Je nachdem der FW mit oder gegen die Schleifringspannung der VM geschaltet ist, ergeben sich bei kleiner oder großer Schlüpfung kleinere Werte für die jetzt erforderliche Spannung des FW.

Die Phasenkompensation, die sich infolge der Hauptstromkomponente aus der günstigeren Lage des Admittanzdiagrammes ergibt (vgl. Abschnitt II, 4, Seite 37) scheint nicht erkannt worden zu sein.

441 566 Gr. 27 BBC 12. 1. 1924.

Der zur Erregung der HM dienende FW wird schleifringseitig durch eine synchrone EM erregt, in deren Gleichstrom-Erregerkreis die Regulierung bedeutend einfacher ist, als im dreiphasigen Erregerkreis des FW bei Netzerregung. Je nachdem die EM von einer am Netz

liegenden SM oder der VM angetrieben wird, ist der FW mit der VM oder einer SM zu kuppeln. Im ersten Fall ist die Erregerspannung konstant, im zweiten Fall (Figur 69) der Drehzahl der VM proportional.

Die Schaltung verlangt, abgesehen von einer Gleichstromquelle oder einem Gleichstromgenerator, zwei weitere SM, so daß die Vorteile der leichten Regulierbarkeit teuer erkaufte werden. Die Erregerwicklung der HM kann gleichzeitig noch von einer weiteren Spannungsquelle, z. B. von den Schleifringen der VM erregt werden.

484 470 Gr. 27 SSW 24. 9. 1927. Schenkel.

Zur Vermeidung der Umformung von Strömen und Spannungen niederer Frequenz auf höhere Frequenz, wenn diese nicht direkt zur Erregung einer ständererregten HM dienen, oder wenn eine läufererregte HM verwendet wird, besitzt die kompensierte EM eine besondere, von der Ankerarbeitswicklung getrennte Erregerwicklung mit Kommutator im Läufer, die wie die Erregerwicklung der ständererregten Maschinen mit einer mit Schlupffrequenz pulsierenden Spannung zu erregen ist.

Diese EM bietet den Vorteil, bereits die Erregung der EM der HM in einfacher Weise vom Sekundärstrom oder der Sekundärspannung der VM abhängig zu machen, so daß dafür nur eine geringe Erregerleistung notwendig ist.

494 229 Gr. 27 SSW 21. 10. 1926. Schenkel.

Bei im Ständer mit Schlupffrequenz erregter HM soll für unter- und übersynchrone Drehzahlen der VM die zur Kompensation dienende Erregerspannung ihr Vorzeichen beibehalten, da sich die Richtung des Magnetisierungsstromes und damit auch der Kompensationsspannung beim Durchgang durch Synchronismus nicht ändert. Die Schleifringspannung der VM dagegen wechselt ihr Vorzeichen, hat jedoch zur Erzeugung der Kompensationsspannung den großen Vorteil, daß sie mit der Schlupfung der VM zunimmt. Der an die Schleifringe angeschlossene Erregerstromkreis muß deshalb beim Durchgang durch Synchronismus umgeschaltet werden.

Diese Umschaltung vermeidet die Schaltung nach Figur 71 b, da der von der Schleifringspannung abhängige Strom infolge der Umwandlung durch einen IFW auf Netzfrequenz und nachfolgender nochmaliger Umwandlung durch einen FW auf Schlupffrequenz beim Durchschreiten der synchronen Drehzahl seine Richtung beibehält. Die Größe dieses Stromes wird durch die Widerstände R_1 und R_2 in den Stromkreisen veränderlicher Frequenz, von deren variabler Reaktanz nahezu vollständig unabhängig und proportional der im Läufer der VM induzierten Spannung. Die Regelung erfolgt am Transformator T_2 ; der Transformator T_1 bringt noch eine konstante Spannung in den Erregerkreis.

500 507 Gr. 28 SSW 25. 10. 1925. Harz.

Die HM wird mit Gleichstrom erregt und Bürsten und Ständer relativ zueinander mit Schlupffrequenz gedreht, indem die Bürsten mit einer besondern am Netz liegenden SM, deren Läufer von der VM angetrieben wird (Figur 70), gekuppelt werden, oder indem der Ständer ohne besondern Antrieb drehbar gelagert wird. Es handelt sich somit um einen durch ein Gleichstromfeld zusätzlich erregten Ph.

Die im Läufer induzierte Spannung wird

$$\mathcal{E}_3 = t X_{33} \mathcal{J}_2 + t X_{43} C_2 e^{j\gamma_2} \mathcal{E}_{20} \quad (227)$$

Der Erregerstrom beträgt dabei $J_4 = C_2 E_{20}$, während γ_2 der Winkel zwischen Bürstenaxe und Erregerwicklung ist (Figur 71a). Bei frei rotierendem Ständer fallen infolge der geringen Verluste die AW von Läufer- und Ständerwicklung fast zusammen, es wird $\gamma_2 \approx < (\mathcal{J}_2, \mathcal{E}_{20})$; ebenso ist dort in üblicher Weise die Stillstandsreaktanz der HM zu berücksichtigen.

Die Anordnung mit frei rotierendem Ständer hat gegenüber dem FW den Vorteil des asynchronen Betriebes; als Nachteil sei auf die Möglichkeit des Abschnappens des rotierenden Ständers oder zumindest auf eine erhebliche Phasenverschiebung bei Leerlauf der VM hingewiesen. Diese Nachteile vermeidet die Anordnung mit angetriebenen rotierenden Bürsten; durch die komplizierte Antriebsmaschine mit rotierendem Ständer und Läufer wird die Anordnung jedoch umständlicher als die übliche Schaltung mit FW.

500 837 Gr. 29 ASEA 11. 10. 1927. (Schweden 15. 10. 1926.)

Der die HM erregende FW wird vom Netz außer über den Nebenschlußtransformator über einen im Primärkreis der VM liegenden Hauptstromtransformator erregt, welcher zwei Sekundärwicklungen besitzt (Figur 71), deren eine im Primärkreis, deren andere im Sekundärkreis des Nebenschlußtransformators liegt.

Bei Regelung des Nebenschlußtransformators zur Drehzahlregelung der VM wird auch die eine Komponente der primären Hauptstromspannung proportional der Leerlaufschlüpfung variiert, während die andere konstant bleibt.

Diese variable Hauptstromkomponente ändert somit in der nach Abschnitt II, 5 für eine günstige Lage des Admittanzkreises erforderlichen Weise, während die zweite Komponente, die direkt proportional dem Primärstrom ist, zur Kompoundierung der VM dient (L. 7).

504 012 Gr. 28 AEG 7. 7. 1929. Weiler.

Zur Verhinderung der Selbsterregung, z. B. infolge nicht genau in der Axe der Kompensationswicklung liegender Bürsten, wird die fremderregte HM mit einer Gegenkompoundwicklung versehen, die der

Kompensationswicklung oder einer Kommutationswicklung parallel geschaltet ist, da bei der geringen Spannung einer ausschließlich zur Phasenkompensation dienenden HM sich bei Serieschaltung der Gegenkompondwicklung bereits zu große Spannungsabfälle ergeben.

Die Gegenkompondwicklung wirkt wie ein in den Arbeitsstromkreis geschalteter Ohmscher Widerstand, ohne die Energie eines solchen zu verzehren.

516 475 Gr. 27 SSW 17. 11. 1929. Kozisek.

Die in Dreieck geschaltete Kompensationswicklung wird an die einen, die Kommutatorwicklung an die andern Enden der offenen Sekundärwicklung der VM angeschlossen.

Die Dreieckschaltung der Kompensationswicklung hat den großen Vorteil, daß diese gegenüber der üblichen Sternschaltung bedeutend einfacher wird und man mit geringerem Kupferaufwand auskommt, da es nun, infolge der gleichen Schaltung von Anker- und Kompensationswicklung, für gleichen Strombelag im Läufer und Ständer nicht mehr erforderlich ist, in die Nuten der Kompensationswicklung die Windungen verschiedener Phasen zu legen, deren AW sich zum Teil wieder aufheben. Dafür hat man an der VM die doppelte Zahl Schleifringe in Kauf zu nehmen.

5. Einrichtungen zur Verminderung oder Aufhebung des Einflusses der variablen Reaktanzspannungen der Erregerwicklung einer HM auf die Phase ihrer Spannung.

Die durch die Patente dieses Abschnittes geschützten Maschinen und Schaltungen bezwecken eine Verminderung oder Aufhebung des Einflusses der Reaktanzspannung eines mit variabler Frequenz gespeisten Stromkreises, insbesondere der Erregerwicklung einer ständererregten HM.

Die Impedanz der Ständerwicklung (4) einer HM beträgt für den mit Schlupffrequenz pulsierenden Erregerstrom \mathfrak{I}_4 :

$$\mathfrak{Z}_4 = R_4 + s X_4 \approx R_4 + j s X_4 \quad (228)$$

dabei ist R_4 der Ohmsche Widerstand und X_4 die auf Netzfrequenz bezogene Reaktanz der Erregerwicklung.

Auf die Störung des Regelvorganges durch das variable Glied der Erregerimpedanz wurde bereits im vorangehenden Abschnitt (DRP 191 859) hingewiesen. Die wichtigsten Mittel zur Verminderung oder Aufhebung dieser Störung sind folgende:

1. Der Stromkreis veränderlicher Frequenz wird mit einer seinem veränderlichen Widerstand angepaßten veränderlichen Spannung erregt, d. h. mit einer Spannung, die sich aus zwei Komponenten zusammensetzt, deren zweite der ersten um 90° nacheilt und ihr und gleichzeitig

der Frequenz proportional ist. Die ersten Patente benützen ausschließlich diese Lösung.

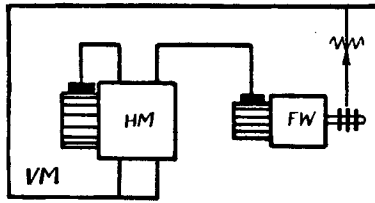
2. Die variable Reaktanzspannung wird durch eine besondere dieser entgegengerichtete Spannung aufgehoben, oder es wird durch eine konstante, erheblich größere Spannung beliebiger Richtung ihr Einfluß auf den Erregerstrom verschwindend klein gemacht. Nach der ersten Variante des zweiten Falles hat die EM nur die Ohmschen Verluste des Erregerkreises zu tragen; sie wird klein und leicht regelbar. Nach der zweiten Variante wird die Blindleistung der EM stets mindestens gleich oder größer als die Blindleistung ohne besondere Einrichtungen.

Zu den Einrichtungen der ersten Art gehört die Erregung der HM durch einen FW und einen IFW in Serie (392 205, 489 136), oder einen FW und die Schleifringe der VM (311 994, 348 612). Beim Anschluß der Erregerwicklung an die Schleifringe der VM besteht die Möglichkeit der Selbsterregung der HM, da diese jetzt ihre Erreger-spannung selbst erzeugen kann. Weitere Patente dieser Art, bei denen die Selbsterregung gewünscht wird, finden sich im folgenden Abschnitt. Endlich kann die HM durch einen über Strom- und Spannungstransformatoren erregten FW (407 194), durch zwangsläufig gesteuerte Transformatoren oder durch besondere EM (476 719, 479 789, 483 419, 496 176, 501 321, 509 278, 515 477) erregt werden.

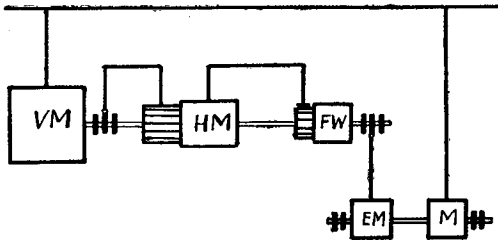
Noch zahlreicher sind die Patente über Schaltungen der zweiten Art. Eine Verminderung des Einflusses der variablen Reaktanz ergibt sich durch eine in den Stromkreis veränderlicher Frequenz geschaltete Serie-KM, einen eigenerregten Ph oder einen mit Kondensatoren belasteten FW (439 309, 482 302, 383 040, 487 021, 496 175), weiter durch Einführen der Spannung einer Hilfswicklung in der VM oder HM (507 933, 508 494) und endlich bei Drehzahlregelung durch die Einführung einer dem Quadrat der Schlüpfung proportionalen Spannung (487 125, 511 232).

Eine vollständige Aufhebung der Reaktanz der Erregerwicklung bei allen Schlüpfungen ergibt ein mit einer der Schlüpfung proportionalen Drehzahl angetriebener Ph (509 280), eine ebenfalls angetriebene mit Kondensatoren belastete AM (528 834), dann verschiedene Schaltungen, die mittels eines Serietransformators oder Ohmschen Widerstandes und eines FW oder einer KM eine dem Erregerstrom und der Frequenz proportionale Spannung in den Erregerkreis einfügen (485 653, 486 653, 489 746, 502 455, 512 047, 512 809, 525 755, 533 144). Bei Verwendung einer KM kann zu deren Erregung auch eine Hilfswicklung im Ständer der HM dienen (518 661).

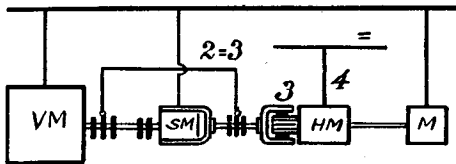
Allen diesen Schaltungen ist die, beispielsweise gegen die Anordnung nach DRP 191 859, nicht unbedeutende Komplikation und Verteuerung durch weitere Hilfsmaschinen gemeinsam; auch die zuletzt erwähnte braucht außer der Zusatzwicklung in der HM eine weitere KM. Eine dieser verschiedenen Zusatzeinrichtungen läßt sich jedoch



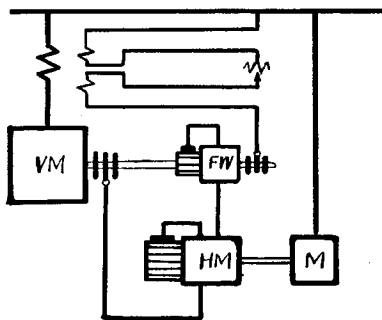
Figur 68: Erregung der HM durch einen FW und die Schleifringspannung der VM nach DRP 241 188.



Figur 69: Erregung des FW durch eine synchrone EM nach DRP 441 566.



Figur 70: Gleichstromerregte HM nach DRP 500 507.



Figur 71: Erregerschaltung nach DRP 500 837.

nicht vermeiden, wenn man die unter Umständen außerordentlich großen Verluste in den Vorschaltwiderständen des Erregerkreises oder die mit der Schlüpfung verbundene Drehung der Kompensations- oder Regelspannung nicht in Kauf nehmen will.

311 994 Gr. 27 AEG 9. 8. 1917. (USA. 8. 8. 1911.)

Die selbsterregte HM des nachfolgenden Abschnittes gestattet Drehzahlregelung innerhalb weiter Grenzen bei relativ günstigem Verlauf des Leistungsfaktors über das ganze Arbeitsgebiet, dagegen kann die VM im allgemeinen nicht in der Nähe ihrer synchronen Drehzahl betrieben werden, da hier die Spannung der HM, sofern sich dieselbe überhaupt selbst erregt, nach Größe und Richtung mit der Schlüpfung veränderlich wird.

In diesem mit der eigenerregten HM nicht beherrschten Regelbereich wird die HM durch einen FW, den sogenannten Ohmabfall-Erreger, fremderregt. Die Regulierung erfolgt durch Ohmsche Widerstände, die so groß gewählt sind, daß der Ohmsche Spannungsabfall über den ganzen Regelbereich im wesentlichen konstant und so groß gehalten wird, daß er im Bereiche des Synchronismus die Größe des Erregerstromes fast ausschließlich beherrscht. Die Schleifringspannung der VM dient dann nur zur Ueberwindung der induktiven Spannungskomponente des Erregerstromes. Das prinzipielle Schaltungsschema zeigt Figur 72 a. R ist der Ohmabfall-Regelungswiderstand, T der Transformator zur Drehzahlregelung im üblichen Regelbereich, der bei Synchronismus als Widerstand wirkt und auch im sonstigen Arbeitsgebiet durch einen Widerstand ersetzt werden könnte. Die Erregung der HM kann statt direkt auch durch eine zwischengeschaltete EM erfolgen. (In DRP 365 307 wird ein Regelverfahren für diese Kaskade vorgeschlagen.)

348 612 Gr. 27 BBC 19. 10. 1920.

Unter Vernachlässigung der sekundären Streureaktanzen soll die Kompensationsspannung proportional mit dem Absolutwert der Schlüpfung zunehmen, während die drehzahlregelnde Spannungskomponente der ideellen Leerlaufschlüpfung direkt proportional ist und mit ihr das Vorzeichen ändert. In der Patentschrift wird eine Schaltung angegeben, bei der die induktive Spannungskomponente zur Erregung der HM von den Schleifringen der VM abgenommen wird, wobei ohne Umschaltung beim Vorzeichenwechsel der drehzahlregelnden Spannungskomponente die kompensierende Spannungskomponente ihre Richtung beibehält. Die Ohmschen Spannungsabfälle im Erregerkreis werden dabei zweckmäßig durch einen vom Netz erregten FW gedeckt.

Nach Figur 96¹⁾ wird die drehzahlregelnde Spannungskomponente direkt den Schleifringen der VM entnommen, die phasenkompensierende

¹⁾ Seite 147.

Spannungskomponente über einen primär in Dreieck, sekundär in Stern geschalteten Transformator T ebenfalls von den Schleifringen abgenommen. Dieser Transformator ist so bemessen, daß seine Spannung den induktiven Spannungsabfall des für die Phasenkompensation der VM erforderlichen Erregerstromes deckt, oder eine schon vorhandene auf Phasenkompensierung wirkende Spannung unterstützt. Statt wie in Figur 96 dargestellt, kann der Transformator auch erst über eine besondere EM die Erregerwicklung der HM speisen. Die Erregerwicklung einer solchen EM oder diejenige der HM ist so geschaltet, daß der Strom jeder Phase in zwei um 120° verschobenen Axen wirkt. Die Wirkungsweise ergibt sich aus dem Diagramm Figur 97¹⁾, das für eine untersynchrone (') und eine übersynchrone (") Drehzahl der VM gezeichnet ist. U_2 ist die Schleifringspannung der VM, der die vom Transformator in der Sekundärwicklung induzierte Spannung \mathcal{E}_T infolge der Umkehr der Phasenfolge beim Durchgang durch Synchronismus das eine Mal um $\frac{\pi}{6}$ vor, das andere Mal um denselben Winkel nacheilt. Der Erregerstrom \mathfrak{J}_{E1}' und \mathfrak{J}_{E1}'' eilt dieser Spannung bei Vernachlässigung der Ohmschen Spannungsabfälle im Erregerkreis stets um $\frac{\pi}{2}$ nach. Die in der gleichen Axe wirkenden Ströme \mathfrak{J}_{E2}' und \mathfrak{J}_{E2}'' sind ebenfalls infolge des Richtungswechsels des Drehfeldes das eine Mal um $\frac{2\pi}{3}$ vor-, das andere Mal um den gleichen Winkel nacheilend. Fluß und induzierte Spannung \mathcal{E}' und \mathcal{E}'' der HM bleiben somit beim Durchgang durch Synchronismus unverändert. Damit bleibt auch die Richtung der Kompensationsspannung der HM ohne besondere Umschaltungen erhalten.

392 205 Gr. 30 SSW 8. 8. 1920. Kozisek. M. Z. 489 136.

Die Erregung der HM erfolgt über einen IFW und einen FW mit oder ohne Kompensationswicklung in Serie. Letzterer dient nur zur Erregung in der Nähe synchroner Drehzahlen der VM, da dort der IFW versagt. Die Erregerspannung der HM setzt sich somit zusammen aus einer kleinen konstanten oder annähernd konstanten und einer der Schlüpfung proportionalen Komponente, wie dies für konstanten Erregerstrom bei variabler Erregerreaktanz erforderlich ist.

407 194 Gr. 27 BBC 22. 3. 1921.

Zur Erregung der HM, deren Erregerwicklung in Reihe von den Schleifringen der VM und einem netzerregten FW gespeist wird, werden mittels eines Transformators in dem am Netz liegenden Stromkreis des FW vom Primärstrom oder der Primärspannung oder von beiden zusammen Spannungen induziert, welche sich zu den von der Sekundär-

¹⁾ Seite 147.

spannung der VM im niederfrequenten Erregerkreis induzierten Spannungen genau oder angenähert verhalten wie der Ohmsche Widerstand des gesamten Erregerkreises zum induktiven Widerstand dieses Kreises. Zum Ausgleich des durch den Magnetisierungsstrom bedingten Größenunterschiedes zwischen Primär- und Sekundärstrom wird zu der dem Primärstrom proportionalen Spannung eine konstante Spannung hinzugefügt. Weiter wird zum Ausgleich des durch den Spannungsabfall in der VM bedingten Unterschiedes der wirklichen von einer der Schlüpfung proportionalen Schleifringspannung eine dem Primärstrom proportionale Spannung der Erregerspannung des netzeregeten FW hinzugefügt.

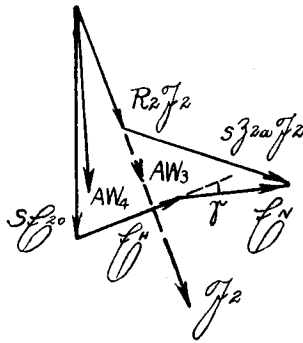
Diese letzte Spannung sollte genau genommen, infolge des Einflusses des Magnetisierungsstromes, ebenfalls eine dem Primärstrom und eine der Primärspannung proportionale Komponente besitzen, um die dem Ohmschen Spannungsabfall des Sekundärstromes im Sekundärteil der VM proportionale Spannungskomponente stets aufzuheben. In diesem Fall dient dann die übrigbleibende, der Schlüpfung proportionale Schleifringspannung der VM ausschließlich zur Deckung der induktiven Spannungsabfälle im Erregerkreis der HM, während die Ohmschen Spannungsabfälle durch die, abgesehen von der Veränderlichkeit mit der Schlüpfung, der Schleifringspannung proportionale Spannung des FW gedeckt werden.

Das Schaltungsschema zeigt Figur 72 b. Die Transformatoren T1 und T2 dienen zur Drehzahlregelung, der Transformator T3 induziert, abgesehen von der dem Ohmschen Spannungsabfall im Sekundärteil der VM proportionalen Spannungskomponente eine der Schlüpfung proportionale Spannung, die Transformatoren T4 und T5 die entsprechende von der Schlüpfung unabhängige Spannung.

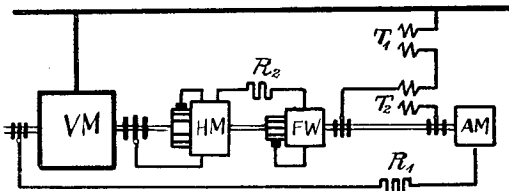
Der Erregerstrom stellt sich daher so ein, wie wenn bei ausschließlich Ohmschem Widerstand nur die primäre Nebenschluß- und Hauptschlußspannung oder bei ausschließlich induktivem Widerstand nur die der Schlüpfung proportionale Komponente der Schleifringspannung wirksam wäre. Demzufolge besteht die Kompensationsspannung der HM bei konstanter Antriebsdrehzahl aus einer konstanten Nebenschluß- und Hauptschlußspannung, wie sie in Abschnitt II, 6 besprochen wurde. Darnach ist damit in unmittelbarer Nähe des Synchronismus Phasenkompensation möglich; bei großen Abweichungen vom Synchronismus ergibt sich dagegen ein ungünstiger Verlauf des Leistungsfaktors mit der Belastung. Zweck der Erfindung ist jedoch, auch bei Synchronismus Kompondierung und Phasenkompensation zu ermöglichen, was nach dem Vorstehenden vollkommen erreicht wird.

439 309 Gr. 27 BBC. 26. 5. 1925.

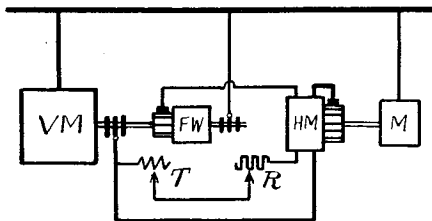
In den Stromkreis variabler Frequenz wird in Reihe zur speisenden Spannung eine vom Ankerstrom erregte KM geschaltet, deren Rotationsspannung gegen den Ankerstrom um mindestens 90° phasenverschoben ist und bei der größten Frequenz ein Mehrfaches der induktiven Gegen-



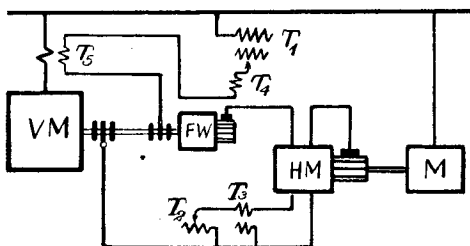
Figur 71 a: Spannungsdiagramm zur Schaltung nach DRP 500 507.



Figur 71 b: Erregerschaltung nach DRP 494 229.



Figur 72 a: Erregerschaltung mit Ohmabfall-Regulierwiderstand nach DRP 311 994.



Figur 72 b: Erregung der HM nach DRP 407 194.

spannung des Stromverbrauchers beträgt. Eine solche KM ist der eigen-erregte Ph und bei geeigneter Bürstenstellung die Serie-KM. Da die induzierte Spannung um mindestens 90° phasenverschoben sein soll, wirkt ihre mit dem Strom zusammenfallende Komponente wie ein Ohmscher Widerstand, auf keinen Fall in entgegengesetzter Richtung, so daß Selbsterregung sicher vermieden wird.

476 719 Gr. 27 BBC 15. 5. 1925. M. Z. 501 321.

Die Erregerwicklung der HM wird ausschließlich von einer EM gespeist, deren die Feld-AW schwächende Ankerstrom-AW nur wenig schwächer sind als die die Ankerspannung erzeugenden AW der Feldwicklung, indem die Maschine entweder sehr große Ankerrückwirkung besitzt oder mit einer Gegencompoundwicklung ausgerüstet ist. Demzufolge liegt der Spannungsabfall des Erregerkreises der HM vorwiegend in der EM, und der Erregerstrom wird annähernd proportional dem Erregerstrom der EM.

Die Schaltung ist speziell für eine von den Schleifringen der VM über Ohmsche Widerstände und unter Umständen auch noch über einen FW vom Netz erregte EM bestimmt (vgl. 241 188, Abschnitt 4, S. 108).

479 789 Gr. 27 BBC 31. 1. 1928.

Eine KM mit großer Ankerrückwirkung gestattet einen Stromkreis veränderlichen Widerstandes mit einem ihrem Erregerstrom annähernd proportionalen Strom zu speisen (DRP 476 719). Da diese Maschine aber eine den Erreger-AW entgegenwirkende Hauptstromwicklung besitzt, wird ihr Gewicht und Raumbedarf sehr groß gegenüber einer Maschine normaler Bauart gleicher Leistung. Zudem ist bei wechselnder Frequenz ihres Erregerstromes noch ein großer Ohmscher Widerstand mit ihrer Erregerwicklung in Serie zu schalten, dessen Verluste bei großer Erregerleistung ebenfalls groß werden. Dieser Nachteil läßt sich allerdings durch Zwischenschaltung einer weitem gleichen EM vermeiden (DRP 501 321, S. 126). Der große Kupferaufwand für die Erregerwicklung der Haupterregermaschine bleibt aber bestehen.

Erfindungsgemäß dienen zur Speisung eines Stromkreises veränderlichen Widerstandes mit einem Strom, welcher einem durch äußere Umstände festgelegten Erregerstrom \mathfrak{I}_e konstanter oder veränderlicher Frequenz proportional ist, zwei kompensierte KM, die auch zu einer Doppel-KM vereinigt werden können, deren Ankerstromkreise den Belastungswiderstand in Serie speisen. Die eine KM wird durch ihren Ankerstrom und den primären Erregerstrom erregt, die andere ist im Nebenschluß an den Belastungswiderstand angeschlossen (Figur 73). Die durch den primären Erregerstrom erregte Maschine I arbeitet in Serie auf den veränderlichen Widerstand \mathfrak{Z}_4 und den Anker der Maschine II, sowie parallel auf deren Erregerwicklung. Der Strom der Erregerwicklung der Maschine II sei klein gegenüber dem Strom der Impedanz \mathfrak{Z}_4 .

und erzeuge im Anker eine Rotationsspannung, die keine Komponente in Richtung des Ankerstromes besitzt, so daß diese Maschine sich nicht selbsterregen kann. Weiter sei die Klemmenspannung der Erregerwicklung klein gegenüber der Ankerspannung der Maschine II. Dadurch wird ihre Ankerspannung z. B. annähernd gleich dem induktiven Spannungsabfall in der Impedanz \mathfrak{Z}_4 . Die Maschine I liefert die Klemmenspannung der Erregerwicklung der Maschine II, also eine viel kleinere Spannung als an der Impedanz \mathfrak{Z}_4 liegt. Maschine I, deren Hauptstromwicklung in üblicher Weise den AW der Erregerwicklung entgegenwirkt, wird somit erheblich kleiner als bei der zuerst erwähnten Anordnung.

Durch Anschluß der Erregerwicklung der Maschine II an einen Zwischenpunkt der Impedanz \mathfrak{Z}_4 (in Figur 73 punktiert eingezeichnet) läßt sich ihre Spannung beliebig verkleinern, und die zur Ueberwindung des Spannungsabfalles in \mathfrak{Z}_4 notwendige Spannung kann auf beide Maschinen verteilt werden.

Endlich werden noch besondere Zusatzwicklungen in der Maschine I angegeben, zur Verminderung der Störungen in der Proportionalität zwischen primärem Erregerstrom und Strom im Stromkreis veränderlichen Widerstandes, die daher rühren, daß sich der Strom in der veränderlichen Impedanz \mathfrak{Z}_4 vom Strom der Compoundwicklung in der Maschine I um den Erregerstrom der Maschine II und die Durchflutung der Kompensationswicklung von derjenigen der Erregerwicklung um die resultierende Durchflutung der Maschine II sich unterscheiden.

Wie bereits in DRP 241 188 (S. 108) vorgeschlagen, kann auch hier die erforderliche Spannung dieser EM durch Reihenschaltung mit der nötigenfalls transformierten Schleifringspannung der VM weiter vermindert werden. Die Richtung dieser Zusatzspannung ist bei Durchgang durch Synchronismus umzukehren.

Weitere Patentansprüche betreffen die Schaltung der Wendepole.

482 302 Gr. 28 SSW 18. 12. 1926. Kozisch.

Zur Einführung von Blindstrom in niederfrequente Stromkreise wird in den Stromkreis geringerer Frequenz ein FW eingeschaltet, an dessen höhere Frequenz aufweisende und als Stromabgeber wirkende Seite Kondensatoren angeschlossen sind (Figur 74). Wird der FW mit einer der Schlüpfung proportionalen Drehzahl übersynchron angetrieben, so wirkt dieser für einen über die Schleifringe weiterfließenden Strom \mathfrak{I}_5 als FW und für den sich nur durch die Ankerwicklung schließenden Strom $\mathfrak{I}_6 = \mathfrak{I}_4 - \mathfrak{I}_5$ als eigenerregter Ph.

Die im Ph induzierte Spannung ist nach Gleichung 145

$$\mathcal{E}_6 = -j s X_6 \left(1 - \frac{t}{s} \Delta\right) \mathfrak{I}_6 \quad (229)$$

Seine Rotationsgeschwindigkeit sei

$$\omega_6 = t \omega_1 = p s \omega_1 \quad (230)$$

Damit wird die induzierte Spannung

$$\mathcal{E}_s = -j s X_6 (1 - p \Delta) \mathfrak{I}_s \quad (231)$$

Die erste Komponente dieser Spannung

$$\mathcal{E}_{s\sigma} = -j s X_6 \mathfrak{I}_s \quad (232)$$

vergrößert den induktiven Spannungsabfall des Erregerkreises, die zweite Komponente

$$\mathcal{E}_{s\delta} = j s X_6 p \Delta \mathfrak{I}_s \quad (233)$$

ist ihm entgegengerichtet und kann durch geeignete Wahl von X_6 und p den gesamten induktiven Spannungsabfall des Erregerkreises bei jeder Schlüpfung aufheben.

Die an den Schleifringen des FW abgenommene Frequenz beträgt bei üblichem übersynchronem Antrieb ($p > 1$):

$$\omega_s = \omega_K - \omega_r = s \omega_1 - p s \omega_1 = (1 - p) s \omega_1 \quad (234)$$

Der Spannungsabfall im FW kann vernachlässigt werden. Die Schleifringspannung ist dann gleich der Kommutatorspannung, Ph und Kondensator arbeiten gewissermaßen parallel auf die Erregerwicklung der HM.

Die im Kondensator induzierte Blindspannung beträgt für den Kondensatorstrom \mathfrak{I}_5 :

$$\mathcal{E}_5 = \frac{\mathfrak{I}_5}{j \omega_5 C_5} = \frac{\mathfrak{I}_5}{j (1 - p) s \omega_1 C_5} \quad (235)$$

Entsprechend der oben erwähnten Parallelschaltung ist weiter

$$\mathcal{E}_6 = \mathcal{E}_5 \quad (236)$$

$$\mathfrak{I}_4 = \mathfrak{I}_5 + \mathfrak{I}_6 \quad (237)$$

Da \mathcal{E}_6 und \mathcal{E}_5 auf den Strömen \mathfrak{I}_s und \mathfrak{I}_5 senkrecht stehen, sind der Strom \mathfrak{I}_6 des Ph und der Strom \mathfrak{I}_5 des Kondensators miteinander und mit \mathfrak{I}_4 in Phase.

Entsprechend der mit der Schlüpfung zunehmenden Spannung des Ph und der mit der Schlüpfung des Erregerstromes abnehmenden Kondensatorspannung wird mit zunehmender Schlüpfung der Ph entlastet; aber gleichzeitig wird die gemeinsame Spannung $\mathcal{E}_6 = \mathcal{E}_5$ kleiner als einer der Schlüpfung und dem Erregerstrom \mathfrak{I}_4 proportionalen Zunahme entsprechend. Da zudem durch den Kondensator nicht der Kommutator, sondern nur ein Teil der Wicklung des FW entlastet wird, dürfte diese ungünstige Beeinflussung der Zusatzspannung die Vorteile der kleinern Wicklung eines Ph aufheben. (Vgl. auch die beiden zeitlich vorangehenden Patente No. 484 040 und 509 280.)

483 419 Gr. 27 SSW 22. 7. 1928. Harz.

Der Einfluß des induktiven Spannungsabfalles bei variabler Frequenz wird aufgehoben, indem zur Ueberwindung des Ohmschen Span-

nungsabfalles ein gewöhnlicher Transformator, für den induktiven Spannungsabfall dagegen ein Doppeldrehtransformator verwendet wird, der von zwei Drehmagneten gesteuert wird, deren einer an der konstanten Netzspannung liegt, während der andere in Serie vom konstant zu haltenden Strom erregt wird.

Bei mit zunehmender Belastung der VM steigender Frequenz und dadurch fallendem Strom im Erregerkreis überwiegt die Wirkung des an der konstanten Spannung liegenden Drehmagneten, so daß eine die Spannung des Drehtransformators erhöhende Drehung stattfindet, bis beim ursprünglich eingestellten Strom wieder Gleichgewicht eintritt, während bei abnehmender Frequenz die Drehmagnete in umgekehrter Richtung in Funktion treten.

Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, daß die die Blindspannungen des Stromkreises veränderlicher Frequenz aufhebenden Spannungen nicht in diesem Stromkreis selbst, sondern in dem Netzfrequenz führenden Stromkreis des als EM dienenden FW induziert werden, so daß ein Transformator statt einer besonderen Maschine verwendet werden kann.

484 040 Gr. 27 AEG 12. 11. 1926. Weiler.

In den Erregerkreis der HM ist außer der EM eine KM geschaltet, deren Spannung ihrem Ankerstrom proportional und um 90° voreilend und bei größter Schlüpfung höchstens gleich den induktiven Spannungsabfällen der Erregerwicklung ist.

Es handelt sich also offenbar um eine Serie-KM mit in der Feldaxe liegenden Bürsten, oder um einen eigenerregten Ph, dessen Spannung \mathcal{E}_s bei Verlegung seiner Stillstandsreaktanz in die Erregerreaktanz X_4 der HM sich berechnet zu:

$$\mathcal{E}_s = t X_5 \mathfrak{I}_4 \quad (238)$$

Ist u_4 die Erregerspannung, so wird der Erregerstrom

$$\mathfrak{I}_4 = \frac{u_4}{R_4 + s X_4 - t X_5} \quad (239)$$

Der Ph ist mit der VM mechanisch gekuppelt, oder er wird durch einen besonderen Motor angetrieben; dementsprechend ist $t = (1 - s)$ oder $t = 1$ zu setzen. Da $|t X_5| > |s X_4|$ ist, wird die maximale Impedanz des Erregerkreises verkleinert, sie bleibt aber von der Schlüpfung abhängig.

Die zur Regelung dienenden zwei Doppeldrehtransformatoren können kleiner dimensioniert werden; eine eindeutige Regelung der Wirkleistung mit dem einen und der Blindleistung mit dem andern ist jedoch nicht möglich, immerhin wird der Einfluß der Schlüpfung auf die Phase des Erregerstromes erheblich vermindert. (Vgl. 509 280.)

486 653 Gr. 27 SSW 20. 4. 1927. *Livschitz.*

M. Z. 512 809, 525 755 und 533 144.

Im Stromkreis veränderlicher Frequenz ω_0 liegt die Primärwicklung eines Stromtransformators HT_1 , dessen Sekundärspannung nach Umformung auf konstante Frequenz durch den FW_1 in Reihe mit einer konstanten Spannung zur Erregung des FW_2 dient, der den Stromkreis veränderlicher Frequenz speist (Figur 75). Die diesem von außen zugeführte Spannung hat nur den Ohmschen Spannungsabfall zu überwinden, da die vom HT_1 gelieferte Spannung so gewählt wird, daß sie die sämtlichen induktiven Spannungsabfälle des Stromkreises variabler Frequenz stets aufhebt, oder sogar die induktiven Spannungsabfälle in der Kompensationswicklung der HM kompensiert.

In der Sekundärwicklung des Hauptstromtransformators HT_1 wird die Spannung $\mathcal{E}_6 = -s \mathcal{X}_{46} \mathcal{I}_4$ induziert, die der erste FW auf die Spannung $\mathcal{E}_7 = e^{-j\alpha} \mathcal{E}_6 = +s \mathcal{X}_{47} \mathcal{I}_4$ und Netzfrequenz umformt. Zusammen mit der Nebenschlußspannung des Transformators NT vom Netz wird den Schleifringen des zweiten FW die Spannung

$$\mathcal{E}_8 = \mathcal{D}U_1 + s \mathcal{X}_{48} \mathcal{I}_4$$

aufgedrückt, deren zweite Komponente den induktiven Spannungsabfällen des Erregerkreises entgegengerichtet ist.

487 021 Gr. 27 SSW 30. 6. 1925. *Kozisek.*

Bei Drehzahlregelung in der Nähe des Synchronismus wird in den Erregerkreis der ständererregten HM ein eigenerregter Ph eingeschaltet, der eine gegenüber dem Erregerstrom um 90° vor- oder nachteilende Spannung einführt.

Durch diesen Ph wird ein zusätzlicher, von der Frequenz annähernd unabhängiger positiver oder negativer induktiver Widerstand in den Erregerkreis geschaltet, der so groß ist, daß dagegen die Schwankungen der Reaktanz der Erregerwicklung in der Nähe des Synchronismus unbedeutend werden.

487 125 Gr. 27 SSW 13. 5. 1927. *Livschitz.*

Da bei Drehzahlregelung die Schlüpfung der VM in erster Annäherung proportional dem Erregerstrom der HM ist, wird die Erregerreaktanz der HM in erster Annäherung proportional dem Quadrat der Schlüpfung. Die Reaktanzspannung kann demnach durch eine diesem Gesetz gehorchende Spannung annähernd aufgehoben werden.

Zur Erzeugung einer dem Quadrat der Schlüpfung proportionalen Spannung wird eine KM mit der Schlüpfung proportionaler Drehzahl angetrieben und von einer der Schlüpfung ebenfalls proportionalen Spannung erregt. Die Erregung erfolgt zweckmäßig im Läufer über einen Kommutator (Figur 76), so daß bei gleicher Rotationsgeschwindigkeit von Feld und Läufer die Transformationsspannung durch die Rotationsspannung gerade aufgehoben wird. Der Erregerstrom ist dann

proportional der Schlüpfung; die im Ständer der KM induzierte Spannung wird proportional dem Quadrat der Schlüpfung. Bei ständererregter KM ist ein Ohmscher Widerstand in die Erregerwicklung zu schalten, der die induktiven Spannungsabfälle überwiegt; die im Läufer induzierte Spannung wird verhältnismäßig größer, da dieser entgegen der Drehrichtung des Ständerfeldes rotiert. Der Antrieb erfolgt zweckmäßig durch eine an die Schleifringe der VM angeschlossene AM.

489 136 Gr. 27 SSW 30. 11. 1926. *Kozisek. Z. z. 392 205.*

In der Schaltung nach dem Hauptpatent wird der IFW verhältnismäßig groß, da sich seine primär aufgenommene Leistung zur sekundär abgegebenen wie Netzfrequenz zu Schlupffrequenz verhält. Er wird erheblich kleiner, indem er in Serie mit dem FW eine besondere, ständererregte EM erregt, die erst den Erregerstrom für die HM erzeugt.

489 746 Gr. 27 SSW 13. 5. 1927. *Livschütz.*

Zur Einführung einer vom Schlupf unabhängigen Spannung in einen Schlupffrequenz führenden Stromkreis, der von einem zweiten Stromkreis mit mindestens annähernd konstanter Frequenz über einen FW gespeist wird, wird die Spannung eines im Stromkreis veränderlicher Frequenz liegenden Ohmschen Widerstandes R (Figur 77) über einen zweiten FW (FW_2) auf die konstante Frequenz umgeformt und in Reihe mit der den ersten FW (FW_1) speisenden Spannung diesem zugeführt. Dieser FW ist zweckmäßig mit einer Kompensationswicklung ausgerüstet.

Die Phase der Spannung des zweiten FW kann durch Bürstenverschiebung beliebig eingestellt werden; ihre Größe ist proportional dem Strom im Stromkreis veränderlicher Frequenz. Ist diese Spannung dem Strom entgegengerichtet, so wirkt sie wie ein Ohmscher Widerstand und vermindert damit die Phasenverschiebung des Stromes bei veränderlicher Frequenz, ohne die Verluste eines entsprechenden Ohmschen Widerstandes zu verursachen, da nur der wesentlich kleinere Widerstand R Ohmsche Verluste bedingt.

Wird der kompensierte FW direkt in den Sekundärkreis der VM eingeschaltet, so kann der zweite FW als Schlupffregler dienen. Er wirkt wie ein Ohmscher Widerstand im Sekundärkreis, aber ebenfalls mit dem Unterschied, daß die geregelte Energie nicht in Wärme umgesetzt wird, sondern als mechanische Energie auf die Welle übertragen wird.

496 175 Gr. 27 SSW 28. 4. 1926. *Kozisek.*

Zur Einführung einer dem Erregerstrom um 90° vor- oder nach-eilenden Spannung ist die Erregerwicklung der HM außer an die Erregerspannung an auf ihrem Kommutator aufliegende Hilfsbürsten oder an die Bürsten eines mit einer besondern Wicklung versehenen Hilfskommutators angeschlossen (Figur 78). Diese Hilfswicklung liegt derart

im innern Teil des Läufer Eisens, daß sie vom Hauptfluß im wesentlichen nicht induziert wird. Sie kann daher mit einer andern Polzahl als die Hauptwicklung ausgeführt werden und wirkt wie ein eigenerregter Ph. Im ersten Fall dagegen wird die, je nach Stellung der Hilfsbürsten um einen beliebigen Winkel in der Phase gedrehte, Kommutatorspannung der HM in ihren Erregerkreis eingeführt.

Bei konstanter Drehzahl der HM sind diese Spannungen nur dem Erregerstrom, aber nicht auch gleichzeitig dessen Frequenz proportional; sie gestatten somit nur eine teilweise Aufhebung der Phasendrehung durch die variable Erregerreaktanz.

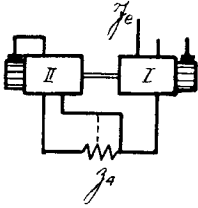
496 176 Gr. 27 SSW 27. 4. 1927. Harz.

Die Schleifringspannung der VM wird über einen mit der VM synchron laufenden Hilfsfrequenzwandler (FW_2) auf Netzfrequenz umgeformt und dem Netzfrequenz führenden Stromkreis des Erregerfrequenzwandlers (FW_1) zugeführt, der dann die HM ausschließlich erregt. Die Regelung erfolgt nur im Netzfrequenz führenden Erregerkreis des FW_1 mittels der beiden Transformatoren T_1 und T_2 (Figur 79), von denen jeder zwei unabhängig regelbare aufeinander senkrecht stehende Spannungen erzeugt, wobei die den Ohmschen Spannungsabfall regelnden Kontaktbolzen des einen Transformators mit den den induktiven Spannungsabfall regelnden des andern mechanisch verbunden sind. Die HM ist so geschaltet, daß das eine dieser Kontaktpaare die Drehzahl, das andere den Leistungsfaktor der VM beeinflusst. In den Schlupffrequenz führenden Stromkreisen sind keine Transformatoren vorhanden.

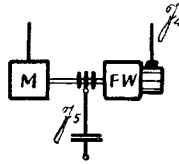
Anstatt in den Regeltransformatoren zwei aufeinander senkrechte Spannungen zu erzeugen, können auch zwei Spannungen gleicher Richtung abgenommen werden und in zwei Frequenzwandlern (FW_1' und FW_2'' in Figur 80) auf Schlupffrequenz umgeformt werden, wobei die Bürsten der FW so stehen, daß die Kommutatorspannung des einen gegenüber der des andern um 90° in der Phase verschoben ist.

Noch einfacher wird die Schaltung, wenn die beiden Transformatoren bereits primärseits in Serie geschaltet werden, so daß nur eine gemeinsame Primär- und eine Sekundärwicklung erforderlich ist (Figur 81).

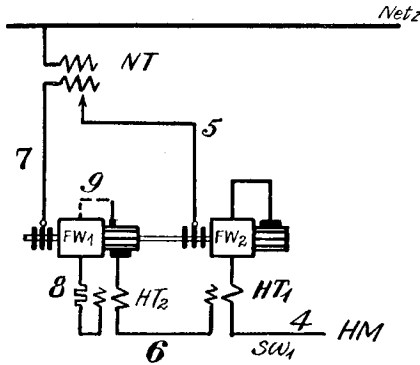
Bei großen VM mit großem Regelbereich wird zwischen Transformator und FW_1 zweckmäßig eine besondere EM geschaltet, so daß die Transformatoren und der Hilfsfrequenzwandler FW_2 nur für deren Erregerstrom auszulegen sind. Bei Verwendung einer synchronen EM (Figur 82) ist die der Schlüpfung proportionale Spannung in einem EU in Gleichstrom umzuformen. Die konstante Spannung wird zweckmäßig einem Gleichstrom-Nebenschlußgenerator entnommen. Die Regelung erfolgt dann analog wie mittels der Transformatoren in den vier Gleichstrom-Erregerkreisen durch die Widerstände R_1', R_1'', R_2', R_2'' , wo-



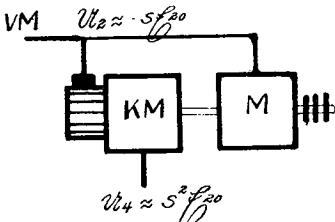
Figur 73: Schema zu DRP 479 789.



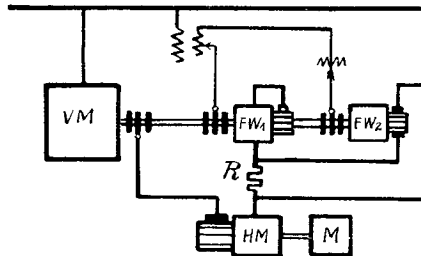
Figur 74: Schema zu DRP 482 302.



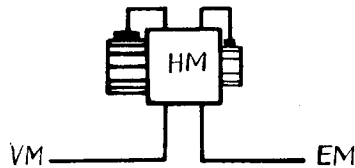
Figur 75: Schema zu DRP 486 653, 512 809, 525 755, 533 144.



Figur 76: Schaltung zur Erzeugung einer dem Quadrat der Schließung proportionalen Spannung gemäß DRP 487 125.



Figur 77: Schema zu DRP 489 746



Figur 78: HM mit Hilfskommutator zur Erregung gemäß DRP 496 175.

bei die vier Erregerwicklungen dieselben Spannungen im Läufer der EM induzieren, wie sie in den vier Sekundärwicklungen der Transformatoren erzeugt werden, und wobei je zwei Widerstände zwangsläufig miteinander verbunden sind.

501 321 Gr. 27 BBC 25. 1. 1927. Z. z. 476 719.

Zur weitem Verminderung der Verluste in den Ohmschen Widerständen wird zwischen EM und HM eine weitere EM gleicher Art wie die durch das Hauptpatent geschützte Maschine eingeschaltet.

Durch Hintereinanderschalten mehrerer EM läßt sich die Erregerleistung der ersten beliebig verkleinern, vorausgesetzt, daß die damit verbundene Verteuerung der Anlage und die mit der Zahl der Maschinen zunehmenden Möglichkeiten einer Betriebsstörung vom Abnehmer in Kauf genommen werden.

502 455 Gr. 29 SSW 13. 5. 1927.

Zur Einführung beliebiger Regelspannungen in Wechselstromkreise werden zwei unmittelbar oder über Transformatoren hintereinandergeschaltete FW verwendet, deren einer in den zu regelnden Wechselstromkreis eingeschaltet ist, während der andere von einer der Regelspannung proportionalen Spannung beeinflusst wird, wobei einer der beiden FW mit einer Kompensationswicklung versehen ist.

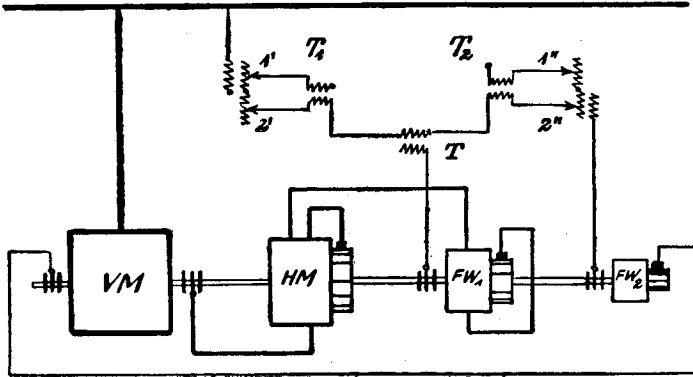
Zur Aufhebung des induktiven Spannungsabfalles eines Stromkreises wechselnder Frequenz wird der erste FW von einem in diesen Stromkreis eingeschalteten Stromtransformator erregt (Figur 83).

507 933 Gr. 27 SSW 25. 5. 1927. *Lwuschitz und Kozisek.*

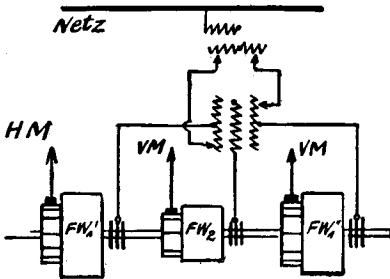
Zur Aufhebung des induktiven Spannungsabfalles im Erregerkreis der HM wird die Spannung einer im Sekundärteil der VM liegenden Hilfswicklung über einen regelbaren Transformator in den Erregerkreis der HM eingeführt, die außerdem von einer zweiten Spannung, beispielsweise durch einen am Netz liegenden Transformator über einen FW erregt wird.

Die besondere Hilfswicklung im Sekundärteil der VM macht die Zusatzspannung gegenüber der Anordnung mit Schleifringanschluß (DRP 496 176) von den Ohmschen Spannungsabfällen im Sekundärstromkreis, die sich besonders in der Nähe des Synchronismus störend bemerkbar machen (vgl. Abschnitt 6, S. 135 u. ff.) unabhängig.

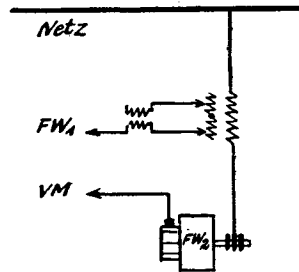
Eine vollständige Aufhebung der induktiven Spannungsabfälle in der Erregerwicklung findet jedoch nicht statt, da die Spannung der Hilfswicklung außer von der Spannung der HM und damit ihrer Erregung auch noch von der Belastung der VM abhängig ist, so daß die abgenommene Spannung nicht genau der Schlüpfung und dem Erregerstrom der HM proportional ist. Aus diesem Grunde ist auch der regelbare Transformator vorgesehen.



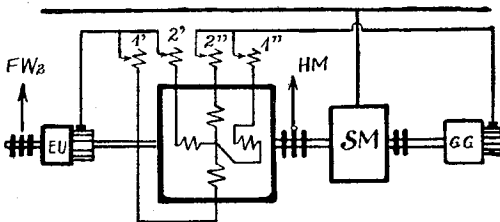
Figur 79: Schema zu DRP 497 176.



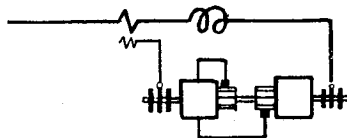
Figur 80: Schema zu DRP 496 176.



Figur 81: Schema zu DRP 496 176



Figur 82: Erregung der synchronen EM nach DRP 496 176.



Figur 83: Erregung des FW über einen Stromtransformator gemäß DRP 502 455.

508 494 Gr. 27 SSW 6. 10. 1928. Harz.

Eine Anordnung zur Speisung der Erregerwicklung einer HM mit zwei aufeinander senkrecht stehenden Spannungen, deren eine konstant, deren andere der Schlüpfung proportional ist, enthält bereits DRP 392 205. Nach dieser Erfindung wird der Ohmsche Spannungsabfall durch einen fremderregten FW, der induktive Spannungsabfall durch die Schleifringspannung der VM gedeckt, indem diese Spannung durch einen Hilfsfrequenzwandler (FW₂) auf die Erregerfrequenz des ersten FW umgeformt wird und in Serie mit einer konstanten Spannung dessen Erregerwicklung speist.

In der Schaltung nach Figur 84 liefert die SM die konstante Spannung zur Deckung der Ohmschen Verluste des Erregerkreises der HM. Bei großen Abweichungen vom Synchronismus kann diese Spannung auch weggelassen werden, da dann der Ohmsche Spannungsabfall keine Rolle spielt. Die Drehzahl der beiden FW kann ganz beliebig, z. B. mit Rücksicht auf die Kommutation gewählt werden.

Wird der zweite FW mit der VM gekuppelt und die konstante Erregerspannung dem Netz entnommen, so kann der kompensierte FW₁ durch eine beliebige synchrone oder asynchrone Umformerschaltung ersetzt werden. Endlich kann auch die auf Netzfrequenz umgeformte Spannung des Hilfsfrequenzwandlers durch einen EU auf Gleichstrom umgeformt werden, um eine synchrone EM zu erregen.

509 278 Gr. 27 SSW 18. 7. 1929. Harz.

Die Erregung der HM erfolgt durch einen kompensierten oder gewöhnlichen FW, der seinerseits durch eine synchrone EM mit Netzfrequenz oder Rotationsfrequenz der VM erregt wird. Die Gleichstrom-Erregerwicklung dieser EM besteht aus zweimal zwei um 90° versetzten Wicklungen, deren eine von einer konstanten Gleichspannung, deren andere von einer konstanten und einer der Rotationsgeschwindigkeit der VM proportionalen Gleichspannung in Differenzschaltung erregt wird. Die weitem beiden Wicklungen sind gemäß Figur 85 so geschaltet, daß die von der gleichen Spannung gespeiste Wicklung gegen die erste um 90° versetzt ist. Die Erregerwicklung der EM entspricht somit der in DRP 496 176 (S. 124) angegebenen, dagegen ist hier die Erregerspannung nicht von der Schleifringspannung, sondern nur von der Drehzahl der VM abhängig.

Je zwei zu versetzten Wicklungen gehörende Regulierwiderstände sind mechanisch miteinander verbunden. Die Erzeugung der beiden Gleichspannungen erfolgt in zwei Gleichstromgeneratoren, deren Erregerstrom geliefert wird von einer konstanten Spannungsquelle (GM₁) und von einer synchron mit der VM angetriebenen Gleichstrommaschine (GM₂), welche bei konstanter Erregung die variable, der Rotationsgeschwindigkeit der VM proportionale Spannung erzeugt. Je nach der Regulierung der Erregerspannung ergeben sich verschiedene Charakteristiken des Regelsatzes.

Die gemeinsame Regelspannung der EM besteht bei konstanten Widerständen in den verschiedenen Erregerkreisen aus zwei konstanten und zwei der Schlüpfung proportionalen Komponenten:

$$\mathcal{E}_5 = \{a + j b + (c + j d) s\} \mathcal{E}_{20} \quad (240)$$

Die Spannung des FW, die der Erregerwicklung der HM aufgedrückt wird, beträgt:

$$\mathcal{E}_4 = (1 - \sigma_{FW} s) \mathcal{E}_5 \quad (241)$$

wobei für gewöhnlichen FW $\sigma_{FW} = 0$ und für kompensierten FW $\sigma_{FW} = 1$ zu setzen ist.

Werden nun die Konstanten a und d , sowie b und c entsprechend Ohmschem Widerstand und Reaktanz des Erregerkreises (4) der HM so gewählt, daß

$$\frac{a}{d} = \frac{R_4}{X_4} \quad \text{und} \quad \frac{b}{c} = -\frac{R_4}{X_4} \quad (242)$$

indem die Widerstände R_1 und R_2 oder R_3 und R_4 stets in gleichem Maß verändert werden, so wird der Erregerstrom der HM

$$\mathcal{I}_4 = \frac{(a + j b) (1 - \sigma_{FW} s)}{R_4} \mathcal{E}_{20} \quad (243)$$

indem sich die der Schlüpfung proportionale Spannung und die Reaktanzspannung des Erregerkreises stets aufheben. Die Phase des Erregerstromes der ständererregten HM wird somit unabhängig von der Schlüpfung stets gleich der resultierenden Phase der beiden Regelspannungen $(a + j b) \mathcal{E}_{20}$, ohne daß besondere Maschinen in den Sekundärkreis oder Erregerkreis eingeschaltet sind. Die Spannung der HM wird:

$$\mathcal{E}_3 = \frac{a + j b}{R_4} \mathcal{E}_{20} (1 - \sigma_{FW} s) (1 - \sigma_{HM} s) \quad (244)$$

(Vgl. DRP 191 859, Abschnitt 4, S. 105.)

509 280 Gr. 28 SSW 22. 10. 1926.

Der induktive Spannungsabfall in niederfrequenten Stromkreisen wird durch einen eigenerregten Ph kompensiert, dessen Antriebsdrehzahl der Schlüpfung der VM möglichst genau proportional ist, indem der Ph entweder durch einen aus einem der niederfrequenten Stromkreise gespeisten Asynchronmotor oder über ein Differentialgetriebe von einer mit dem Netz synchron laufenden SM und der VM angetrieben wird.

Durch Antrieb des Ph mit einer der Schlüpfung der VM proportionalen Drehzahl wie beim FW nach DRP No. 482 302 wird eine der Schlüpfung und dem Sekundärstrom proportionale Blindspannung erzeugt. Die Verwendung eines Ph beliebiger Drehzahl wurde bereits in DRP No. 484 040 vorgeschlagen.

510 476 Gr. 27 SSW 23. 8. 1928. Schenkel.

Bei aufgehobenem induktivem Widerstand im Erregerkreis wird der Erregerstrom durch den schwankenden Bürstenübergangswiderstand stark beeinflusst. Um das Verhältnis der Klemmenspannungen verschiedener Maschinen einer Kaskade unabhängig von Betriebszuständen auf einem konstanten Wert zu halten, werden diese zusätzlich auf induktivem, konduktivem oder kapazitivem Wege miteinander gekuppelt, beispielsweise induktiv durch einen Transformator T in Figur 86, wobei durch den Ausgleichsstrom, wenn nötig durch zusätzliche Impedanzen in seinem Stromkreis, die Spannungsabfälle konstant gehalten werden.

511 232 Gr. 27 SSW 13. 5. 1927. Livschitz.

Der induktive Spannungsabfall im Erregerkreis veränderlicher Frequenz wird durch eine KM kompensiert, die mit einer der Schlüpfung proportionalen Drehzahl angetrieben und mit einer der Schlüpfung proportionalen Spannung erregt wird. Sie erzeugt somit bei überwiegend Ohmschem Widerstand ihres Erregerkreises eine dem Quadrat der Schlüpfung proportionale Spannung, die wie in DRP 487 125 (S. 122) erwähnt bei Drehzahlregelung näherungsweise dem induktiven Spannungsabfall der Erregerwicklung entspricht.

512 047 Gr. 27 SSW 16. 12. 1926.

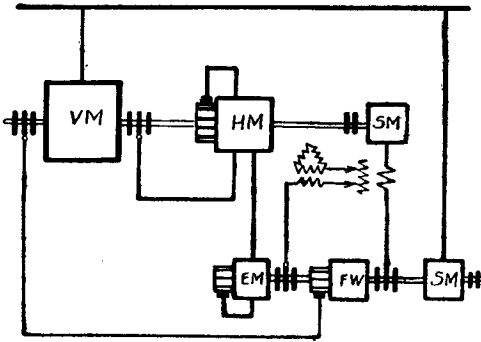
Zur Einführung einer der Frequenz und dem Strom eines Stromkreises proportionalen Spannung ist in diesen Stromkreis ein möglichst rückwirkungsloser, als Drehtransformator ausgebildeter Stromtransformator eingeschaltet, dessen Sekundärspannung über Ohmsche Widerstände, bei großer Leistung außerdem unter Zwischenschaltung einer besonderen EM, der Erregerwicklung einer mit konstanter oder annähernd konstanter Drehzahl angetriebenen kompensierten KM zugeführt wird (Figur 87).

Eine Umschaltung der Spannung beim Durchgang durch Synchronismus erübrigt sich, indem der Drehtransformator so ausgebildet wird, daß er sich durch sein eigenes Drehmoment oder einen an die Schleifringe der VM angeschlossenen Motor beim Durchgang durch Synchronismus selbsttätig um 180° dreht.

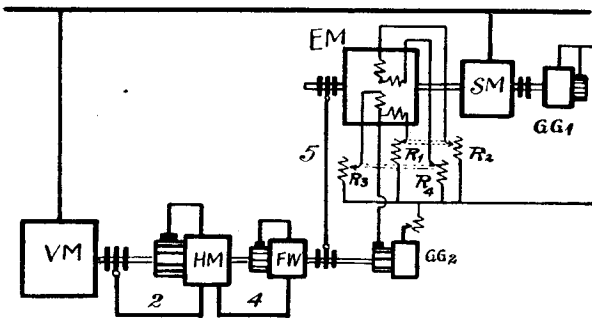
Ist der Widerstand R_5 groß gegenüber der Reaktanz sX_5 , so wird der Strom \mathfrak{I}_5 näherungsweise

$$\mathfrak{I}_5 = \frac{-sX_{45} \mathfrak{I}_4}{R_5} \quad (245)$$

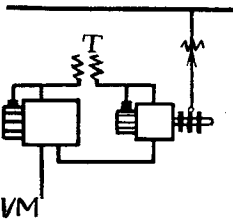
und die Spannung \mathfrak{E}_4 der KM bei konstanter Antriebsdrehzahl wird proportional der Reaktanzspannung des Erregerkreises (4). Damit wird der Erregerstrom direkt proportional der aufgedrückten Spannung.



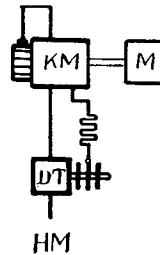
Figur 84: Schema zu DRP 508 494.



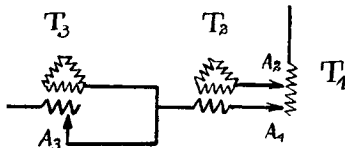
Figur 85: Schema zu DRP 509 278.



Figur 86: Induktive Kupplung zweier Maschinen einer Kaskade gemäß DRP 510 476.



Figur 87: DRP Schema zu 512 047.



Figur 88: Schema zu DRP 515 477.

512 809 Gr. 29 SSW 5. 5. 1927. Z. z. 486 653.

Liuschitz und Kozisek. M. Z. 525 755, 533 144.

In der Anordnung nach dem Hauptpatent wird der eine der beiden FW — praktisch kommt nur FW₂ in Frage (Figur 75, S. 125), da FW₁ infolge der geringen Frequenz nicht schleifringseitig erregt werden kann — mit einer Kompensationswicklung versehen. Dadurch vermindert sich die Leistung des Stromtransformators und des andern FW im Verhältnis des Magnetisierungsstromes des zweiten FW zu seinem Gesamtstrom.

Der Stromtransformator ist erfindungsgemäß weiter so bemessen, daß die durch die Drehzahländerungen der mechanisch mit der VM gekuppelten HM bedingten Spannungsabfälle aufgehoben werden, oder endlich so, daß die VM kompondiert wird.

515 477 Gr. 27 SSW 24. 7. 1929. Harz und Rodenwald.

Um in den Schlupffrequenz führenden Stromkreis einer ständer-erregten HM mehrere Regelspannungen einzuführen, die nach einer Potenzfunktion voneinander abhängig und unter beliebigem Phasenwinkel zusammengesetzt sind, und die je in einem besonderen Transformator erzeugt werden, werden die Erregerwicklungen des potenzhöheren Transformators an die jeweiligen potenzniedrigere Regelspannung des vorangehenden Transformators angeschlossen und die Regelorgane der beiden Transformatoren in gegenseitiger Abhängigkeit verstellt. Die Erregung der HM erfolgt dabei durch einen FW, dessen Netzfrequenzseite von zwei Regeltransformatoren gespeist wird, von denen der eine die Ohmsche, der andere die induktive Spannungskomponente für die Erregerwicklung der HM liefert, indem der zweite Transformator seine Erregung von der geregelten Spannung des ersten erhält (Figur 88) und seine wirksame Windungszahl proportional der Windungszahl des ersten verändert wird.

Der Transformator T₁ deckt den Ohmschen Abfall der drehzahlregelnden, der von diesem gespeiste Transformator T₂ den Ohmschen Abfall der kompensierenden Spannungskomponente. Im Transformator T₃ wird eine zur resultierenden Spannung senkrechte Spannung erzeugt, die infolge zwangsläufiger Verbindung der Gleitkontakte A₁ und A₃ dem Quadrat der ersten Spannung proportional ist und damit angenähert die induktiven Spannungsabfälle im Erregerkreis der HM deckt.

Durch diese Anordnung wird die Richtung der in der HM induzierten Spannungskomponente unabhängig von den mit der Drehzahlregelung verbundenen Aenderungen der Schlüpfung. Durch zwei zu den drehzahlregelnden Spannungskomponenten senkrecht stehende und diesen proportionale Spannungen wird in der HM eine der Leerlaufschlüpfung proportionale Kompensationsspannung erzeugt, wie sie zur Phasenkompensation bei gleichzeitiger Drehzahlregelung erforderlich ist. Bei Verwendung einer besondern vom FW im Ständer erregten EM, die ihrerseits die HM erregt, wird durch einen weitem Transformator,

der eine der dritten Potenz proportionale Spannung erzeugt, die Phase der Spannung der HM konstant gehalten.

Die Anordnung besitzt den Vorteil, daß in den niederfrequenten Stromkreisen keine besondern Maschinen oder Transformatoren vorhanden sind, die sonst meist sehr groß ausfallen. Alle induktiven Gegenspannungen werden bereits im Netzfrequenz führenden Stromkreis der Erregertransformatoren erzeugt. Es werden jedoch nur Reaktanzspannungen aufgehoben, die der durch die Drehzahlregelung bedingten Schlüpfung proportional sind. Die durch die Belastung der VM bedingten Aenderungen der Reaktanz, die eine bei großen Schlüpfungen allerdings nur unbedeutende Phasenverschiebung der in der HM erzeugten Spannung gegenüber der konstanten Erreger Spannung erzeugen, können durch diese Schaltung nicht aufgehoben werden.

518 661 Gr. 27 AEG 18. 5. 1930. Weiler.

In einer ständererregten KM, deren Erregerwicklung über Ohmsche Widerstände von einer Hilfswicklung im Ständer der HM erregt wird, wird eine der Frequenz und der Größe des Hauptfeldes der HM d. h. auch dem Erregerstrom proportionale Spannung erzeugt, die die Reaktanzspannungen des Erregerkreises vollständig aufheben kann.

525 755 Gr. 27 SSW 11. 10. 1927. Liuschütz. Z. z. 512 809.

Zur Verminderung der Leistung des Stromtransformators (HT₁ in Figur 75¹⁾) wird der eine der beiden oder beide FW, insbesondere derjenige ohne Kompensationswicklung mit einer an den Kommutator angeschlossenen Nebenschluß-Erregerwicklung (9) im Ständer ausgerüstet.

Die Leistung des Stromtransformators vermindert sich dadurch um die durch diese Wicklung im Läufer des FW induzierte Leistung. Die Erregerleistung der Ständerwicklung ist allerdings stets zusätzlich durch den Stromtransformator zu tragen.

528 834 Gr. 28 SSW 26. 4. 1927. Ossanna, Graner, Hofmann.

In den Stromkreis veränderlicher Frequenz wird die Primärwicklung einer fremdangetriebenen AM geschaltet, deren Sekundärwicklung mit Kondensatoren oder kondensatorisch wirkenden Maschinen belastet ist. Der Primärstrom dieser AM besitzt die Frequenz $s\omega_1$, die Rotationsgeschwindigkeit des Läufers sei $t\omega_1$; dann wird die Frequenz des Läuferstromes $(s - t)\omega_1$, und die im Kondensator induzierte Spannung beträgt:

$$\mathcal{E}_c = \frac{-1}{(s - t)\mathcal{C}} \mathcal{S}_2 \quad (246)$$

Die Gleichungen für den Primär- und Sekundärkreis der AM lauten:

¹⁾ Seite 125.

$$U_1 = (R_1 + sX_1) \mathfrak{I}_1 + sX_{21} \mathfrak{I}_2 \quad (247)$$

$$\mathfrak{E}_c = U_2 = (s-t) X_{12} \mathfrak{I}_1 + \{R_2 + (s-t) X_2\} \mathfrak{I}_2 \quad (248)$$

Aus diesen drei Gleichungen ergibt sich durch Elimination von \mathfrak{E}_c und \mathfrak{I}_2 die scheinbare primäre Impedanz der AM zu:

$$\mathfrak{Z}_I = \frac{U_1}{\mathfrak{I}_1} = R_1 + sX_1 - sX_{21} X_{12} \frac{(s-t)}{\frac{1}{(s-t)\mathfrak{C}} + R_2 + (s-t)X_2} \quad (249)$$

Eine Zerlegung nach der reellen und der imaginären Axe ohne Berücksichtigung der Eisenverluste ergibt:

$$\mathfrak{Z}_I = R_1 + jX_1 + \frac{s(s-t)X_{12}X_{21}}{R_2^2 + \left\{ (s-t)X_2 - \frac{1}{(s-t)C} \right\}^2} \left\{ R_2 - j \left\{ (s-t)X_2 - \frac{1}{(s-t)C} \right\} \right\} \quad (250)$$

Wird diese AM mit der Drehzahl der VM angetrieben, so wird bei Drehrichtung entgegen der Drehrichtung ihres Ständerdrehfeldes $t = -(1-s)$, und ihre primäre Reaktanz wird:

$$X_I = s \left(X_1 + \frac{X_{12}X_{21}}{R_2^2 + \left(\frac{1}{C} - X_2 \right)^2} \left(X_2 - \frac{1}{C} \right) \right) \quad (251)$$

Bei geeigneter Größe von C wird diese der Schlüpfung stets proportionale Reaktanz negativ, sie ist geeignet, die positiven Reaktanzen des Stromkreises bei jeder Schlüpfung aufzuheben.

Als Nachteil dieser Schaltung ist die Veränderlichkeit des scheinbaren primären Widerstandes der AM anzuführen. Nach der Patentschrift soll zur Verminderung dieses Uebelstandes die AM mit konstanter Drehzahl angetrieben werden, derart, daß die Sekundärfrequenz ein mehrfaches der Schlüpfungsfrequenz beträgt. Die Schwankungen des Ohmschen Widerstandes werden dadurch kleiner (vgl. Gleichung 250); die Reaktanz ist aber nun nicht mehr der Schlüpfung proportional. Ein weiterer, bei kleinem Widerstand im Sekundärkreis leicht gefährlicher Nachteil, der in der Patentschrift nicht erwähnt wird, ist die Möglichkeit der Selbsterregung, da mit zunehmender Schlüpfung der primäre Widerstand durch das negative reelle Glied des dritten Summanden in Gleichung 250 aufgehoben werden kann. Die Hilfsasynchronmaschine arbeitet dann als selbsterregter Asynchrongenerator.

533 144 Gr. 29 SSW 24. 12. 1927. *Liwschitz. Z. z. 512 809.*

In den Sekundärstromkreis des in den Stromkreis veränderlicher Frequenz geschalteten Stromtransformators wird ein weiterer Stromtransformator (HT_2 in Figur 75¹⁾) geschaltet, dessen Sekundärwicklung

¹⁾ Seite 125.

über Ohmsche Widerstände eine Erregerwicklung an einem der beiden FW speist. Da der Sekundärstrom des ersten Stromtransformators (HT_1) proportional dem Erregerstrom der HM ist, wird derjenige des zweiten Stromtransformators (HT_2) und damit auch die im FW induzierte Spannung proportional dem Erregerstrom und der Schlüpfung. Die Größe dieser Spannung wird so bemessen, daß sie die in der Kompensationswicklung des einen FW induzierte Reaktanzspannung gerade aufhebt.

Dasselbe Verfahren kann auch angewendet werden, wenn der zweite FW durch einen IFW ersetzt wird. In diesem Fall werden seine beiden Ständerwicklungen über Ohmsche Widerstände von den beiden Sekundärwicklungen der beiden Stromtransformatoren erregt, so daß an seinem Läufer dieselben Spannungen abgenommen werden können.

6. Selbsterregte Kommutatormaschinen mit induktiv erregter Ständerwicklung.

Erst einige Jahre nach dem Aufkommen der ausschließlich zur Phasenkompensation dienenden, eigen- und fremderregten, *läufergespeisten* HM wurde die Verwendung der bereits bekannten KM als HM zur Phasenkompensation oder Drehzahlregelung vorgeschlagen. Zuerst für direkte Kupplung mit der VM (148 305, 169 453), dann nur elektrisch gekuppelt (179 525) und durch eine besondere am Netz liegende Maschine angetrieben oder belastet.

Die ersten Patente reichen immerhin ziemlich weit zurück. Trotzdem haben diese Maschinen, die infolge Fehlens einer besondern EM stets einfacher als eine im Ständer fremderregte HM sind, sich nur ganz langsam durchzusetzen vermocht. So ist z. B. die durch DRP 232 282 bereits 1909 angemeldete kompensierte Nebenschluß-KM 1921 erst in einer Versuchsausführung vorhanden (L. 17). Dies dürfte vor allem daran liegen, daß bei nicht genauer Dimensionierung besonders bei der serieerregten Maschine die Gefahr der Selbsterregung mit Gleichstrom unter kurzschlußartigen Erscheinungen besteht. Für die Phasenkompensation auch bei gleichzeitiger Drehzahlregelung sind die selbst-erregten KM, wie im folgenden dargelegt, prinzipiell sehr geeignet.

Bei großem Regelbereich ändert sich allerdings der Leistungsfaktor bei gewöhnlicher KM stark mit der Belastung. Zur Vermeidung dieses Uebelstandes dient eine besondere Abstimmung des Erregerkreises (232 282, 515 915), eine zusätzliche Hauptstromwicklung (250 369), oder die Verwendung mehrerer Einphasenmaschinen, die sich gegenseitig in geeigneter Weise erregen (174 247, 193 875) und gleichzeitig eine bei großem Regelbereich unter Umständen erwünschte Unterteilung der pro KM zu regelnden Leistung bringen.

Die mit den Schwankungen des Uebergangswiderstandes unter den Arbeitsbürsten verknüpften störenden Schwankungen des Erregerstromes werden durch Hilfsrergerbürsten vermieden (232 664). Durch Vereinigung mit einer AM kann die HM selbstlaufend gemacht werden (274 548).

Der Synchronismus der VM wird durch Gleichstromselbsterregung durchschritten, dabei ist die Spannung der HM durch geeignete Wahl der Sättigung zu stabilisieren (311 952). Durch die Sättigung kann auch der Verlauf des Leistungsfaktors mit der Belastung beeinflusst werden (250 725).

Weiter werden verschiedene Regelverfahren und Schaltungen der Erregerwicklung angegeben (242 375, 252 170, 489 710, 519 424). Eine spezielle Maschine mit in Stern geschalteter Kommutatorwicklung (232 281) hat keine Bedeutung erlangt, wohl vor allem wegen Schwierigkeiten in der Kommutation.

148 305 Gr. 27 *Bragstad und la Cour.* 15. 5. 1902.

Zur Erregung einer AM wird die induzierte Wicklung einer mit dieser mechanisch gekuppelten, selbsterregten KM mit Hauptschluß-, Nebenschluß- oder Kompounderregung mit der Sekundärwicklung der VM in eine Reihe geschaltet.

Die HM nimmt mit ihrem Drehmoment an der Leistung des Aggregates teil. Zum Anlauf der VM soll sie abgeschaltet werden. Eine Drehzahlregelung ist nicht vorgesehen (Gleichungen und Diagramm siehe im Folgenden unter DRP 169 453).

169 453 Gr. 27 *FGL* 19. 3. 1905. *M. Z.* 174 247.

Zur Drehzahlregelung einer AM wird ihr Sekundärstrom einer mit ihr mechanisch gekuppelten KM zugeführt.

Diese Anordnung entspricht genau derjenigen des vorangehenden Patentes, nur daß die HM zur Drehzahlregelung verwendet wird und entsprechend größer auszulegen ist.

Bei *Hauptschluß*-Erregung wird der Erregerstrom der HM $\mathfrak{I}_3 = \mathfrak{I}_2$, und damit ihre Läuferspannung:

$$\mathfrak{E}_3 = t \mathfrak{X}_{43} e^{-j\alpha} \mathfrak{I}_4 \quad (252)$$

Für die mechanisch gekuppelte HM nach Bragstad und la Cour wird $t = 1 - s$, für die elektrisch gekuppelte HM nach Scherbius (DRP 179 525) wird bei mit dem Netz synchron laufender HM $t = 1$. Die Kompensationsspannung ist demnach eine sekundäre Hauptstromspannung, deren Richtung gegenüber dem Sekundärstrom durch die Anordnung der Wicklungsaxen beliebig gewählt werden kann. Für $0 < \alpha < \pi$ besteht die Möglichkeit der Selbsterregung, da die induzierte Spannung eine Komponente in Richtung der Ohmschen Spannungsabfälle des Sekundärstromes besitzt.

Bei *Nebenschluß*-Erregung ist die Schleifringspannung der VM, die der Klemmenspannung der HM entgegengerichtet ist, Erregerspannung. Sie beträgt:

$$U_2 = -s \mathcal{E}_{20} + (R_2^* + s \mathcal{B}_{2\infty}^*) \mathcal{J}_2 \quad (253)$$

R_2^* und $Z_{2\infty}^*$ bezeichnen den Ohmschen Widerstand und die scheinbare Kurzschlußimpedanz der VM allein, während in den Größen $R_2 = R_2^* + R_3$ und $\mathcal{B}_{2\infty} = \mathcal{B}_{2\infty}^* + \mathcal{X}_3 \sigma$ stets Ohmscher Widerstand und Streureaktanz des Arbeitskreises der HM inbegriffen sind.

Der Erregerstrom wird

$$\mathcal{J}_4 = \frac{U_2}{R_4 + s \mathcal{X}_4} \quad (254)$$

Die in der HM induzierte Spannung berechnet sich damit zu

$$\mathcal{E}_3 = t \mathcal{X}_{43} e^{-j\alpha} \frac{(R_2^* + s \mathcal{B}_{2\infty}^*) \mathcal{J}_2 - s \mathcal{E}_{20}}{R_4 + s \mathcal{X}_4} = \mathcal{E}_{3N} + \mathcal{E}_{3H} \quad (255)$$

Sie besteht aus einer Nebenschlußkomponente

$$\mathcal{E}_{3N} = \frac{-t \mathcal{X}_{43} e^{-j\alpha} s \mathcal{E}_{20}}{R_4 + s \mathcal{X}_4} \quad (256)$$

und einer sekundären Hauptstromkomponente

$$\mathcal{E}_{3H} = \frac{t \mathcal{X}_{43} e^{-j\alpha} (R_2^* + s \mathcal{B}_{2\infty}^*) \mathcal{J}_2}{R_4 + s \mathcal{X}_4} \quad (257)$$

Das Größenverhältnis der beiden Spannungen beträgt

$$\frac{\mathcal{E}_{3N}}{\mathcal{E}_{3H}} = \frac{s \mathcal{E}_{20}}{(R_2^* + s \mathcal{B}_{2\infty}^*) \mathcal{J}_2} = \frac{\mathcal{E}_2 \mathcal{E}_{20}}{\mathcal{B}_2 \mathcal{J}_2} \quad (258)$$

Die Faktoren \mathcal{E}_2 und \mathcal{B}_2 sind nur von der Schlüpfung und den Konstanten der VM abhängig.

Für *große* Schlüpfungen der VM wird $s \mathcal{X}_4 > R_4$ und weiter $\frac{R_2^*}{s} > E_{20}$ und $\frac{R_2^*}{s} > Z_{2\infty}^*$. Somit ist angenähert

$$\mathcal{E}_3 = \frac{t \mathcal{X}_{43} e^{-j\alpha}}{X_4} \{ \mathcal{B}_{2\infty}^* \mathcal{J}_2 - \mathcal{E}_{20} \} = \mathcal{B}_{20} \mathcal{J}_2 + \mathcal{E}_{20} \mathcal{E}_{20} \quad (259)$$

Unter diesen Voraussetzungen besteht die Kompensationsspannung aus einer konstanten Nebenschluß- und einer sekundären Hauptstromkomponente. Als Admittanzdiagramm der VM ergibt sich ein Kreis. Für $\alpha = 0$ wird durch die Nebenschlußkomponente die Schlüpfung vergrößert, für $\alpha = \pi$ verkleinert. Die Hauptstromkomponente beträgt in diesen Fällen

$$\mathcal{E}_{3H} = \pm t \frac{\mathcal{X}_{43}}{\mathcal{X}_4} \mathcal{B}_{2\infty}^* \mathcal{J}_2 = \pm \mathcal{B}_{20} e^{j\zeta_{2\infty}} \mathcal{J}_2 \approx \pm j \mathcal{B}_{20} \mathcal{J}_2 \quad (260)$$

Sie hat somit gerade diejenige Richtung, welche für eine günstige Lage des Mittelpunktes des Admittanzkreises als vorteilhaft erkannt wurde. Weiter ergibt sich aus Gleichung 258 unter denselben Vernachlässigungen $\mathfrak{B}_2 = -\mathfrak{G}_2 \mathfrak{B}_{2\infty}$; somit wird die Richtung des Mittelpunktvektors angenähert

$$\mathfrak{B} = -j(1 - \sigma \mathfrak{G}_2) \quad (261)$$

Die Spannung der HM hat somit, besonders bei elektrischer Kupplung und Antrieb mit konstanter Drehzahl ($\sigma = 0$), die richtige Größe, um auch bei großen Abweichungen vom Synchronismus einen Stromkreismittepunkt in der Nähe der imaginären Axe zu erhalten.

Für *kleine* Schlüpfungen der VM wird im Gegensatz zu den vorangehenden Annahmen $s \mathfrak{X}_4 < R_4$, und die Kompensationsspannung wird näherungsweise

$$\mathfrak{G}_3 = t \frac{\mathfrak{X}_{43}}{\mathfrak{X}_4} e^{-j\alpha} \{(R_2^* + s \mathfrak{B}_{2\infty}^*) \mathfrak{J}_2 - s \mathfrak{G}_{20}\} \quad (262)$$

Die Kompensationsspannung besteht in diesem Fall aus einer variablen Nebenschluß- und einer konstanten und variablen Hauptstromkomponente.

Dieser Spannung entspricht wieder ein Kreisdiagramm, das nun aber nur für kleine Schlüpfungen gültig ist. Nebenschluß- und Hauptstromspannung haben ihren Einfluß auf Leistungsfaktor und Drehzahl der VM vertauscht, da die Nebenschlußspannung sich für konstanten

Winkel α um $\frac{\pi}{2}$, die Hauptstromspannung um einen etwas kleinern Winkel in der Phase verschoben haben. In unmittelbarer Nähe von Synchronismus ist ein stabiler Betrieb nicht möglich (vgl. DRP 232 282).

Die für alle Schlüpfungen gültige Spannungsgleichung für den Sekundärkreis ergibt sich aus Gleichung 253 und 255 zu

$$s \mathfrak{G}_{20} - \frac{t \mathfrak{X}_{43}}{R_4 + s \mathfrak{X}_4} e^{-j\alpha} \{s \mathfrak{G}_{20} - (R_2^* + s \mathfrak{B}_{2\infty}^*) \mathfrak{J}_2\} = (R_2 + s \mathfrak{B}_{2\infty}) \mathfrak{J}_2 \quad (263)$$

Dabei wurde der Spannungsabfall in der HM so berechnet, wie wenn deren Läufer den Sekundärstrom führen würde. Das Spannungsdiagramm ist in Figur 89 dargestellt. Das genaue Stromdiagramm kann daraus punktweise konstruiert werden.

174 247 Gr. 27 FGL 4. 7. 1905. Z. z. 169 453.

Bei der Geschwindigkeitsregelung mit Kaskaden nach dem Hauptpatent nimmt der Leistungsfaktor der VM mit zunehmender Belastung der HM ab, da sich der Erregerstrom und damit auch die induzierte Spannung mit zunehmender Schlüpfung im Sinn der Nacheilung drehen.

Um dies zu vermeiden, sollen mehrere miteinander gekuppelte und mit dem mehrphasigen Sekundärteil der VM in Kaskade geschaltete Einphasenmaschinen im Nebenschluß so erregt werden, daß „die Spannungen an den Magnetspulen senkrecht zu den zugehörigen Anker-

spannungen stehen“. Mit den Bezeichnungen der Figur 90 induziert bei zweiphasigem Sekundärkreis der VM die Feldwicklung der Maschine I im Anker die Rotationsspannung

$$\mathcal{E}_3 = t X_{43} e^{j \frac{\pi}{2}} \mathfrak{J}_4' \quad (264)$$

Dabei sind Spannungen und Ströme der zweiten Phase durch ' von den entsprechenden Größen der ersten Phase unterschieden. Die Feldwicklung liegt an der Klemmenspannung U_3' der Maschine II, die der Klemmenspannung der Maschine I um 90° nacheile:

$$U_3' = -j U_3 \quad (265)$$

Für die zweite Maschine ergeben sich infolge Umkehrung der Axenrichtung der Feldwicklung im Raum-Zeit-Diagramm dieselben Verhältnisse.

Der Erregerstrom der ersten Maschine wird:

$$\mathfrak{J}_4' = \frac{-j U_3}{R_4 + j s X_4} \quad (266)$$

Unter Vernachlässigung der Spannungsabfälle im Läufer der HM ist \mathcal{E}_3 die den Schleifringen der VM aufgedrückte Spannung:

$$\mathcal{E}_3 \approx U_2 = (R_2^* + s \mathfrak{B}_{2\infty}^*) \mathfrak{J}_2 - s \mathcal{E}_{20} \quad (267)$$

Durch Elimination des Erregerstromes ergibt sich die Kompensationsspannung zu

$$\mathcal{E}_3 = \frac{-t X_{43}}{R_4 + s X_4} \{s \mathcal{E}_{20} - (R_2^* + s \mathfrak{B}_{2\infty}^*) \mathfrak{J}_2\} \quad (268)$$

Das ist dieselbe Gleichung, wie sie auch für die mehrphasige KM für $\alpha = \pi$ gilt (vgl. DRP 169 453). Die Verwendung mehrerer Einphasenmaschinen bietet somit in dieser Hinsicht keine Vorteile gegenüber der mehrphasigen KM nach dem Hauptpatent.

Zur Berücksichtigung der Spannungsabfälle im Läufer der HM, die bisher vernachlässigt wurden, ist in Gleichung 267 statt der Hauptfeldspannung \mathcal{E}_3 der HM ihre Klemmenspannung

$$U_3 = -\mathcal{E}_3 + (R_3 + s X_3) \mathfrak{J}_3 \quad (269)$$

einzuführen und der Ankerstrom \mathfrak{J}_3 zu berechnen als Differenz von Sekundärstrom und Erregerstrom:

$$\mathfrak{J}_3 = \mathfrak{J}_2 - \mathfrak{J}_4' \quad (270)$$

Anhand der Spannungsgleichung sei noch auf das Spannungsdiagramm hingewiesen, das bei entsprechendem Axenwinkel zwischen Bürsten und Erregerwicklung auch für die mehrphasigen KM Gültigkeit hat.

Für *kleine Schlüpfungen* wird näherungsweise:

$$\mathcal{E}_3 \approx \frac{-t X_{43}}{R_4} \{s \mathcal{E}_{20} - (R_2^* + s \mathcal{B}_{2\infty}^*) \mathfrak{J}_2\} \quad (271)$$

Für $t < 0$ wirkt die Nebenschlußkomponente dieser Spannung kompensierend, die Hauptstromkomponente ist ihr vorwiegend entgegen gerichtet (Figur 91). Für $t > 0$ vertauschen die beiden Spannungen ihre Rollen. Der Winkel zwischen \mathcal{E}_{3N} oder \mathcal{E}_{3H} und $s \mathcal{E}_{20}$ beträgt stets 90° .

In Figur 92 ist das Spannungsdiagramm unter Vernachlässigung der Spannungsabfälle in der HM dargestellt. Der Sekundärstromkreis bleibt im allgemeinen hinter der sekundären Stillstandsspannung zurück, da für $t > 0$ die Nebenschlußkomponente der Kompensationsspannung nur bei großem Spannungsabfall im Anker der HM zur Kompensation genügend groß wird und für $t < 0$ die durch die Hauptstromkomponente vergrößerte Schlüpfung die der Kompensation entgegenwirkende Nebenschlußkomponente größer als die Hauptstromkomponente macht.

Für *große Schlüpfungen* wird näherungsweise:

$$\mathcal{E}_3 \approx - \frac{t X_{43}}{X_4} \{ \mathcal{E}_{20} - \mathcal{B}_{2\infty}^* \mathfrak{J}_2 \} \quad (272)$$

Die konstante Hauptstromkomponente fällt für $t > 0$ mit der Spannung $s \mathcal{B}_{2\infty}^* \mathfrak{J}_2$ zusammen und ist annähernd gleich groß, da infolge der drehzahlregelnden Wirkung der Nebenschlußkomponente näherungsweise $t \frac{X_{43}}{X_4} \mathcal{E}_{20} \approx s \mathcal{E}_{20}$ ist. Durch die Hauptstromspannung werden somit die induktiven Spannungsabfälle im Sekundärkreis der VM fast aufgehoben. Der Sekundärstrom besitzt stets nur geringe Nacheilung hinter der sekundären Stillstandsspannung. Figur 92.

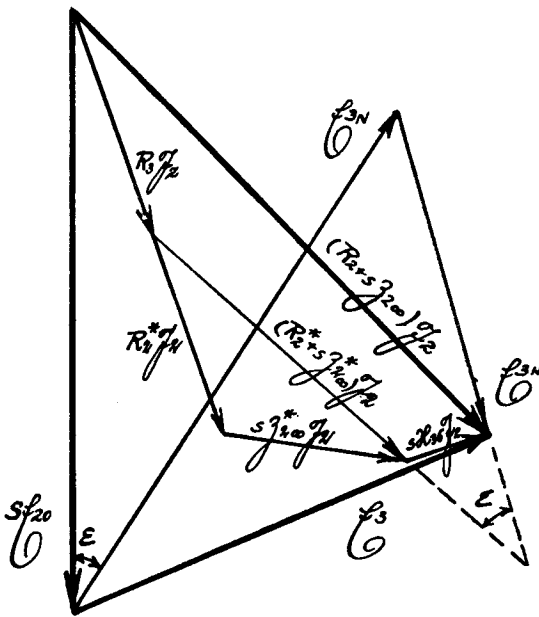
Der Leistungsfaktor wird somit wohl fast unabhängig von der durch die HM eingestellten Drehzahl. Der Primärstrom bleibt aber stets nacheilend, da keine Voreilung von \mathfrak{J}_2 gegen \mathcal{E}_{20} erreicht werden kann.

179 525 Gr. 30 Scherbius 19. 7. 1905.

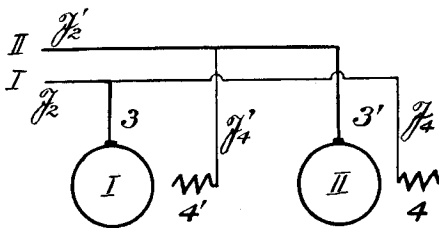
Die HM, die zur Drehzahlregelung dient, wird nur elektrisch mit der VM gekuppelt und steht mit einer mit ihr mechanisch gekuppelten Belastungsmaschine in Leistungsaustausch.

Die von der Drehzahl der VM unabhängige, annähernd konstante Drehzahl der HM erlaubt, diese bei langsamlaufender VM mit einer höhern Drehzahl als die VM zu betreiben, dagegen nimmt die HM jetzt am Drehmoment der Kaskade nicht mehr teil, so daß bei geringen Drehzahlen das Drehmoment nicht erhöht werden kann.

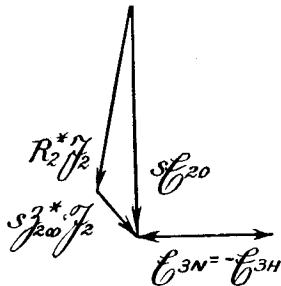
Wo es sich jedoch nur um Phasenkompensation handelt, bietet die Aufstellung der HM unabhängig von der VM meist Vorteile, die die Kosten der Anschaffung einer besondern Antriebsmaschine überwiegen.



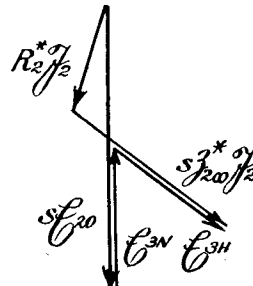
Figur 89: Spannungsdiagramm der Kaskade mit eigenerregter Nebenschluß-Kommutatormaschine. (DRP 169 453.)



Figur 90: Schaltung der Erregerwicklungen der beiden Einphasen-Nebenschluß-KM nach DRP 174 247.



Figur 91. Spannungsdiagramm für kleine Schlüpfungen (DRP 174 247).



Figur 92. Spannungsdiagramm für große Schlüpfungen (DRP 174 247).

193 875 Gr. 27 Scherbius 27. 7. 1906.

In jede Phase des mehrphasigen Läufers der VM wird eine Einphasen-Serie- oder Nebenschluß-KM geschaltet, deren Feld von mindestens zwei Phasen derart erregt wird, daß die VM kompensiert wird.

Die Wirkung mehrerer Einphasenmotoren ist dieselbe wie die eines Mehrphasenmotors. Vorteile bieten die leichte Einstellbarkeit der Feldaxe und bei großen Leistungen die geringere Leistung pro Maschine und Kommutator.

232 281 Gr. 2 WEC 31. 12. 1909.

Als HM wird eine Mehrphasen-Reihenschluß-KM verwendet mit in Stern geschalteter offener Läuferwicklung, deren Arme aus zwei in Serie geschalteten, um eine Polteilung gegeneinander versetzten Teilen bestehen, und deren Sternpunkt mit dem Sternpunkt der Sekundärwicklung der VM verbunden ist. Die Maschine besitzt einen Pol pro Polpaar und Phase. Die Bürsten überdecken infolge der Sternschaltung der Spulen sämtliche unter einem Pol liegenden Lamellen des Kommutators, was dessen Größe günstig beeinflussen soll.

Wegen der schlechten Ausnützung und vor allem der ungünstigen Kommutation hat diese Maschine keine Bedeutung erlangt.

232 282 Gr. 28 BBC 2. 11. 1909. M. Z. 232 664 und 250 369.

Zur selbsttätigen richtigen Kompensation der VM werden die Ohmschen und induktiven Widerstände des Nebenschluß-Erregerkreises der HM so gegeneinander abgestimmt, daß sich die Phasenverschiebung zwischen Feld und Klemmenspannung der HM annähernd proportional der Schlüpfung der VM und in solcher Größe ändert, daß diese stets richtig kompensiert wird.

Im Anschluß an DRP 169 453 wurden die Gleichungen der Nebenschluß-KM aufgestellt. Für große Schlüpfungen ergab sich dabei von selbst eine günstige Lage des Admittanzdiagrammes. Wird die HM nur zur Phasenkompensation verwendet, so arbeitet diese jedoch gerade in jenem Gebiet, in dem sowohl Ohmscher wie induktiver Widerstand des Erregerstromkreises zu berücksichtigen sind.

In Figur 89 wurde das genaue Spannungsdiagramm dargestellt. Gemäß Gleichungen 256—57 ändert sich die Nebenschlußkomponente der Kompensationsspannung mit der Schlüpfung, die Hauptstromkomponente mit der Schlüpfung und dem Sekundärstrom der VM. Beide Komponenten drehen sich dabei mit abnehmender Schlüpfung in voreilem Sinn; die Nebenschlußkomponente nach dem Verhältnis von Reaktanz zu Ohmschem Widerstand des Erregerkreises, die Hauptstromkomponente außerdem nach dem Verhältnis von X_2 zu $R_2^* + R_{2\infty}^*$. Durch geeignete Abstimmung dieser beiden Größen soll nun diese Drehung so geregelt werden, daß die VM bei verschiedenen Belastungen stets möglichst vollständig kompensiert wird. Die Abstimmung dürfte jedoch durch

das durch die Konstanten der VM gegebene, ebenfalls von der Schlüpfung abhängige Größenverhältnis der beiden Spannungskomponenten, erschwert oder gar verunmöglicht werden. (Vgl. Zusatzpatent 250 369.)

232 664 Gr. 28 BBC 9. 4. 1910. Z. z. 232 282.

Die Erregerspannung wird am Kommutator von besonderen Hilfsbürsten abgenommen, die zweckmäßig etwas schmaler als die Hauptbürsten sind, so daß sie an der Kommutation nicht teilnehmen.

Diese Hilfsbürsten gestatten die Abnahme einer von den Schwankungen des Uebergangswiderstandes unter den Arbeitsbürsten fast unabhängigen Erregerspannung, wodurch die genaue Einstellung erleichtert oder bei kleinen Spannungen überhaupt erst ermöglicht wird.

242 375 Gr. 29 SSW 29. 8. 1909. Z. z. 235 040 (Abschnitt 2).

Der den Schleifringen der VM entnommene Sekundärstrom wird zur Drehzahlregelung und Kompoundierung statt durch einen FW wie nach dem Hauptpatent durch eine mit konstanter oder annähernd konstanter Drehzahl laufende Motor-Generator-Gruppe auf Netzfrequenz umgeformt.

Die Erregung der HM erfolgt entweder wie nach dem Hauptpatent über einen Nebenschlußtransformator und einen Serietransformator, welche beide im Sekundärkreis liegen und daher ziemlich groß werden, oder durch einen Serietransformator und die Spannung eines mit der VM synchron laufenden FW (Figur 93). In diesem Fall unterscheidet sich die Anordnung im wesentlichen nur durch den Kompoundierungstransformator von der fremderregten HM nach DRP 191 859.

Der Vorteil der Anordnung gegenüber dem Hauptpatent liegt vor allem in der asynchronen Drehzahl der HM und deren leichterem Kommutation.

250 333 Gr. 2 BBC 12. 4. 1910. M. Z. 252 170.

Zur Regelung der Periodenzahl und Spannung bei selbsterregten Kommutatorgeneratoren wird jeder Pol von zwei Wicklungen erregt, die an zwei gegeneinander in der Phase um 90° verschobene Spannungen gelegt sind. (Vgl. S. 59.) Für Dreiphasenstrom wird die erste Wicklung an die Stern-, die andere an die verkettete Spannung gelegt.

250 369 Gr. 28 BBC 30. 10. 1910. Z. z. 232 282.

Nach den Angaben im Hauptpatent ist bei Verwendung einer normalen Nebenschluß-KM die Verdrehung der Spannung mit zunehmender Schlüpfung zu groß. Es scheint daher einfach, auch die Streuspannungen der VM zu kompensieren, indem, bei durch die HM erhöhter Schlüpfung der VM, die Nebenschlußkomponente der Kompensationsspannung infolge ihrer Verdrehung im Sinne der Nacheilung kompensierend wirkt.

Bei unregelmäßiger Drehzahl der VM, wenn also die HM nur zur Phasenkompensation dient, ist dies jedoch mit zunehmender Belastung weniger oder gar nicht der Fall, da die Nebenschlußkomponente von Anfang an annähernd senkrecht zur sekundären Stillstandsspannung steht.

Dieser Nachteil macht sich besonders bei VM mit starker Streuung störend bemerkbar, da dann mit zunehmender Belastung die Streuspannungen die Kompensationsspannung überwiegen.

Zur Kompensation der Streuspannungen der VM wird nach diesem Zusatzpatent die HM außer der Nebenschluß- noch mit einer Hauptstrom-Erregerwicklung versehen, die auf besonderen Erregerpolen oder den Polen der Nebenschlußwicklung angebracht ist. In diesem Fall ist der Widerstand der Nebenschlußwicklung so bemessen, daß eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Wicklungen ihre Arbeitsweise nicht stört.

Unter Vernachlässigung der Gegenreaktanz der beiden Erregerwicklungen erzeugt die Hauptstromerregerwicklung eine konstante sekundäre Hauptstromspannung als Zusatzspannung zur bereits erzeugten Kompensationsspannung, welche einen durch die Axenrichtung der Hauptstromwicklung bedingten konstanten Winkel mit dem Sekundärstrom einschließt.

Nach weiteren Patentansprüchen wird die Zusatzspannung statt durch eine besondere Hauptstromwicklung durch das Ankerfeld erzeugt, indem die HM nur teilweise oder gar nicht kompensiert wird. Weiter wird vorgeschlagen, die Hauptstromwicklung über einen Serietransformator zu erregen (Figur 94). In diesem Fall ergibt sich eine dem Sekundärstrom und der Schlüpfung proportionale Spannung, die für alle Drehzahlen eine günstige Admittanzkurve gewährleistet.

In der neutralen Axe der HM soll das Hauptstromfeld durch besondere Hilfspole aufgehoben werden.

250 725 Gr. 28 BBC 30. 4. 1911.

Das vom Hauptfluß durchsetzte Eisen der zur Phasenkompensation dienenden Serie-KM wird ganz oder teilweise stark gesättigt, so daß die induzierte Spannung von geringen Belastungen bis Vollast annähernd konstant bleibt.

Die Spannung einer Serie-KM ist eine sekundäre Hauptstromspannung (Gleichung 136), deren Richtung gegenüber dem Sekundärstrom durch den Bürstenwinkel beliebig gewählt werden kann. Es ergibt sich demzufolge das gleiche Admittanzdiagramm wie beim eigen-erregten Ph, ebenso wirkt sich eine kräftige Sättigung der HM aus den dort dargelegten Gründen in günstigem Sinne auf den Verlauf des Leistungsfaktors der VM aus (vgl. DRP 275 571).

252 170 Gr. 30 BBC 3. 9. 1910. Z. z. 250 333.

Zur Erregung der VM oder ihrer HM, eventuell nur zum Durchschreiten des Synchronismus, wird der selbsterregte Kommutator-

generator nach dem Hauptpatent verwendet, der je zwei räumlich aufeinander senkrecht stehende mit je zwei zeitlich in Quadratur stehenden Spannungen erregte Feldwicklungen besitzt, die eine unabhängige Einstellung der Kompensationsspannung nach Größe und Frequenz gestatten (Figur 95). Die zusammengehörigen Widerstände R_1'' und R_2' beeinflussen die Größe der Frequenz, R_2'' und R_1' die Größe der Spannung, da sie, analog wie dies für einen Serie-Generator (Gleichung 170—173) abgeleitet wurde, zwei senkrecht aufeinander stehende Spannungen beeinflussen.

Die Anordnung der beiden Widerstände gestattet durch die Regelung der beiden aufeinander senkrechten Spannungen eine fast unabhängige Regelung von Drehzahl und Leistungsfaktor der VM.

Zur Vermeidung der Gleichstromselbsterregung und der damit verbundenen Remanenzerscheinungen soll die VM von einer untersynchronen Drehzahl direkt auf eine übersynchrone Drehzahl gebracht werden.

274 548 Gr. 28 BBC 23. 5. 1913. Siehe auch Abschnitt 1, S. 67.

Der im ersten Teil dieses Patent (vgl. S. 67) beschriebene selbstlaufende Ph soll gemäß weitem Patentansprüchen gleichzeitig mit einer vom Kommutatorstrom durchflossenen Ständerwicklung versehen werden, die mit der zum Antrieb dienenden, gemäß DRP 147 427 für zwei Polzahlen ausgeführten Ständerwicklung vereinigt werden kann. Darnach führt die Ständerwicklung zur Compoundierung der HM einerseits über einen Serietransformator einen dem Läuferstrom und dessen Frequenz proportionalen Strom oder direkt den Kommutatorstrom, der seinerseits über einen Serietransformator mit dem Sekundärstrom der VM gekoppelt ist, und andererseits als Wicklung halber Polzahl den Primärstrom des Antriebsmotors. Durch den Serietransformator kann die als Gegencompoundwicklung geschaltete Ständerwicklung die sonst mit zunehmender Belastung der VM zu große Kompensationsspannung vermindern. Bei geringen Belastungen der VM sollen die Bürsten verstellt werden, so daß die VM auch bei kleinen Belastungen kompensiert wird. Die HM ist dann die Vereinigung eines Asynchronmotors mit einem Kommutator-Seriegenerator.

311 952 Gr. 28 AEG 25. 1. 1927. M. Z. 475 243.

Die zur Phasenkompensation dienende unkompenzierte Drehstrom-Reihenschlußmaschine mit gegen die Bürstenaxe verschobener Ständerwicklung wird so bemessen, daß sie sich bei unbelasteter VM selbst erregt. Die Begrenzung des selbsterregten Stromes erfolgt durch Wahl der Sättigung. Die Frequenz ist durch die wattlose Komponente der HM bestimmt. (Vgl. Abschnitt III, S. 62.) Die Regelung der selbsterregten Spannung erfolgt durch Ohmsche Widerstände im Sekundärkreis, durch Aenderung der Drehzahl der HM, oder durch Aendern der effektiven Windungszahlen von Ständer- und Läuferwicklung. Nach einem weitem

Patentanspruch wird die Ohmsche und die induktive Spannungskomponente je in einer besondern HM erzeugt (L. 12).

Während die Neigung zur Selbsterregung bei einer nicht entsprechend dimensionierten Serie-KM sich leicht unter kurzschlußartigen Erscheinungen bemerkbar macht, wird hier gerade die sonst gefürchtete Selbsterregung zur Kompensation der VM bei geringen Belastungen nutzbar gemacht. (Vgl. DRP 504 012, S. 110.)

475 243 Gr. 28 AEG 29. 4. 1927. Weiler. Z. z. 311 952.

Die Erregerwicklung der im Hauptpatent angegebenen Reihenschlußmaschine wird aus Spulen ausgeführt, welche nur einen Drittel der Polteilung umfassen, so daß in den Kommutierungszonen kein Fluß erzeugt wird.

479 737 Gr. 27 F & A¹⁾ 11. 4. 1928. (Frankreich 23. 6. 1928.)

Zur Verbesserung des Leistungsfaktors wird in den Nuten der Ständerwicklung der Serie-KM mit doppeltem Bürstensatz und nebengeschlossener Regelinduktanz eine im Stromkreis der Regelinduktanz liegende Hilfswicklung untergebracht, deren Axe gegenüber der Hauptwicklung verschoben ist.

In Figur 98 ist w' die Hauptschlußwicklung, X die regelbare Induktanz, w'' die Hilfswicklung. Für den Stromkreis der Wicklung w'' und der Induktanz sind die Bürsten der KM in generatorischem Sinn verschoben.

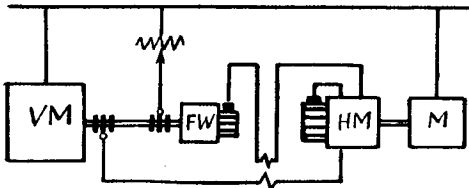
Nach der Patentschrift soll nicht bereits bei Leerlauf, was durch Selbsterregung möglich wäre, sondern erst bei allerdings geringen Belastungen der VM deren Leistungsfaktor kompensiert werden, d. h. das vom Hilfsstromkreis herrührende Feld ist so bemessen, daß es für sich allein zur Deckung der Ohmschen Verluste dieses Stromkreises nicht genügt.

482 301 Gr. 27 BBC 15. 6. 1924.

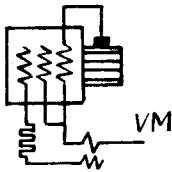
Um mit einer eigenerregten Serie-KM die VM auch bei kleinen Belastungen und Leerlauf zu kompensieren, ohne die HM auf Selbsterregung abzustimmen, besitzt diese außer der Reihenschluß-Erregerwicklung eine zweite Erregerwicklung, deren Erregerstrom gegen die Schleifringspannung der VM um annähernd 90° phasenverschoben und wenigstens annähernd konstant ist.

Diese zweite Erregerwicklung wird z. B. über eine Drosselspule (Figur 99) von der Schleifringspannung oder über Ohmsche Widerstände von der konstanten Spannung eines netzregten FW gespeist. Die Hauptschlußwicklung kann wie gewohnt zur Bürstenaxe senkrecht stehen oder aus dieser Stellung verschoben sein, so daß sie ebenfalls eine kompensierende Spannung erzeugt.

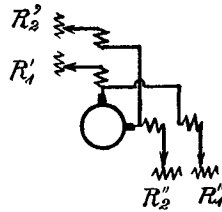
¹⁾ Forges & Ateliers de constructions électriques de Seumont, S. A., Paris.



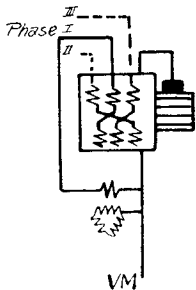
Figur 93: Schema zu DRP 242 375.



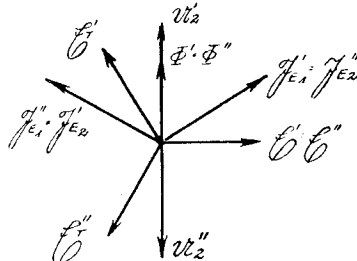
Figur 94: Erregung der HM gemäß DRP 250 369.



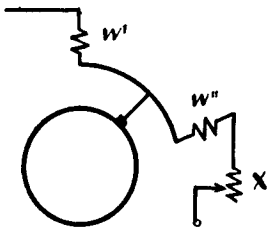
Figur 95: Schema zum Regulierprinzip gemäß DRP 252 170.



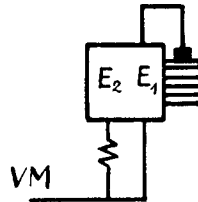
Figur 96: Erregung der HM durch die Schleifringspannung der VM gemäß DRP 348 612 (S. 114).



Figur 97: Spannungsdiagramm zur HM gemäß DRP 348 612.



Figur 98: Schema zu DRP 479 737.



Figur 99: Schema zu DRP 482 301.

Die Nebenschlußwicklung erzeugt in der HM eine konstante Nebenschlußspannung, zu der noch die ebenfalls konstante Hauptstromspannung hinzu kommt.

482 371 Gr. 27 SSW 6. 4. 1928. Harz.

Zur Phasenkompensation bei Leerlauf besitzt die HM außer der zur Kompensation bei Belastung dienenden Hauptstromwicklung noch eine über einen FW fremderregte Wicklung. Damit der FW, ohne abgeschaltet werden zu müssen, nicht für die bei Belastung der VM in der Erregerwicklung induzierte Spannung dimensioniert zu werden braucht, ist zwischen fremderregte Erregerwicklung und FW eine Drosselspule geschaltet, welche die mit der Frequenz ansteigende Spannung abdrosselt, ohne bei der geringen Leerlauffrequenz die Erregung zu beeinträchtigen.

489 710 Gr. 38 SSW 13. 4. 1924. Kozisek.

Zur Regelung der HM wird diese mit einer über eine Impedanz regelbaren Hilfswicklung ausgerüstet, die wegen der dort herrschenden höhern Frequenz (vgl. DRP 330 706) im Läufer untergebracht und über Schleifringe ausgeführt wird.

499 131 Gr. 28 SW 31. 12. 1924. Hartwagner.

Die Nebenschluß-KM ist gemäß Figur 100 mit feststehenden Arbeitsbürsten und verstellbarem Erregerbürstensenstanz, sowie mit zwei getrennten Kommutatorwicklungen und Kommutatoren ausgerüstet. Durch die Stellung der Erregerbürsten wird die Phase der Erregerspannung beliebig eingestellt. Weiter wird der Erregerkreis vom Bürstenübergangswiderstand des Arbeitsstromkreises unabhängig; ebenso kann die Größe der Erregerspannung infolge der getrennten Ankerwicklung erheblich größer als die Spannung am Hauptkommutator sein, wodurch sich eine günstigere Dimensionierung der Erregerwicklung ergibt, die zudem, infolge der Einstellbarkeit der Phase der Erregerspannung, mit beliebiger räumlicher Axenrichtung ausgeführt werden kann. Die Regulierung des Erregerstromes erfolgt durch einen Widerstand oder eine Drosselspule im Erregerkreis.

507 665 Gr. 28 SSW 25. 7. 1929. Kozisek.

Das Ständerisen der KM mit Nebenschluß- oder Kurzschlußwicklung zur Selbsterregung der HM (vgl. nachfolgenden Abschnitt) besitzt geringere axiale Länge als das Läuferisen. Der vorstehende Teil des Läufers arbeitet dann wie ein eigenerregter Ph und wirkt einerseits kompoundierend auf die VM, andererseits dämpft er die Selbsterregung der HM.

Die kompoundierende Wirkung ist besonders bei HM mit Ständerkurzschlußwicklung, die der VM eine sehr starre Drehzahlcharakteristik geben, oft erwünscht.

515 915 Gr. 27 BBC 24. 11. 1922.

Dieses Patent schützt eine KM mit Nebenschluß- oder Verbund-erregung, die zur Regelung der Schlüpfung und gleichzeitigen Verbesserung der Phasenverschiebung einer AM dient. Erfindungsgemäß ist der Ohmsche Widerstand ihres Haupterregerkreises, beispielsweise durch den Vorschaltwiderstand R_1 in Figur 101 a, so groß, daß der Erregerstrom der Schlüpfung direkt proportional wird und eine der Schlüpfung proportionale und diese vergrößemde Spannung \mathcal{E}_H im Läufer induziert.

Die im Anker induzierte Spannung soll kleiner als die Schleifringspannung der VM sein, so daß diese bei untersynchronen Drehzahlen als Motor arbeitet. Um diese Bedingung leichter einhalten zu können, wird der Widerstand des Ankerstromkreises der HM durch eine Gegenkomoundwicklung (Spannung \mathcal{E}_C in Figur 101 b) künstlich vergrößert. Diese Wicklungen dienen wie erwähnt zur Drehzahlregelung bzw. Erhöhung der Schlüpfung.

Zur gleichzeitigen Phasenkompensation wird in den Erregerkreis der HM oder in einen besondern Kompensationserregerkreis eine konstante Spannung geeigneter Phase, z. B. durch einen FW, eingeführt. Der Ohmsche Widerstand des Kompensationserregerkreises sei so gewählt, daß er ein Mehrfaches des induktiven Widerstandes bei größter Schlüpfung beträgt. Der Strom in dieser Wicklung und damit die Kompensationsspannung werden somit ebenfalls konstant. Der Kompensationserregerkreis kann auch, besonders bei großen Schlüpfungen, an die Schleifringe der VM angeschlossen werden. In diesem Fall ist die der Schlüpfung proportionale Komponente seines Widerstandes so gewählt, daß sie bei mittleren und großen Schlüpfungen ein Mehrfaches des Ohmschen Widerstandes beträgt. Der Erregerstrom wird dadurch wieder angenähert konstant und erzeugt die Kompensationsspannung \mathcal{E}_N . In Figur 101 a ist zur Vergrößerung der Reaktanz des Kompensationserregerkreises diesem die Reaktanz X_1 vorgeschaltet. Diese Schaltung gibt nur bei nicht zu kleinen Schlüpfungen eine annähernd konstante Kompensationsspannung. Bei kleinen Schlüpfungen kann die VM nur bei Abstimmung auf Selbsterregung kompensiert werden.

Um diesen Nachteil zu vermeiden, soll der Strom in der Kompensationserregerwicklung durch deren Ohmschen Widerstand bei kleinen Frequenzen derart verschoben werden, daß er in der HM eine Spannung induziert, die eine künstliche Erhöhung der Leerlaufschlüpfung bedingt.

Die Wirkung der zuerst erwähnten reinen Nebenschluß-Spannung und der durch den Anschluß an die Schleifringe der VM erzeugten Spannung, die abgesehen vom Ohmschen Widerstand des Sekundärkreises der VM eine konstante Nebenschluß- und sekundäre Hauptstromkomponente ergibt, wurde bereits ausführlich besprochen.

Um bei allen Belastungen der VM einen guten Leistungsfaktor zu erzielen, genügt jedoch die konstante Kompensationsspannung bei großen

Schlüpfungen nicht mehr. Zu diesem Zweck wird das Verhältnis zwischen Ohmschem und induktivem Widerstand des Haupterregerkreises so abgestimmt, daß die mit der Schlüpfung zunehmende, gegen die in der VM induzierte Spannung gerichtete Komponente der in der VM induzierten Spannung phasenverschoben wird und eine so große Kompensationsspannung erzeugt, daß der Leistungsfaktor der VM bei Vollast nicht schlechter ist, als bei Leerlauf. Der Haupterregerkreis wird also in ähnlicher Weise abgestimmt, wie dies bereits in DRP 232 282 vorgeschlagen wird.

7. Selbsterregte Kommutatormaschinen mit induktiv erregter Ständerwicklung.

Während die im Ständer fremd- oder selbsterregten HM der vorangehenden Abschnitte Maschinen sind, die auch als selbständige Generatoren oder Motoren verwendet werden und die wenigstens in ihrer ursprünglichen Form als solche konstruiert wurden, handelt es sich bei den Maschinen dieses Abschnittes um eine von Kozisek, der als Erfinder fast aller Patente zeichnet, speziell für die Phasenkompensation zur Kaskadenschaltung mit einer AM geschaffene KM.

Nach der prinzipiellen Einteilung stehen die eigenerregten KM zwischen den fremderregten KM und dem eigenerregten Ph. Die Maschine mit Ständerkurzschlußwicklung nach Figur 102 kann als Zwischenform betrachtet werden. Aus dem Phasenschieber entsteht sie durch die Ständerkurzschlußwicklung (443 390, 471 182); unter Umständen wird sie auch teilweise als Ph betrieben (507 665). Durch dieses Patent wird auch, abgesehen vielleicht von Schwierigkeiten, die der Dimensionierung der Kozisek-Maschine durch die Selbsterregungsbedingung erwachsen, der wesentlichste Nachteil dieser Maschine aufgedeckt. Dieser besteht darin, daß die Kompensationsspannung eine Komponente in Richtung der im Sekundärteil der VM induzierten Spannung besitzt, wodurch die VM einen erheblichen Teil ihrer natürlichen Schlüpfung verliert und eine äußerst starre Drehzahlcharakteristik bekommt. Aus der KM entsteht die Kozisek-Maschine automatisch bei kleinen Frequenzen, wenn diese durch einen Stromtransformator erregt wird, sowie durch einfache Umschaltungen bei andern Schaltungen (479 509, 502 886, 496 398). Bei Umkehr der Drehrichtung arbeitet sie wie eine Serie-KM (495 650).

Die Selbsterregung der Kozisek-Maschine kann durch eine praktisch allerdings nicht gerade leicht durchführbare Erhöhung der Schlüpfung, eine axiale Verschiebung des Läufers, eine besondere Hauptstrom- oder Nebenschlußwicklung, den Anschluß von Kondensatoren, Drosselspulen oder einen eigenerregten Ph erleichtert oder reguliert werden. Nach Laboratoriums-Versuchen (L. 4) wird die Erregung am besten durch kurzzeitiges Anlegen einer Gleichspannung eingeleitet.

Die Spannungscharakteristik kann wie beim eigenerrigten Ph und der Serie-KM durch starke Sättigung in günstigem Sinn beeinflußt werden (504 594).

471 182 Gr. 28 SSW 5. 10. 1924. *Kozišek. M. Z.* 483 589, 489 747, 502 886, 504 594, 508 691, 514 942, 524 114.

Die HM besitzt eine direkt oder über Ohmsche oder induktive Widerstände kurzgeschlossene Ständerwicklung, ähnlich der beim eigenerrigten Ph nach DRP 425 122 und 443 390 zur Verbesserung der Kommutation verwendeten Ständerkurzschlußwicklung. Während aber dort die Kurzschlußwicklung nur die Oberfelder abdämpft, wobei durch großen Widerstand oder drehbare Anordnung der Ständerwicklung (DRP 455 319) eine wesentliche Rückwirkung auf die Läuferwicklung oder gar Selbsterregung vermieden wird, ist hier die Ständerwicklung so bemessen, daß sich die HM selbst erregt.

Mit den üblichen Bezeichnungen (Figur 102) lautet die Spannungsgleichung für den Ständerstromkreis:

$$\mathfrak{E}_4 = -s(\mathfrak{X}_{34} \mathfrak{J}_3 + \mathfrak{X}_{44} \mathfrak{J}_4) = (R_4 + s\mathfrak{X}_{4\sigma}) \mathfrak{J}_4 \quad (273)$$

Der Ständerstrom beträgt:

$$\mathfrak{J}_4 = -\frac{s\mathfrak{X}_{34}}{R_4 + s\mathfrak{X}_{44}} \mathfrak{J}_3 \quad (274)$$

Die Rotationsgeschwindigkeit des Läufers, bezogen auf Netzfrequenz, sei $t = \frac{\omega_3}{\omega_1}$. Dann induziert das Hauptfeld als reines Drehfeld im Läufer die Spannung:

$$\mathfrak{E}_3 = - (s-t) \{ \mathfrak{X}_{43} \mathfrak{J}_4 - \mathfrak{X}_{33} \mathfrak{J}_3 \} = (t-s) \left\{ \mathfrak{X}_{33} - \frac{s\mathfrak{X}_{34} \mathfrak{X}_{43}}{R_4 + s\mathfrak{X}_{44}} \right\} \mathfrak{J}_3 \quad (275)$$

R_4 ist der gesamte Ohmsche Widerstand, $\mathfrak{X}_{4\sigma}$ die gesamte mit dem Läuferstromkreis nicht verkettete Reaktanz des Ständerstromkreises. Den Ohmschen Spannungsabfall und die Streuspannung des Läufers denken wir uns in den Sekundärkreis der VM verlegt. Dann ist die Kompensationsspannung $\mathfrak{U}_2 = \mathfrak{E}_3$. Wird an die Kommutatorbürsten der HM nur der Sekundärkreis der VM angeschlossen, so wird $\mathfrak{J}_5 = \mathfrak{J}_2$ und die Spannungsgleichung lautet:

$$s\mathfrak{E}_{20} = \{ R_2 + s\mathfrak{Z}_{2\infty} + (t-s) \left(\mathfrak{X}_{33} - \frac{s\mathfrak{X}_{34} \mathfrak{X}_{43}}{R_4 + s\mathfrak{X}_{44}} \right) \} \mathfrak{J}_2 \quad (276)$$

Die Möglichkeit der Selbsterregung ergibt sich aus der mit der Richtung des Sekundärstromes zusammenfallenden Komponente der in der HM induzierten Spannung. Diese beträgt unter Vernachlässigung der Eisenverluste

$$\mathfrak{E}_3' = (t-s) \frac{s\mathfrak{X}_{34} \mathfrak{X}_{43} R_4}{R_4^2 + s^2 \mathfrak{X}_{44}^2} \mathfrak{J}_2 \quad (277)$$

Diese Spannung wird positiv für $t_s > s^2$. Die HM ist somit stets übersynchron anzutreiben.

Das Spannungsdiagramm zeigt Figur 103. Die in der HM induzierte Spannung eilt dem Läuferstrom bei Selbsterregung stets vor. Für übersynchronen Betrieb der VM ist die Drehrichtung der HM umzukehren. Bei Synchronismus wird keine Spannung induziert, die HM erregt sich nur mit Wechselstrom.

Da die Spannung der HM eine Komponente in Richtung der sekundären Stillstandsspannung besitzt, wird die Schlüpfung der VM verkleinert. Die VM erhält eine starre Drehzahlcharakteristik, die für manche Antriebe unerwünscht ist. Trotz dieses Nachteils stellt diese Maschine die wichtigste Neuschöpfung der letzten Zeit auf dem Gebiet der KM zur Phasenkomposition dar.

479 509 Gr. 27 SSW 21. 10. 1925. Kozisek.

Um bei großer Belastung der VM einen besonders kräftigen Drehzahlabfall zu erzielen, wird die Erregerwicklung der mit ihr in Kaskade geschalteten KM durch einen vom Sekundärstrom gespeisten Serientransformator erregt (Figur 104) und einen mit dessen Sekundärwicklung in Serie geschalteten Ohmschen Widerstand geregelt. Bei überwiegend Ohmschem Widerstand im Erregerkreis wird dadurch der Erregerstrom sowohl der Schlüpfung, wie dem Sekundärstrom proportional.

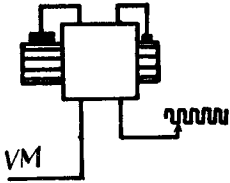
Diese Schaltung bietet gleichzeitig den Vorteil, den Erregerkreis so abzustimmen, daß bei kleinen Frequenzen, bei welchen der Serientransformator unwirksam wird, die HM sich wie die Maschine nach DRP 471 182 selbsterregt und die VM auch bei Leerlauf kompensiert.

483 589 Gr. 28 SSW 26. 6. 1926. Kozisek. Z. z. 471 182.

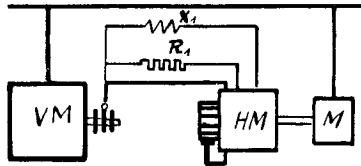
Zur Regelung der Selbsterregung werden Ständer und Läufer gegeneinander in axialer Richtung verschoben. Der nicht mehr vom Ständer umgebene Teil des Läufers wirkt dann wie ein eigeneregter Phl Die selbsterregte Spannung nimmt nach Gleichung 277 proportional mit der Gegenreaktanz ab. Demzufolge ergibt schon eine kleine Verschiebung des Ständers eine erhebliche Veränderung der induzierten Spannung, allerdings auf Kosten einer mechanisch komplizierteren Konstruktion, wobei unter Umständen die Vorteile einer Käfigwicklung gegenüber der durch Ohmschen Widerstand regelbaren Phasenwicklung aufgehoben werden.

489 747 Gr. 28 SSW 11. 2. 1927. Kozisek. Z. z. 471 182.

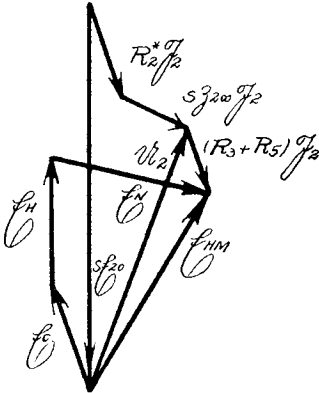
Der Läufer der HM nach dem Hauptpatent wird über die mit Schleifringen versehene Kommutatorwicklung oder eine besondere Schleifringwicklung im Läufer an einen Blindstromverbraucher oder -erzeuger



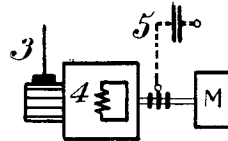
Figur 100: KM mit Arbeits- und Erregerbürsten gemäß DRP 499 131.



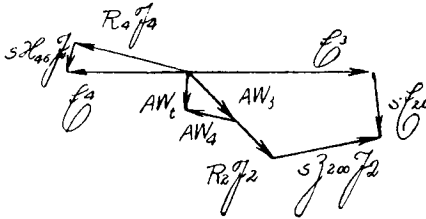
Figur 101 a: Schaltung der HM nach DRP 515 915.



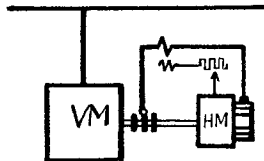
Figur 101 b: DRP 515 915.
Spannungsdiagramm der VM mit HM für Phasenkompensation und Schlupferhöhung.



Figur 102: HM mit Ständer-Kurzschlußwicklung gemäß DRP 471 182.



Figur 103. Spannungsdiagramm der HM mit Ständer-Kurzschlußwicklung gemäß DRP 471 182.



Figur 104: Erregung der HM gemäß DRP 479 509.

(Drosselspule, Kondensator) angeschlossen, durch dessen Regelung die Selbsterregung reguliert wird. (In Figur 102 gestrichelt eingezeichnet.)

Die Spannung der Schleifringwicklung ist gleich oder proportional der Kommutatorspannung. Ihre Frequenz beträgt $\omega_s = \omega_K - \omega_r$. Wird die HM beispielsweise synchron mit dem Netz angetrieben, so wird $\omega_s = s\omega_1 - \omega_1 = -(1-s)\omega_1$. Die Richtung des der Schleifringspannung $\mathcal{E}_s = c\mathcal{E}_3$ voreilenden Schleifringstromes \mathfrak{J}_s fällt im Raum-Zeit-Diagramm infolge seiner negativen Rotationsrichtung bei Anschluß eines kapazitiven Blindstromverbrauchers annähernd mit der Richtung der von Ständer- und Kommutatorstrom zusammen erzeugten AW zusammen; somit bedingt dieser Strom eine Vergrößerung der induzierten Spannung, ohne deren Richtung wesentlich zu beeinflussen. Dabei wird allerdings der Aufbau der HM etwas komplizierter. In Figur 105 ist das neue Spannungsdiagramm gezeichnet. R_s ist der Widerstand des Schleifringstromkreises, \mathcal{E}_3 die in einem Kondensator induzierte Blindspannung. Die übrigen Bezeichnungen sind die bisherigen.

494 440 Gr. 28 SSW 15. 7. 1926. *Kozisek Z. z. 471 182.*

Zur Regelung der Selbsterregung wird an die Kommutatorwicklung der HM eine Drosselspule in Serie oder parallel zur VM angeschlossen, sei es, daß sie an die Hauptbürsten, an einen Hilfsbürstensenatz oder an eine besondere Kommutatorwicklung angeschlossen ist. Die Regulierung erfolgt an der Drosselspule oder in den beiden letzten Fällen auch durch Bürstenverschiebung. Die Drosselspule wirkt infolge der verschiedenen Phasenfolge von Kommutator- und Schleifringstrom wie der Anschluß eines Kondensators an eine Schleifringwicklung (DRP 489 747) im Sinn der Erleichterung der Selbsterregung. Ihre Wirkung ist aber erheblich stärker von der Schlüpfung der VM abhängig, da sie in einem Stromkreis von Schlupffrequenz liegt und nicht wie der an Schleifringe angeschlossene Kondensator in einem Stromkreis von der Drehzahl der VM proportionaler, also annähernd konstanter Frequenz.

Im Spannungsdiagramm Figur 106 sind \mathcal{E}_s die an einem Hilfskommutator abgenommene Spannung, \mathfrak{J}_s , $\mathfrak{X}_s\sigma$ und R_s Strom, gesamte, mit der Ständerwicklung nicht verkettete Reaktanz und Ohmscher Widerstand des Hilfsstromkreises. Bei geringen Schlüpfungen muß, wie aus dem Diagramm ersichtlich, die Streu-Reaktanz ziemlich groß sein, oder die Bürsten sind im Sinn der Nacheilung (Bürstenwinkel β) zu verschieben, damit der Ohmsche Widerstand dieses Hilfsregerkreises nicht zu sehr ins Gewicht fällt.

495 650 Gr. 27 SSW 26. 5. 1927. *Kozisek.*

Die HM nach DRP 471 182 dient bei Rotation entgegen der Drehrichtung ihres Feldes zur Compoundierung der VM.

Für diese Drehrichtung ist $t_s < 0$; damit ist nach Gleichung 277 die mit dem Sekundärstrom zusammenfallende Komponente der induzier-

ten Spannung dem Sekundärstrom entgegengerichtet. Die HM arbeitet demzufolge wie ein Seriemotor. Zur Regelung genügt ein in die Ständerwicklung geschalteter Ohmscher Widerstand.

Dieselbe HM kann somit bei einer Phasenvertauschung im Sekundärkreis oder Aenderung ihrer Drehrichtung sowohl zur Phasenkompensation als auch zur Kompoundierung dienen.

496 398 Gr. 27 SSW 24. 6. 1926. Kozisek.

Bei einer Kaskade mit Drehstrom-Serie-HM wird bei geringen Belastungen deren Ständerwicklung kurzgeschlossen. Die HM wirkt dann wie ein eigenerrigter Ph oder bei geeigneter Abstimmung der Erregerwicklung als selbsterregte KM nach DRP 471 182.

502 886 Gr. 28 SSW 4. 10. 1925. Kozisek. Z. z. 471 182.

Zur Kompoundierung der VM wird die Ständerwicklung der Maschine nach dem Hauptpatent über einen regelbaren Widerstand an die Sekundärwicklung eines mit seiner Primärwicklung im Sekundärstromkreis liegenden Stromtransformators angeschlossen.

Bei Leerlauf ist der Stromtransformator infolge der geringen Frequenz wirkungslos; die Maschine arbeitet wie in der Anordnung nach dem Hauptpatent. Bei Belastung dagegen geht die sonst sehr starre Nebenschlußcharakteristik der VM in eine annähernd mit dem Quadrat der Schlüpfung abfallende über.

504 594 Gr. 28 SSW 14. 7. 1929. Irion. Z. z. 471 182.

Das Ständereisen der Maschine nach dem Hauptpatent wird stark gesättigt, wodurch sich aus den gleichen Gründen wie beim eigenerrigten Ph und der Serie-KM ein günstiger Verlauf des Leistungsfaktors der VM ergibt.

507 665 siehe Abschnitt 6, Seite 148.

508 691 Gr. 28 SSW 24. 7. 1929. Kozisek. Z. z. 471 182.

Im Ständer der HM nach dem Hauptpatent wird noch eine mit der Kommutatorwicklung in Serie geschaltete Wicklung gleicher Axenrichtung untergebracht, sei es, um bei gleichem magnetischem Fluß infolge des geringen erforderlichen Strombelages im Anker die Kommutation zu verbessern, oder um durch Vergrößern des magnetischen Flusses bei gleichem Strombelag im Anker die Selbsterregung zu erleichtern.

514 942 Gr. 28 SSW 19. 6. 1926. Kozisek. Z. z. 471 182.

Zur Einleitung der Selbsterregung ist der Ständer außer der Kurzschlußwicklung mit einer vom Anker in Reihen- oder Parallelschaltung gespeisten Hilfswicklung ausgerüstet.

Die HM arbeitet dann teils als Serie- oder Nebenschlußmaschine, teils als Maschine nach dem Hauptpatent, wobei die Kurzschlußwicklung zur Verbesserung der Kommutation beiträgt.

519 424 Gr. 2 SSW 11. 12. 1925.

Bei Ausbleiben der Selbsterregung der Kozisek-Maschine bei nahezu synchroner Drehzahl der VM wird diese vorübergehend zu größerer Schlüpfung gezwungen, indem z. B. der Netzschalter vorübergehend geöffnet oder die VM gebremst wird, sei es durch eine Wirbelstrombremse oder Erregung einer mit der VM gekuppelten Gleichstrommaschine, durch Vergrößern der Eisenverluste, Unterbrechung der Schmierung etc.

524 114 Gr. 27 SSW 9. 2. 1930. Kozisek. Z. z. 471 182.

In den Stromkreis der Ständerwicklung der Kozisek-Maschine wird eine hauptstromerregte KM geschaltet, die eine gegenüber dem Strom um 90° in der Phase verschobene Spannungskomponente entwickelt.

Eine solche KM ist z. B. der eigenerregte Ph, der je nach Antriebsrichtung einen induktiven oder kapazitiven Widerstand darstellt und demzufolge eine Regulierung der Selbsterregung der HM gestattet. (Vgl. DRP 489 747, S. 152.)

8. Selbsterregte Kommutatormaschinen mit Läufererregung.

Während die *fremderregten* HM sowohl im Ständer wie im Läufer erregt werden können, besitzen alle *selbsterregten* HM eine Erregerwicklung im Ständer. Eine besondere im Läufer selbsterregte Maschine, wie sie der Titel vielleicht vermuten läßt, gibt es nicht, vielmehr handelt es sich um eine Schaltung, welche die läufergespeiste fremderregte HM oder kurz den FW zur Selbsterregung geeignet macht.

Nach den Patenten der Abschnitte 2 und 3 wird der FW stets als fremderregte HM betrieben; Selbsterregung ist ein unzulässiger, oft durch besondere Mittel verhindert Betriebszustand. Eine Ausnahme machen einzig der kompensierte FW bzw. eine EM nach DPR 483 292 (S. 86), wonach sich die HM betriebsmäßig, allerdings nur zum Unter-Spannung-Setzen des Netzes, selbst erregt, sowie die drei nachfolgenden Patente.

470 444 Gr. 2 SSW 30. 8. 1925. Kozisek.

Soll eine AM mit vom Netz fremderregter HM dieses unter Spannung setzen, so werden zur Einleitung der Erregung die magnetischen Axen von Läufer- und Kompensationswicklung der HM gegeneinander ver-

schoben, so daß sich die HM als Seriengenerator selbst erregt. Im Betrieb werden die Axen von Läufer und Kompensationswicklung wieder zusammenfallend gegeneinander gerichtet.

Die praktische Durchführung dieses Verfahrens dürfte die Dimensionierung der HM erschweren, da diese für die Selbsterregung genau abgestimmt werden muß, um unzulässige Werte des Sekundärstromes zu vermeiden.

Dasselbe Verfahren wird auch für die Schaltung mit ständererregter EM nach DRP 483 292 (S. 86) vorgeschlagen.

511 233 Gr. 27 SSW 5. 7. 1928. Kozisek. M. Z. 527 970.

Die an den Bürsten oder am Ständerstromkreis des kompensierten FW abgenommene Spannung wird durch einen mit der HM mechanisch gekuppelten IFW oder kompensierten FW auf Netzfrequenz umgeformt, um der im Läufer untergebrachten Erregerwicklung der HM (Figur 107) zugeführt zu werden. Der Widerstand R dient zum Regulieren dieser Nebenschluß-Selbsterregung und ist so bemessen, daß sein Ohmscher Widerstand den induktiven Widerstand dieses Stromkreises stets überwiegt. Durch einen am Netz liegenden Transformator T kann die HM auch fremd erregt werden, andernfalls sind die Schleifringe der beiden Maschinen überflüssig.

Infolge des kleinen Stromes im Erregerkreis des IFW und der Möglichkeit der freien Wahl der Erregerspannung der HM bei getrennter Schleifring- und Kommutatorwicklung wird die Selbsterregung leicht regelbar. Dazu wird durch den IFW die Möglichkeit der Selbsterregung mit Gleichstrom unterbunden.

Dieser fremd- und selbsterregte FW kann sowohl direkt als HM, wie auch zur Erregung einer ständererregten HM dienen.

Daß sich das Aggregat selbst erregen kann, ergibt sich ohne besondere Ableitung daraus, daß HM und IFW bei abgeschalteter VM zusammen eine Gruppe aus AM und gewöhnlichem FW bilden, die auf ein unbelastetes Netz arbeitet, d. h. ein nur durch den FW belastetes Netz.

527 970 Gr. 27 SSW 17. 11. 1929. Kozisek. Z. z. 511 233.

Der mit der VM gekuppelte asynchrone Anwurfmotor dient während des Betriebes als IFW zur Eigenerregung der HM nach dem Hauptpatent. Zu diesem Zweck sind, wie in Figur 107 angenommen, VM und HM miteinander zu kuppeln, da die Drehzahl des FW derjenigen der HM proportional sein muß.

Für große VM, die an und für sich bereits einen Anwurfmotor brauchen, sind dann zur Kompensation und Drehzahlregelung außer der HM keine weiteren Maschinen erforderlich.

9. Patente zu verschiedenen Hintermaschinen.

Im folgenden sind noch die Patente zusammengestellt, die Schaltungen oder Einrichtungen betreffen, welche bei verschiedenen der in den vorangehenden Abschnitten erwähnten HM angewendet werden können, oder die mit der Phasenkompensation nur indirekt zusammenhängende Fragen betreffen.

9a. Die Anlaßverfahren.

Die Kompensationsspannung ist meist sehr klein, sie beträgt besonders bei hoher Leistung und Drehzahl nur etwa $\frac{1}{2}\%$ der sekundären Stillstandsspannung. Diese aber darf für den Anlauf mit Rücksicht auf die Isolation der Wicklung und der Anlaßgeräte ein bestimmtes Maß nicht überschreiten. Dabei kann die Kompensationsspannung so klein werden, daß durch den Bürstenübergangswiderstand der HM unverhältnismäßig große Verluste entstehen. Weiter machen sich dessen Schwankungen störend bemerkbar. Auch mit Rücksicht auf die Wicklung und die Größe von Kommutator und Schleifringen ist eine hohe Stillstandsspannung zur Verkleinerung des Sekundärstromes erwünscht.

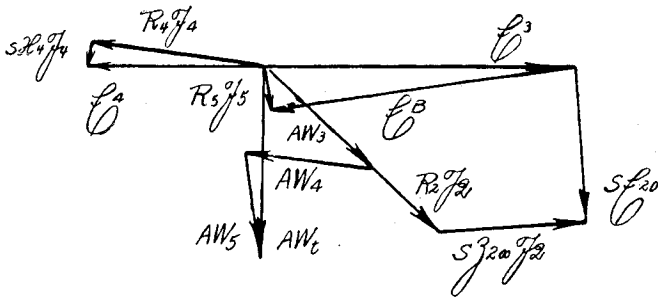
Bei AM, an deren Sekundärkreis eine HM zur Phasenkompensation angeschlossen ist, sollte die sekundäre Stillstandsspannung für den Anlauf mit Rücksicht auf die Isolation die bei unkompensierter VM üblichen Werte nicht überschreiten, für den Betrieb dagegen erheblich vergrößert werden können. Die folgenden Patente zeigen Vorschläge zur Verwirklichung dieser beiden Ziele, sowie sonstige speziell für Kaskadenschaltungen geeignete Anlaßverfahren.

211 803 Gr. 27 BBC 3. 3. 1907.

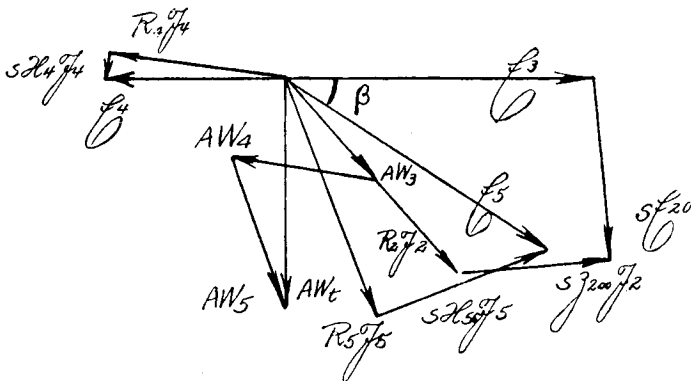
Bei Antrieben, deren Drehmoment mit der Drehzahl abnimmt, wird der Läufer der VM bei hohen Drehzahlen in Stern, bei niedern Drehzahlen in Dreieck geschaltet.

Durch diese Umschaltung werden die Schwankungen von Strom und Spannung der HM verringert, da durch die Dreieckschaltung die bei kleiner Drehzahl der VM hohe Sekundärspannung vermindert und der infolge des geringen Drehmomentes kleine Sekundärstrom vergrößert wird. Ueberschreitet dabei die Größe des Sekundärstromes seinen Maximalwert bei Sternschaltung nicht, so ergibt sich eine Verkleinerung der HM im Verhältnis $\sqrt{3}:1$

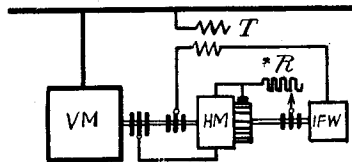
Bei diesem und einigen nachfolgenden Patenten erfolgen die Umschaltungen der Sekundärwicklung zur Erweiterung des Regelbereiches der HM. Da zu diesem Zweck die sekundäre Stillstandsspannung verändert wird, ergeben sich dadurch auch günstigere Verhältnisse zum Anlassen der VM. In späteren Patenten werden dann diese Umschaltungen für das Anlassen der VM als bekannt vorausgesetzt.



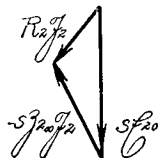
Figur 105: Spannungsdiagramm der HM mit Kondensator gemäß DRP 489 747.



Figur 106: Spannungsdiagramm der HM mit Drosselspule gemäß DRP 494 440.



Figur 107: Erregung der HM gemäß DRP 511 233.



Figur 108: Spannungsdiagramm der VM bei Anlauf mit kleinem Widerstand im Sekundärkreis gemäß DRP 401 529.

227 995 Gr. 27 AEG 11. 4. 1909.

Zur Drehzahlregelung einer AM mit in Kaskade geschalteter KM wird die Läuferwicklung der VM in mehreren Gruppen angeordnet, welche je nach der gewünschten Geschwindigkeit in Reihe oder parallel geschaltet werden.

254 208 Gr. 29 SSW 15. 8. 1909.

Die Sekundärwicklung der durch einen FW geregelten VM wird bei niedern Drehzahlen gruppenweise parallel, bei hohen Drehzahlen in Serie geschaltet.

298 278 Gr. 28 SSW 14. 1. 1914.

Zur Verbesserung der Kompensation bei geringer Belastung werden einzelne Stromzweige der Primär- oder Sekundärwicklung der mit einem eigenerregten Ph in Kaskade geschalteten VM hinter- und nebeneinander oder in Stern und Dreieck geschaltet.

401 529 Gr. 27 AEG 9. 3. 1922.

Bei sehr hoch gewählter Stillstandsspannung erfolgt das Anlassen mittels eines kleinen Widerstandes im Sekundärkreis, so daß der Anlauf im Gebiet zwischen Kippmoment und ideellem Kurzschlußpunkt des Admittanzdiagrammes erfolgt.

In diesem Gebiet wirken die Streuspannungen der sekundären Stillstandsspannung entgegen, und diese wird im Anlauf wesentlich verkleinert (Figur 108). Gleichzeitig soll die Schleifringspannung durch Umschaltungen der Ständer- oder Läuferwicklung weiter herabgesetzt werden.

Die großen Anlaufströme lassen dieses Anlaßverfahren nur ausnahmsweise anwendbar erscheinen.

461 887 Gr. 28 SSW 16. 11. 1924. *Kozisek. M. Z. 528 162.*

Beim Anlassen mit zugeschalteter HM wird das Feld der VM durch Umschaltungen oder Einschalten von Widerstand im Primärkreis geschwächt. Zur Verbesserung der Kompensation im Anlauf soll weiter das Feld der fremderregten HM verstärkt werden.

Dieses Anlaßverfahren ist natürlich nur bei geringem Anlaufmoment anwendbar. Aus diesem Grunde soll nach weitern Patentansprüchen bei mit der VM mechanisch gekuppelter HM diese durch Bürstenverschiebung als Seriomotor zur Erhöhung des Anlaufdrehmomentes der Kaskade verwendet werden.

468 228 Gr. 27 SSW 2. 4. 1925. *Liwschitz.*

Außer der Dreieck-Stern-Umschaltung der Läuferwicklung wird der Anlasser an Anzapfstellen der Läuferwicklung angeschlossen, die

vorzugsweise in den Mitten der drei einzelnen Phasenwicklungen des Läufers liegen.

474 088 Gr. 27 SSW 30. 6. 1926. *Kozisek.*

Die VM wird mit einem konstanten Widerstand angelassen und dann mit der HM als Anwurfmotor auf volle Drehzahl gebracht.

475 762 Gr. 28 SSW 2. 3. 1926. *Liwshitz.*

Für den ersten Teil des Anlaufs wird ein fester, für den weitem Anlauf bis zum Zuschalten der HM ein regelbarer Widerstand verwendet. Weiter wird eine besondere Anordnung zur Stern-Dreieck-Umschaltung des Läufers, ebenfalls unter Verwendung eines festen und eines regelbaren Anlaßwiderstandes, angegeben.

480 608 Gr. 28 SSW 27. 5. 1926. *Irion.*

Zum Anlassen wird zwischen VM und HM ein Widerstand mit Sternpunkt geschaltet, der ohne Verschiebung des Sternpunktes (Figur 109) verkleinert wird.

500 925 Gr. 27 SSW 2. 4. 1925. *Trassl.*

Zum Anlassen wird nur ein Wicklungsteil der zweckmäßig in mehr als zwei Teile unterteilten Sekundärwicklung an Anlaßwiderstände angeschlossen, während die übrigen Wicklungsteile voneinander und von dem für das Anlassen dienenden Wicklungsteil elektrisch getrennt sind.

507 664 Gr. 27 SSW 30. 5. 1925. *Liwshitz.*

Zwischen Schleifringe der VM und Anlaßwiderstand wird ein Transformator geschaltet, der nach erfolgtem Anlauf gegebenenfalls überbrückt wird. Die Sekundärwicklung ist gleichzeitig für Dreieck-Stern-Umschaltung eingerichtet oder mit Anzapfungen versehen.

Die Stillstandsspannung kann in einer für die HM günstigen Größe gewählt werden. Für den Anlauf wird sie auf eine für die Anlaßgeräte günstige Höhe reduziert. Die Läuferwicklung muß dabei allerdings für die volle Stillstandsspannung isoliert werden.

510 477 Gr. 28 SSW 22. 12. 1928. *Kafka.*

Zum Anlassen der VM mittels eines konstanten Widerstandes im Sekundärkreis wird ihr Läufer derart ausgebildet, daß ein vorzugsweise in der Nähe der synchronen Drehzahl wirkendes Hilfsdrehmoment erzeugt wird, so daß die VM, die bei gewöhnlicher Ausführung bei eingeschaltetem Anlaßwiderstand eine so erhebliche Schlüpfung beibehalten würde, daß die HM mit ihrem geringen Widerstand nicht plötzlich zu-

geschaltet werden dürfte, soweit hochläuft, daß die HM ohne weiteres zugeschaltet werden kann.

Dieses Hilfsdrehmoment wird erzeugt durch erhöhte Hysteresisverluste des Läufer Eisens, erhöhte Wirbelstromverluste oder eine kurzgeschlossene Hilfswicklung im Läufer.

515 401 Gr. 27 SSW 27. 2. 1929.

Die VM wird mittels eines im Nebenschluß zur Verbindung zwischen VM und HM liegenden nicht regelbaren Widerstandes angelassen und darauf die vorher abgeschaltete HM über einen Oelanlasser mit der VM verbunden.

Bei dieser Anordnung sind nur der feste Widerstand und die erste Stufe des Oelanlassers gegen die hohe Spannung zu isolieren.

528 162 Gr. 28 SSW 10. 5. 1930. Kozisek. Z. z. 461 887.

Zur Feldschwächung der VM für den Anlauf wird mit ihrer Primärwicklung ein leerlaufender Wechselstrommotor in Reihe geschaltet und in seinem Sekundärteil geregelt.

9b. Regeleinrichtungen.

Einzelne Reguliereinrichtungen sind bereits in früheren Patenten enthalten. Im folgenden werden noch die nur die Regulierung der HM betreffenden Patente aufgeführt.

407 847 Gr. 27 AEG 24. 10. 1922. Weiler. M. Z. 408 881.

In den Primärkreis des Erregertransformators T_1 wird ein Wasserwiderstand R geschaltet, der für automatischen Drehzahlabfall der VM von einer bestimmten Belastung an selbsttätig gesteuert wird, während gleichzeitig ein zweiter Transformator T_2 die zur Phasenkompensation erforderliche Spannung liefert (Figur 110).

408 881 Gr. 27 AEG 29. 12. 1922. Weiler. Z. z. 407 847.

Parallel zum Wasserwiderstand (vgl. Hauptpatent) wird noch ein konstanter induktiver Widerstand geschaltet (X in Figur 110). Der Strom fließt somit bei erheblichem Widerstand R im wesentlichen durch die Reaktanz X, so daß die sonst durch den Widerstand bedingte Phasenverschiebung des Erregerstromes vermieden wird.

463 147 Gr. 28 AEG 6. 5. 1926. Weiler. M. Z. 468 457.

Bei Kaskaden, deren Wirk- und Blindleistung selbsttätig geregelt wird, werden zur Vermeidung von Pendelungen zwei ungleich rasch wirkende Regelorgane verwendet.

468 457 Gr. 30 AEG 15. 6. 1926. Weiter. Z. z. 463 147.

Bei Verwendung einer Synchronmaschine mit zwei aufeinander senkrecht stehenden Erregerwicklungen (vgl. DRP 496 176) wird die eine dieser Wicklungen, welche im wesentlichen die Blindleistung der VM beeinflusst, von einem rein elektrisch wirkenden Schnellregler, die andere von einem Langsamregler beeinflusst.

472 310 Gr. 27 SSW 25. 6. 1926. Kozisek.

Der Erregertransformator der HM wird in A-B-C-Schaltung geregelt und die HM in dem Teil, der sich gegenüber dem vom Netz durch den Regeltransformator erzeugten Drehfeld synchron oder mit Schlupffrequenz dreht, mit einer Dämpferwicklung versehen, welche die infolge der Spannungsasymmetrien entstehenden Wechselfelder abdämpft und gleichzeitig die Kommutation der HM verbessert.

474 041 Gr. 27 SSW 1. 1. 1927. Penzien.

In den Erregerkreis der über Schleifringe im Läufer oder über einen FW von konstanter Spannung im Ständer erregten HM ist eine mit der Belastung oder der Schlüpfung der VM veränderliche Reaktanz geschaltet. Diese besteht z. B. aus einer mit der VM synchron laufenden AM, deren Sekundärkreis kurzgeschlossen oder auf induktive oder kapazitive Widerstände geschaltet ist (Figur 111). Dieser induktive Widerstand soll sich so ändern, daß der Leistungsfaktor oder die Drehzahl der VM in geeigneter Weise beeinflusst werden.

Diese Anordnung ist besonders für VM, deren Primärwicklung mit Hochspannung gespeist wird, vorteilhaft, da in diesem Fall ein im Primärkreis liegender Stromtransformator trotz kleiner Leistung teuer wird.

486 358 Gr. 7 SSW 21. 5. 1926. Kozisek.

Zum Abschalten asynchroner Blindleistungsmaschinen wird die Erregung selbsttätig auf einen Wert eingestellt, der etwa $\cos \varphi = 1$ an den Netzklemmen entspricht.

507 547 Gr. 7 SSW 16. 5. 1926. Leonhard. M. Z. 520 085.

In den Erregerkreis der netzerregten HM werden derart bemessene eisengesättigte induktive Widerstände oder Transformatoren geschaltet, daß bei sinkender Netzspannung die Erregung der VM erhöht und diese bei Verwendung als asynchrone Blindleistungsmaschine zur Verminderung unzulässigen Absinkens der Netzspannung befähigt wird.

519 909 Gr. 27 SSW 17. 11. 1929.

Die Erregung der mit Netzfrequenz erregten HM erfolgt über einen Drehtransformator mit Reihenschaltung seiner beiden gegeneinander verschiebbaren Wicklungen.

Ein solcher Transformator wirkt wie eine regelbare Drosselspule und gestattet eine weitgehende feinstufige Regulierung und ist dabei billiger als ein Doppeldrehtransformator.

520 085 Gr. 7 SSW 21. 9. 1928. *Livoschitz und Leukert. Z. z. 507 547.*

Die nach dem Hauptpatent geforderte Steigerung der Spannung der HM bei sinkender Netzspannung wird nach diesem Zusatzpatent dadurch erreicht, daß als eisengesättigte Induktivität ein möglichst rückwirkungsloser Transformator verwendet wird. Nach Figur 112 wird die Primärwicklung dieses Stromtransformators HT mit einer eisengesättigten Drosselspule in Serie geschaltet. Seine Sekundärwicklung liegt im Erregerkreis der VM und induziert eine der Netzspannung entgegengerichtete Spannung, die infolge der eisengesättigten Drosselspule bei sinkender Netzspannung stärker als diese abnimmt, so daß die der HM zugeführte Spannung ansteigt.

528 660 Gr. 28 SSW 29. 11. 1924. *Kozisek.*

Zur Vergrößerung der Phasenkompensierung bei Teillast wird der sekundäre Widerstand durch Umschalten vermindert.

Bei kleinem Sekundärwiderstand wird die Wirkung der eigen- und fremderregten HM verstärkt. Die Umschaltung kann somit sowohl zur Verstärkung der Kompensation bei eigenerregtem Ph, wie auch zur Ueberkompensation bei fremderregter HM erfolgen, ohne daß diese reichlicher zu dimensionieren sind.

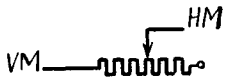
532 029 Gr. 7 SSW 21. 9. 1928. *Livoschitz und Leukert.*

Bei Kaskaden zur Lieferung von Blindleistung wird in Abhängigkeit der Netzspannung durch eine selbsttätige Schaltervorrichtung die Sekundärwicklung der VM oder die Erregerwicklung der HM von Stern auf Dreieck umgeschaltet, um einem unzulässigen Absinken der Netzspannung entgegenzuwirken.

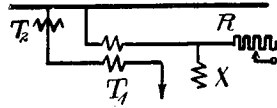
9c. Verschiedene Einrichtungen wie Schutzvorrichtungen, Verwendung zweier Hintermaschinen u. a.

303 039 Gr. 28 AEG 4. 7. 1914.

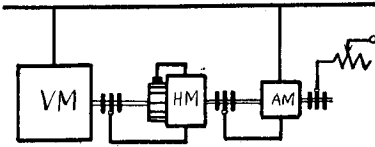
Als HM dient eine KM, deren Magnetgestell dem einer normalen Gleichstrommaschine dreifacher Polzahl entspricht (zwei Pole pro Polpaar und Phase). Die Pole werden so erregt, daß sich Spaltpole bilden (Figur 113), so daß in den kommutierenden Läuferwindungen keine Rotationsspannung erzeugt wird.



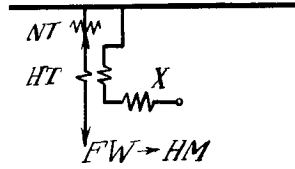
Figur 109: Schaltung des Anlaufwiderstandes gemäß DRP 480 608.



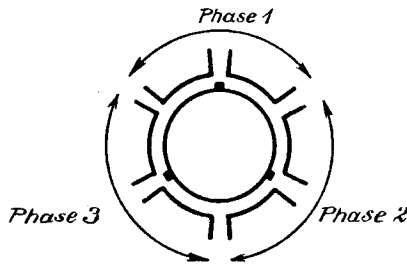
Figur 110: Reglerschaltung gemäß DRP 408 881.



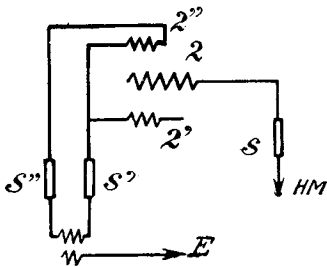
Figur 111: Schema zu DRP 474 041.



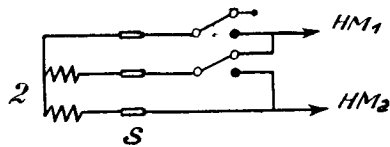
Figur 112: Schema zu DRP 520 085.



Figur 113: HM mit Spaltpolen gemäß DRP 363 039.



Figur 114: Schaltung der Hilfswicklungen gemäß DRP 500 003.



Figur 115: Schaltung der Sekundärwicklung gemäß DRP 521 807.

412 688 Gr. 28 SSW 12. 5. 1923.

Anlasser für AM mit in Kaskade geschaltetem eigenerregtem Ph, bei welchem durch einfaches Weiterdrehen ein Widerstand dem Ph parallel geschaltet und dann erst dieser von der VM getrennt wird, da dieser infolge der durch ihn bedingten Schlupferhöhung nicht plötzlich abgeschaltet werden darf.

435 474 Gr. 28 SSW 23. 4. 1925. *Kozisek.*

Bei Verwendung einer HM, die ein Drehmoment entwickelt, so daß diese bei Außerbetriebsetzung ihrer Antriebsmaschine in umgekehrter Richtung umläuft, wird die Drehrichtungsumkehr zum Abschalten der VM verwendet.

436 248 Gr. 27 SSW 19. 10. 1923. *Pagenstecher.*

Zur Verhütung unzulässiger Betriebszustände, beispielsweise bei unerwünschter Selbsterregung der HM, wird der Widerstand des Sekundärkreises in Abhängigkeit vom Auftreten dieser Zustände selbsttätig vergrößert, indem insbesondere Anlaß- und Regulierwiderstände und ihre Schalter benutzt werden.

441 864 Gr. 27 SSW 11. 12. 1924. *Kozisek.*

Bei Verwendung zweier hintereinandergeschalteter HM zur Drehzahl- und Phasenregelung wird bei geringen Abweichungen von der synchronen Drehzahl die eine der beiden HM, die mit der VM mechanisch gekuppelt ist, als AM geschaltet, um am Drehmoment der Kaskade teilzunehmen.

493 887 Gr. 27 SSW 23. 5. 1928. *Schunk.*

Steuereinrichtungen zur Beseitigung schädlicher Netzspannungsschwankungen, welche den Erregerkreis der HM öffnen oder ihre Erreger-spannung verringern, die HM abtrennen und die Anlassereinrichtungen einschalten.

495 361 Gr. 28 SSW 10. 3. 1928. *Schunk.*

Diverse Einrichtungen zum Schutz einer Kaskade mit nur elektrisch gekuppelter HM bei Störungen im Antrieb der HM.

497 552 Gr. 27 SSW 10. 1. 1925. *Kozisek.*

Die eine der beiden HM wird als eigen-, die andere als fremderregte HM ausgeführt. Diese dient vorwiegend für das Gebiet kleiner Schlüpfungen, in dem die eigenerregte HM versagt.

Zur beliebigen Beeinflussung des Leistungsfaktors bei Drehzahlregelung mit der eigenerregten HM wird die fremderregte HM z. B. über einen Hauptstromtransformator und durch eine konstante Spannung erregt.

500 003 Gr. 27 SSW 27. 9. 1927. Schenkel.

Zur Aufhebung der sekundären Streuspannung der VM wird von besonders am Grund und Kopf der Läufernuten untergebrachten Hilfswicklungen eine dem Streufluß proportionale Spannung abgenommen. In Figur 114 ist 2 die Sekundärwicklung, 2' eine am Nutengrund liegende und vom Hauptfluß durchsetzte, 2'' eine am Nutenkopf im Sekundärteil der VM liegende und vom Gesamtfluß durchsetzte Hilfswicklung. Bei dreiphasigem Läufer werden diese Wicklungen über je drei Schleifringe s , s' und s'' ausgeführt.

Die Differenzspannung der Schleifringe s' und s'' ist dem sekundären Streufluß proportional und wird beispielsweise über den Transformator T dem Erregerkreis einer HM zugeführt.

Die Erfindung ist bestimmt für Kaskaden zur Leistungsregelung, um dort neben der der Stillstandsspannung proportionalen Schlupfspannung auch die Streuspannungen völlig aufzuheben. Da die Aufhebung der Streuspannungen allein einen von der Schlüpfung unabhängigen Leistungsfaktor ergibt, sei dieses Patent auch hier erwähnt. Die Vorteile des konstanten Leistungsfaktors werden jedoch, wo dieser nicht unbedingt erforderlich ist, durch diese Hilfswicklungen im Sekundärteil der VM teuer erkauft.

503 606 Gr. 27 SSW 28. 5. 1929. Bluhm.

Einrichtung zur Verhinderung des Anlaufs einer nur elektrisch gekuppelten HM in falscher Drehrichtung.

514 808 Gr. 28 SSW 6. 3. 1925. Irion.

Sicherheitseinrichtung, die beim Ausbleiben der Antriebsenergie für die nur elektrisch mit der VM gekuppelte HM parallel zu der angeschaltet bleibenden HM einen besondern Nullpunkt herstellt.

521 807 Gr. 27 AEG 30. 3. 1930. Weiler.

Bei Verwendung zweier HM werden, bei hoher Spannung und niederm Strom der VM mit dreiphasiger, aus sechs Zweigen bestehender Sekundärwicklung, je zwei Zweige parallelgeschaltet und die beiden HM an die Enden in Serie angeschlossen; bei niederer Spannung und hoher Stromstärke werden die sechs Zweige zu zwei im Sternpunkt verbundenen Sternwicklungen geschaltet, an denen je eine der beiden HM liegt (Figur 115).

Die Umschaltung kann in der VM oder bei Verwendung von drei Schleifringen pro Phase außerhalb erfolgen.

Der Vorteil dieser Schaltung liegt darin, daß die beiden HM nie parallel geschaltet werden. Die Gefahr von Ausgleichsströmen und Selbsterregung, z. B. infolge nicht genau in der Axe der Kompensationswicklung liegender Bürsten, wird durch den stets zwischen die beiden HM geschalteten Widerstand der Sekundärwicklung der VM vermindert.

Leer - Vide - Empty

Verzeichnis der Patente.

(Sämtlich Klasse 21 d₂)

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
91 571	2	TF	9. 6. 1896	2	M. Z. 103 627, 110 260. Mit der VM mechanisch gekuppelter kompensierter FW mit getrennten Nebenschluß- und Hauptstrom-Erregerwicklungen.
94 992	2	TF	22. 8. 1895	1	Eigenerregter Ph, bestehend aus zwei gleichlaufenden, gegenseitig serie-erregten kompensierten Gleichstrommaschinen bei zweiphasigem Läufer der VM.
103 627	2	TF	11. 10. 1898	3	Z. z. 91 571. Selbstlauf der HM mittels Kompensations- und Schleifringwicklung.
110 260	6	TF	28. 6. 1899	4	Z. z. 91 571. Netzregter Kaskadenumformer.
114 306	6	Boucherot	22. 6. 1899	4	Maschine mit Wicklungselementen, deren Windungszahl sich nach einem Sinusgesetz ändert.
138 065	31	UEG	16. 11. 1901	4	Mit der VM mechanisch gekuppelter netzregter IFW.
144 576	6	Blondel	15. 4. 1902	3	Erregung des FW mit gemeinsamer Kommutator- und Schleifringwicklung über Spannungs- und Stromtransformatoren.
148 305	27	Bragstad u. la Cour	15. 5. 1902	6	Mechanisch gekuppelte selbsterregte KM beliebiger Bauart.
154 131	6	Latour	12. 12. 1902	4	Unkompensierte KM mit über rotierende Bürsten mit Netzfrequenz erregter Kommutatorwicklung im Ständer.
157 378	2	SAW	6. 3. 1903	1	Mehrphasiger eigenerregter Ph mit unbewickeltem Ständer mit Kommutationsnuten gegenüber den Bürsten.
169 453	27	FGL	19. 3. 1905	6	M. Z. 174 247. Mechanisch gekuppelte selbsterregte KM beliebiger Schaltung zur Drehzahlregelung.
174 247	27	FGL	4. 7. 1905	6	Z. z. 169 453. Mehrere miteinander gekuppelte Einphasen-KM werden so erregt, daß die Spannungen an den Magnetspulen senkrecht auf den Spannungen der zugehörigen Anker stehen.
178 461	29	FGL	28. 10. 1902	3	Selbstlauf des FW mittels Neben- oder Hauptschluß-Ständerwicklung.
179 525	30	Scherbius	19. 7. 1905	6	Elektrisch gekuppelte HM.
191 859	29	Milch	8. 12. 1906	4	Erregung der HM durch mit der VM mechanisch gekuppelten netz-erregten FW.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
193 875	27	Scherbius	27. 7. 1906	6	Verwendung mehrerer Einphasen-KM, deren Feld von mindestens zwei Phasen erregt wird.
200 343	7	BBC	15. 10. 1907	4	Erregung der HM vom Netz über synchron mit der VM umlaufenden Kommutator mit Widerstandsverbindungen zwischen den Lamellen.
211 803	27	BBC	3. 3. 1907	9 a	Stern-Dreieckumschaltung der Sekundärwicklung der VM zur Drehzahlregelung.
223 612	14	SSW	30. 7. 1909	2	Einstellbare Kupplung zur Phasendrehung beim kompensierten FW.
227 995	27	AEG	11. 4. 1909	9 a	Gruppenweise Reihen- oder Parallelschaltung der Sekundärwicklung der VM zur Drehzahlregelung.
230 452	28	SSW	30. 7. 1909	2	Transformator zur Kompensation des Sekundärstromes beim FW ohne Kompensationswicklung.
232 281	2	WEC	31. 12. 1909	6	Reihenschluß-KM besonderer Bauart.
232 282	28	BBC	2. 11. 1909	6	M. Z. 232 664, 250 369. Abstimmung des Erregerkreises der Nebenschluß-KM.
232 664	28	BBC	9. 4. 1910	6	Z. z. 232 282. Abnahme der Erregerspannung an besondern Hilfsbürsten.
235 040	29	SSW	18. 3. 1909	2	Erregung des unkompensierten FW über Nebenschluß- und Hauptschlußtransformator.
240 718	30	BBC	26. 8. 1910	4	Erregung der HM über EU durch eine mit der VM gekuppelte Gleichstrommaschine.
241 188	29	BBC	14. 8. 1910	4	Z. z. 191 859. Erregung der ständererregten HM durch einen netzerregten FW und die Schleifringspannung der VM.
242 375	29	SSW	29. 8. 1909	6	Z. z. 235 040. Umformung der Schlüpfungsenergie auf Netzfrequenz mittels Motor-Generatoren annähernd konstanter Drehzahl.
242 426	24	SACM	22. 8. 1911	2	Antrieb des FW über ein Differentialgetriebe durch zwei SM.
247 992	29	W & O	16. 10. 1910	3	Selbstlauf des FW mittels induktiv erregter Ständerwicklung.
248 243	38	W & O	1. 12. 1910	3	Selbstlauf und Regelung der HM zur Phasenkompensation und Kompoundierung der VM durch zwei Kommutatorwicklungen im Ständer.
248 380	29	W & O	15. 11. 1910	3	M. Z. 265 735. Selbstlauf und Regelung der HM zur Phasenkompensation und Drehzahlregelung der VM durch eine einstellbare aufgeschnittene Kommutatorwicklung im Ständer.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
250 333	2	BBC	24. 4. 1910	6	M. Z. 252 170. Selbsterregter Wechselstrom-Kommutatorgenerator mit unabhängiger Regelung von Spannung und Frequenz.
250 369	28	BBC	30. 10. 1910	6	Z. z. 232 282. Nebenschluß-KM mit zusätzlicher Hauptstrom-Erregung zur Kompensation der Streuspannungen der VM.
250 725	28	BBC	30. 4. 1911	6	Starke Sättigung der Reihenschluß-KM zur Erzielung einer günstigen Leistungsfaktor-Charakteristik.
252 170	30	BBC	13. 9. 1910	6	Z. z. 250 333. Selbsterregte KM zur unabhängigen Leistungsfaktor- und Drehzahlregelung.
254 208	29	SSW	15. 8. 1909	9 a	Serie-Parallelschaltung der Sekundärwicklung der VM mit in Kaskade geschaltetem FW.
254 611	29	W & O	23. 10. 1910	3	Ausschließlich an der Ständerwicklung geregelte selbstlaufende HM.
265 734	27	W & O	30. 1. 1912	3	Mit der VM mechanisch gekuppelte HM, die nur zur Lastverteilung an der Ständerwicklung reguliert wird.
265 735	27	W & O	30. 1. 1912	3	Z. z. 248 380. Mit der VM mechanisch gekuppelte und nur an der Ständerwicklung regulierte HM.
265 909	29	W & O	30. 1. 1912	3	Elektrisch oder mechanisch gekuppelte HM mit einstellbarer und mittels Widerstand geregelter Nebenschlußwicklung im Ständer.
274 548	28	BBC	23. 5. 1913	1, 6	Eigenerregter Ph oder Serie-KM mit Phasenwicklung im Ständer und Kurzschlußwicklung im Läufer für Selbstlauf als AM.
275 571	28	BBC	17. 12. 1910	1	M. Z. 276 429, 280 958. Starke Sättigung des Ph ohne Ständer zur Beeinflussung der Spannungscharakteristik.
276 429	28	BBC	23. 3. 1911	1	Z. z. 275 571. Parallelschalten von Widerstand zum Ph zur Regulierung der Kompensation.
280 958	28	BBC	27. 5. 1911	1	Z. z. 275 571. Ph mit Ringwicklung und Hilfspolen zur Verbesserung der Kommutation.
292 243	2	MFO	5. 4. 1914	1	Verwendung mehrerer einphasiger als Ph wirkender Kommutatoranker mit Erreger- und Kurzschlußbürsten.
298 278	28	SSW	14. 1. 1914	9 a	Serie-Parallelschaltung der Sekundärwicklung der VM zur Verbesserung der Kompensation bei geringen Belastungen.
302 285	27	SSW	11. 11. 1914	3	M. Z. 380 391. Verwendung einer durch Bürstenverschiebung geregelten läufergespeisten KM als HM.
303 039	28	AEG	4. 7. 1914	9 c	HM mit Spaltpolen

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
303 428	28	SSW	29. 5. 1915	1	Erhöhung der Spannung des Ph bei Drehzahlregelung mit Ohmschem Widerstand.
311 952	28	AEG	25. 1. 1917	6	M. Z. 475 243. Unkompensierte selbsterregte Reihenschluß-KM.
311 994	27	AEG	9. 8. 1917	5	Erregung der HM über FW zur Deckung der Ohmschen und über einen an die Schleifringe der VM angeschlossenen Transformator für die induktiven Spannungsabfälle des Erregerkreises.
320 541	29	SACM	29. 4. 1913	2	Antrieb des FW durch doppelt gespeiste AM.
325 385	28	SSW	29. 3. 1914	1	M. Z. 326 347. Schaltung des Schlupf Widerstandes parallel zum Ph zur Entlastung des Kommutators.
326 347	28	SSW	16. 8. 1914	1	Z. z. 325 385. Schaltung des Schlupf Widerstandes teils in Serie, teils parallel zum Ph, um für diesen günstige Strom- und Spannungsverhältnisse zu erhalten.
348 612	27	BBC	19. 10. 1920	5	Schaltung für richtige Kompensation ohne Umschaltung beim Durchgang durch Synchronismus.
380 391	27	SSW	13. 6. 1920	3	Z. z. 302 285. HM nur elektrisch mit der VM gekuppelt.
391 157	14	AEG	2. 12. 1922	2	Schleifringkörper gegenüber dem Kommutator drehbar zur Einstellung der Spannungsphase.
391 204	27	SSW	24. 3. 1920	2	M. Z. 392 297 u. 395 274. Erregung des kompensierten FW mittels einer SM.
392 205	30	SSW	8. 8. 1920	5	M. Z. 489 136. Erregung der HM mittels FW und IFW in Serie.
392 297	27	SSW	24. 8. 1920	2	Z. z. 391 204. Verwendung eines Stufentransformators zur Grobregulierung.
394 129	29	AEG	25. 1. 1922	2	FW mit der VM durch einstellbare magnetische Kupplung verbunden.
394 529	28	SSW	13. 6. 1920	3	M. Z. 401 681. Regelbarer Widerstand parallel zur Ständerwicklung der läufererregten HM.
395 274	27	SSW	25. 8. 1920	2	Z. z. 391 204. Synchrone EM mit zwei um 90° axenverschobenen Erregerwicklungen.
401 529	27	AEG	9. 3. 1922	9a	Anlauf der VM zwischen Kippgrenze und ideellem Kurzschlußpunkt der Charakteristik.
401 681	27	SSW	7. 6. 1921	3	Z. z. 394 529. Hilfswicklung auf dem Ständer des FW.
407 194	27	BBC	22. 3. 1921	5	Abnahme der Erregerspannung von einem netzerregten FW und den Schleifringen der VM.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
407 847	27	AEG	24. 10. 1922	9 b	M. Z. 408 881. Wasserwiderstand im Primärkreis des Erregertransformators zur Drehzahlregelung bei gleichzeitiger Phasenkompensierung.
408 881	27	AEG	29. 12. 1922	9 b	Z. z. 407 847. Verwendung einer Drosselspule zur Verhinderung der Phasendrehung des Erregerstromes der HM.
412 688	28	SSW	12. 5. 1923	9 c	Einschalten von Widerstand beim Abschalten des Ph.
416 258	28	Pöge	8. 1. 1924	1	Aufbau der Schleifringe der VM auf den Ph.
425 122	28	SSW	13. 9. 1922	1	Ph mit Ständerkurzschlußwicklung.
426 840	27	SSW	20. 2. 1924	2	M. Z. 429 232, 523 375. Asynchron betriebener FW.
427 741	29	Torda	13. 2. 1924	2	Erregung des FW durch mechanisch gekuppelten netzerregten IFW.
429 232	27	SSW	2. 5. 1924	2	Z. z. 426 840. Verwendung einer der zur Erregung dienenden Hilfsmaschinen als Antriebsmaschine der HM.
435 474	28	SSW	23. 4. 1925	9 c	Abschaltung der VM bei Betriebsstörungen der HM.
436 248	27	SSW	19. 10. 1923	9 c	Verhütung unzulässiger Betriebszustände durch einen selbsttätig geregelten Widerstand im Sekundärkreis.
439 309	27	BBC	26. 5. 1925	5	Schaltung einer Serie-KM in den Erregerkreis der HM.
441 566	27	BBC	12. 1. 1924	4	Erregung der HM mittels einer EM unter Zwischenschaltung eines FW.
441 718	28	SSW	17. 2. 1925	2	Kompensierter FW mit zwei getrennten Kommutatorwicklungen.
441 864	27	SSW	11. 12. 1924	9 c	Zeitweise Verwendung einer von zwei HM als AM.
442 086	27	SSW	8. 3. 1925	2	Erregung der HM durch asynchrones Erregeraggregat.
443 390	28	SSW	5. 6. 1921	1	M. Z. 455 319. Käfigwicklung im Ständer des Ph zur Verbesserung der Kommutation.
455 319	28	SSW	3. 11. 1923	1	Z. z. 443 390. Ph mit frei umlaufendem Ständer mit Käfigwicklung zur Verbesserung der Kommutation.
461 887	28	SSW	16. 11. 1924	9 a	M. Z. 523 162. Feldschwächung im Primärkreis der VM zum Anlauf.
461 986	29	MFO	1. 2. 1925	2	Kommutatorseitig erregter FW mit vom Primärstrom erregter Kompensationswicklung.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
463 147	27	AEG	6. 5. 1926	9 b	M. Z. 468 457. Regelung der Wirk- und Blindleistung mit verschiedenen rasch wirkenden Regelorganen.
464 776	27	SSW	18. 6. 1926	2	Anschluß von Kondensatoren an die Schleifringe des FW zur Verringerung der Erregerleistung und Verbesserung der Kommutation.
467 238	28	SSW	26. 5. 1927	1	Zwei elektrisch und mechanisch gekuppelte Ph.
468 024	28	SSW	10. 1. 1925	1	Verwendung zweier Ph.
468 228	27	SSW	2. 4. 1925	9 a	Anschluß des Anlassers an Anzapfungen der Sekundärwicklung der VM.
468 457	30	AEG	15. 6. 1926	9 b	Z. z. 463 147. Synchrone EM mit zwei aufeinander senkrechten Erregersystemen.
470 444	2	SSW	30. 8. 1925	8	Betrieb des kompensierten FW als selbsterregter Seriengenerator zur Einleitung der Selbsterregung bei als Generator arbeitender VM.
470 757	28	SSW	3. 7. 1926	2	Verwendung des Anwurfmotors der VM als EM der HM.
471 182	28	SSW	5. 10. 1924	7	M. Z. 483 589, 489 747, 502 886, 504 594, 508 691, 514 942, 524 114. Selbsterregte HM mit Ständerkurzschlußwicklung.
472 310	27	SSW	25. 6. 1926	9 b	Erregung der HM durch einen in A-B-C-Schaltung geregelten Transformator.
474 028	28	SSW	4. 11. 1923	1	Als AM selbstlaufender eigenerregter Ph.
474 041	27	SSW	1. 1. 1927	9 b	In den Erregerkreis der HM wird eine synchron mit der VM laufende AM geschaltet, zur Beeinflussung ihres Leistungsfaktors in Funktion der Schlüpfung.
474 088	27	SSW	30. 6. 1926	9 a	Anlauf der VM mittels konstanten Widerstandes und der HM als Anwurfmotor.
475 243	28	AEG	29. 4. 1927	6	Z. z. 311 952. Reihenschluß-KM mit Erregerspulen von $\frac{1}{3}$ Polteilung.
475 762	28	SSW	2. 3. 1296	9 a	Anlauf der VM mit festem und regelbarem Widerstand im Sekundärkreis und Stern-Dreieck-Umschaltung.
476 719	27	BBC	15. 5. 1925	5	M. Z. 501 321. Erregermaschine mit starker Ankerrückwirkung zur Verminderung des Einflusses des induktiven Spannungsabfalles im Erregerkreise.
479 509	27	SSW	21. 10. 1925	7	HM, deren Ständerwicklung mittels eines im Sekundärkreise liegenden Stromtransformators erregt wird.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
479 737	27	F & A ¹⁾	11. 4. 1928	6	Serie-KM mit doppeltem Bürstensatz und im Stromkreis einer regelbaren Impedanz liegender Nebenschlußwicklung.
479 789	27	BBC	31. 1. 1928	5	Kompensierte Doppel-KM zur Speisung eines Stromkreises veränderlichen Widerstandes mit einem ihrem Erregerstrom proportionalen Strom.
480 372	27	AEG	3. 9. 1927	3	Unterdrückung von Pendelungen bei durch synchrone EM erregter HM.
480 608	28	SSW	25. 5. 1926	9 a	Regelbarer Anlaßwiderstand mit festem Sternpunkt.
482 301	27	BBC	15. 6. 1924	6	Reihenschluß-KM mit Nebenschlußwicklung zur Phasenkompensation bei Leerlauf der VM.
482 302	28	SSW	18. 12. 1926	5	Schaltung eines FW mit an die Schleifringe angeschlossenen Kondensatoren in den Erregerkreis der HM.
482 371	27	SSW	6. 4. 1928	6	Serie-KM mit fremderregter Wicklung zur Phasenkompensation bei Leerlauf.
482 454	27	AEG	4. 2. 1926	2	Erhöhung des Sekundärwiderstandes der VM zur Vergrößerung der Ueberlastungsfähigkeit.
483 292	27	SSW	5. 5. 1926	2	Erregung des FW durch eine ständererregte KM.
483 419	27	SSW	22. 7. 1928	5	Erregung des die HM erregenden FW mittels selbsttätig gesteuerter Doppel-Drehtransformatoren.
483 589	28	SSW	26. 6. 1926	7	Z. z. 471 182. Axiale Verschiebung von Ständer- und Läuferwicklung der HM zur Regelung der Selbsterregung.
484 040	27	AEG	12. 11. 1926	5	Schaltung eines eigenerrigten Ph beliebiger Drehzahl in den Erregerkreis der HM.
484 470	27	SSW	24. 9. 1927	4	EM mit von der Arbeitsläuferwicklung getrennter Erregerwicklung im Läufer.
486 358	7	SSW	21. 5. 1926	9 b	Selbsttätige Regulierung einer Blindleistungsmaschine auf $\cos \varphi = 1$ vor dem Abschalten.
486 653	27	SSW	20. 4. 1927	5	M. Z. 512 809, 525 755, 533 144. Zusätzliche Erregung der EM durch einen Stromtransformator im Erregerkreis der HM.
487 021	27	SSW	30. 6. 1925	5	Schaltung eines eigenerrigten Ph in den Erregerkreis der HM.
487 125	27	SSW	13. 5. 1927	5	Erzeugung einer dem Quadrat der Schlüpfung proportionalen Spannung.

¹⁾ Forges & Ateliers de constructions électriques de Seumont, S. A., Paris.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
489 136	27	SSW	30. 10. 1926	5	Z. z. 392 205. Schaltung einer EM zwischen IFW und HM.
489 710	38	SSW	13. 4. 1924	6	HM mit regelbarer Hilfsschleifringwicklung.
489 746	27	SSW	13. 5. 1927	5	Einführung der Spannung eines Ohmschen Widerstandes im Erregerkreis der HM in den Erregerkreis des speisenden FW.
489 747	28	SSW	11. 2. 1927	7	Z. z. 471 182. Regulieren der HM mittels eines an Schleifringen angeschlossenen Blindstromverbrauchers.
493 887	27	SSW	23. 5. 1918	9 c	Schutzvorrichtung gegen die Folgen von Spannungsschwankungen im Primärnetz.
494 229	27	SSW	21. 10. 1926	4	Erregung des die HM speisenden FW vom Netz und mittels eines IFW von Hilfsschleifringen der VM.
494 230	27	SSW	1. 1. 1927	3	HM oder EM mit Erregerwicklung im Ständer und im Läufer.
494 440	28	SSW	15. 7. 1926	7	Z. z. 471 182. Regulieren der HM mittels kommutatorseitig angeschlossener Drosselspule.
495 109	29	SSW	12. 7. 1927	2	Uebersynchron betriebener FW.
495 361	28	SSW	10. 3. 1928	9 c	Schutzvorrichtungen bei Störungen im Antrieb der nur elektrisch gekuppelten HM.
495 609	28	SSW	7. 11. 1923	1	Ph mit Phasenwicklung im Läufer und Kurzschlußwicklung im Ständer für Selbstlauf als AM.
495 650	27	SSW	26. 5. 1927	7	Verwendung der HM nach DRP 471 182 als Seriemotor.
496 175	27	SSW	28. 4. 1926	5	Anschluß der Erregerwicklung der HM an eine Hilfskommutatorwicklung.
496 176	27	SSW	27. 4. 1927	5	Erregung der EM mittels eines FW mit der Schlüpfung proportionaler Spannung.
496 398	27	SSW	24. 6. 1926	7	Verwendung einer Serie-KM mit kurzgeschlossener Ständerwicklung zur Kompensation bei Leerlauf.
497 552	27	SSW	10. 1. 1925	9 c	Gleichzeitige Verwendung einer eigen- und fremderregten HM.
497 555	28	SSW	6. 10. 1927	1	Einbau des Ph in den Anwurfmotor der VM.
499 131	28	SW	31. 12. 1924	6	Erregung der HM mittels einer in einer Hilfsäuferwicklung induzierten Spannung.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
500 003	27	SSW	27. 9. 1927	9 c	Erregung der HM mit der Spannung einer Hilfswicklung im Sekundärteil der VM.
500 004	29	SSW	29. 9. 1927	2	FW ohne Kompensationswicklung mit Käfigwicklung im frei drehbaren Ständer zur Verbesserung der Kommutation.
500 507	28	SSW	25. 10. 1925	4	HM mit frei drehbarer, gleichstromerregter Ständerwicklung oder fester Gleichstromwicklung im Ständer und angetrieben umlaufenden Bürsten.
500 837	29	ASEA	11. 10. 1927	4	Einführung einer primären Hauptstromspannung primär und sekundär vom Nebenschlußtransformator.
500 925	27	SSW	2. 4. 1925	9 a	Anlauf der VM mit einem Teil ihrer Sekundärwicklung.
501 321	27	BBC	25. 1. 1927	5	Z. z. 476 719. Zwischenschaltung einer EM nach dem Hauptpatent.
502 455	29	SSW	13. 5. 1927	5	Einführung beliebiger Regelspannungen in Wechselstromkreise mittels zweier FW.
502 886	28	SSW	4. 10. 1925	7	Z. z. 471 182. Erregung der Ständerwicklung über einen im Sekundärkreis liegenden Stromtransformator.
503 606	27	SSW	28. 5. 1929	9 c	Verhinderung des Anlaufs der nur elektrisch gekuppelten HM in falscher Drehrichtung.
504 012	28	AEG	7. 7. 1929	4	Gegenkompoundwicklung zur Verhinderung der Selbsterregung der HM.
504 594	28	SSW	14. 7. 1929		Z. z. 471 182. Starke Sättigung des Ankereisens der HM zur Beeinflussung der Spannungscharakteristik.
507 547	7	SSW	16. 5. 1926	9 b	Erhöhung der Kompensation bei sinkender Netzspannung.
507 664	27	SSW	30. 5. 1925	9 a	M. Z. 520 085 Anlauf der VM mittels Transformators im Sekundärkreis zur Verkleinerung der Sekundärspannung.
507 665	28	SSW	25. 7. 1929	6	Selbsterregte HM, deren Ständereisen geringere axiale Länge hat als das Läuferisen.
507 933	27	SSW	25. 5. 1927	5	Einführung der Spannung einer Hilfswicklung im Sekundärteil der VM in die Erregerwicklung der HM.
508 494	27	SSW	6. 10. 1928	5	Einführung der durch einen FW umgeformten Schleifringspannung der VM in den Erregerkreis des die HM erregenden FW.
508 691	28	SSW	24. 7. 1929	7	Z. z. 471 182. KM mit Ständer-Kurzschluß- und Hauptschlußwicklung.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt-od. Zusatzpatente
509 278	27	SSW	18. 7. 1929	5	Mit konstanten und variablen Gleichspannungen erregte synchrone EM.
509 280	28	SSW	22. 10. 1926	5	Schaltung eines mit einer der Schlüpfung proportionalen Drehzahl angetriebenen Ph in den Erregerkreis der HM.
510 309	29	AEG	30. 5. 1925	2	Zwangsläufige Verbindung zwischen Erregerdrehtransformator und Kommutatorbürsten des unkompensierten FW.
510 476	27	SSW	23. 8. 1928	5	Kupplung der Klemmenspannungen verschiedener Maschinen einer Kaskade.
510 477	28	SSW	22. 12. 1928	9 a	Anlauf der VM mit konstantem Widerstand.
510 818	28	MFO	8. 12. 1927	2	Antrieb des kompensierten FW mittels eines regelbaren Asynchronmotors.
511 232	27	SSW	13. 5. 1927	5	Erzeugung einer dem Quadrat der Schlüpfung proportionalen Spannung.
511 233	27	SSW	5. 7. 1928	8	M. Z. 527 970. Mittels eines IFW selbsterregter kompensierter FW.
511 824	27	SSW	30. 6. 1925	2	Erregung der HM mittels einer Gleichstromwicklung im Primärteil der VM.
512 047	27	SSW	16. 12. 1926	5	Einführung der Spannung einer mittels Dreh-Serietransformators erregten KM in den Erregerkreis der HM.
512 809	29	SSW	5. 5. 1927	5	Z. z. 486 653, Verwendung eines kompensierten FW. M. Z. 525 755, 533 144.
514 808	28	SSW	6. 3. 1925	9 c	Kurzschlußvorrichtung im Sekundärkreis der VM für den Fall des Ausbleibens der Antriebsenergie für die elektrisch gekuppelte HM.
514 942	28	SSW	19. 6. 1926	7	Z. z. 471 182. KM mit Ständerkurzschlußwicklung und Nebenschluß- oder Seriewicklung zur Einleitung der Selbsterregung.
515 401	27	SSW	27. 2. 1929	9 a	Anlassen der VM mittels festen Widerstandes und Oelanlassers.
515 477	27	SSW	24. 7. 1929	5	Erzeugung mehrerer nach einer Potenzfunktion von einander abhängiger Spannungen in je einem Transformator zur Erregung der HM.
515 915	27	BBC	24. 11. 1922	6	KM mit Nebenschluß- oder Verbunderregung zur Schlupferhöhung und Phasenkompensation.
516 475	27	SSW	17. 11. 1929	4	Dreieckschaltung der Kompensationswicklung der HM bei offener Sekundärwicklung der VM.
518 661	27	AEG	18. 5. 1920	5	Von einer Hilfswicklung im Ständer der HM erregte KM.

Patent-No.	Gr.	Pat.-Nehmer	Anmeldung	Abschn.	Haupt- od. Zusatzpatente
519 424	2	SSW	11. 12. 1925	7	Einleitung der Selbsterregung bei der Kozisek-Maschine durch künstliche Erhöhung der Schlüpfung.
519 715	28	SW	6. 5. 1926	1	Ph mit Ständerwicklung und in besondern Nuten untergebrachter Kurzschlußwicklung im äußern Umfang des Läufer Eisens für Selbstlauf als AM.
519 909	27	SSW	17. 1. 1929	9 b	Erregung der HM mittels eines Drehtransformators mit Reihenschaltung seiner beiden gegeneinander verdrehbaren Wicklungen.
520 085	7	SSW	21. 9. 1928	9 b	Z. z. 507 547. Serietransformator mit Eisendrossel im Primärkreis zur Erhöhung der Erregerspannung der HM bei sinkender Netzspannung.
521 807	27	AEG	30. 3. 1930	9 c	Besondere Schaltung der Sekundärwicklung der HM bei Verwendung zweier HM.
523 375	27	AEG	4. 1. 1930	2	Z. z. 426 840. Abnahme der Erregerspannung für die EM an den Schleifringen der Antriebsmaschine der HM.
524 114	27	SSW	9. 2. 1930	7	Z. z. 471 182. Schaltung einer Serie-KM in den Ständerstromkreis der HM zur Regulierung der Selbsterregung.
525 755	27	SSW	11. 10. 1927	5	Z. z. 512 809. Verwendung eines FW mit Nebenschluß-Ständerwicklung zur Verringerung der Leistung des Serietransformators.
527 970	27	SSW	17. 11. 1929	8	Z. z. 511 233. Verwendung des Anwurfmotors der VM als IFW zur Erregung der HM nach dem Hauptpatent.
528 162	28	SSW	10. 5. 1930	9 a	Z. z. 461 887. Anlauf der VM mit einem in ihren Primärkreis geschalteten leerlaufenden Wechselstrommotor.
528 660	28	SSW	29. 11. 1924	9 b	Verminderung des sekundären Widerstandes der VM zur Verbesserung der Kompensation bei Teillast.
528 834	28	SSW	26. 4. 1927	5	Einführung der Spannung einer fremdangetriebenen, mit Kondensatoren belasteten AM in den Erregerkreis der HM.
532 029	7	SSW	21. 9. 1928	9 b	Stern-Dreieckumschaltung der Sekundärwicklung der VM oder der Erregerwicklung der HM in Abhängigkeit der Netzspannung bei Blindleistungsmaschinen.
533 144	29	SSW	24. 12. 1927	5	Z. z. 512 809. Anordnung zur Aufhebung der Reaktanzspannung der Kompensationswicklung des einen der beiden FW in der Schaltung nach dem Hauptpatent.

Berichtigungen.

S. 74 Mitte Figur 15 statt Figur 16.

S. 99 Figur 57 DRP 265 909 statt 265 734.

Figur 58 DRP 265 734 statt 765 909.

Lebenslauf.

Der Verfasser, Max Leumann, von Berg, Thurgau, wurde geboren am 27. November 1905 in Frauenfeld, besuchte die dortige Primar- und Kantonsschule, wo er an der technischen Abteilung im Herbst 1925 das Maturitätszeugnis erwarb.

Anschließend studierte er an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich und bestand daselbst im Sommer 1929 die Diplom-Prüfung als Elektroingenieur.