

KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1981/1982

Leitung:

Bundesamt für Übermittlungstruppen

Divisionär J. Biedermann, Waffenchef der Übermittlungstruppen

USV-Anlagen: Unterbruchsfreie Stromversorgungsanlagen

Referent: P. Küng, El. Ing. HTL

5-1

USV-ANLAGEN: UNTERBRECHUNGSFREIE STROMVERSORGUNGSANLAGEN. KONZEPTE UND DEREN ANWENDUNGEN

P. Küng, El. Ing. HTL

INHALTSVERZEICHNIS

1. Geschichtliche Entwicklung
2. Technik der statischen USV-Anlagen
3. Systemkonfigurationen
4. Anwendungsgebiete
5. Stromversorgungskonzepte
6. Neue Trends in der Stromrichtertechnik
7. Ausblick

Adresse des Autors:

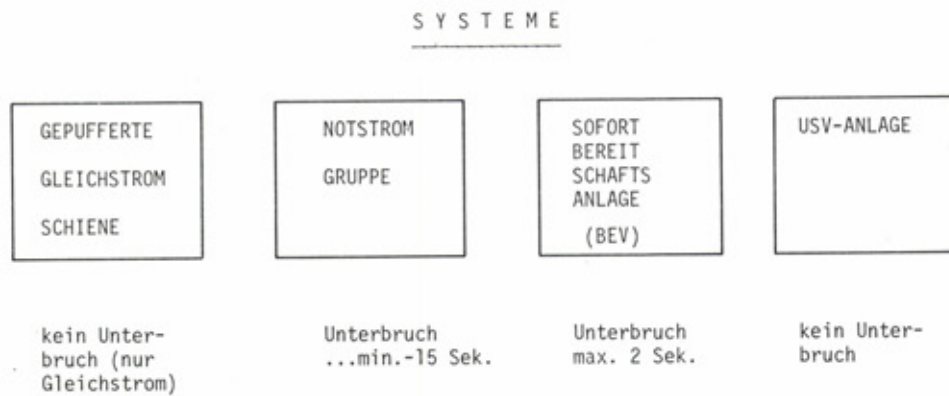
Peter Küng, El. Ing. HTL
Brown Boveri AG
5401 Baden

"Krieg im Aether", Folge XXI

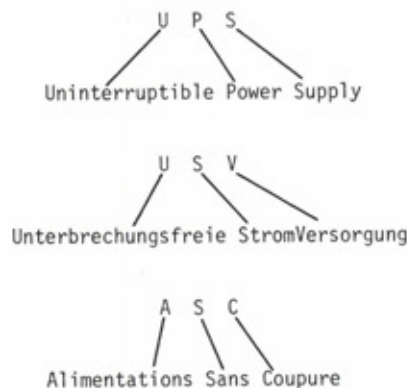
5 - 2

1. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG

Ich habe schon mehrmals den Ausdruck USV-Anlagen erwähnt. Ich muss daher an dieser Stelle diese Begriffserklärung nachholen. In den Stromversorgungs-Systemen könnte man grundsätzlich zwischen 4 Kategorien unterscheiden.



Die Kategorie der gesicherten Gleichstromschiene ist uns von der Kraftwerktechnologie her bekannt. Sie kann als unterbrechungsfreie Stromversorgung angesehen werden, jedoch nur für Gleichstromverbraucher. Die zweite Kategorie, die Notstromgruppen, ist uns auch bekannt. Es ist der konventionelle Dieselgenerator. Je nach Konzept erhalten wir einen Unterbruch bei Netzausfall von einigen Minuten bis minimal 15 Sekunden. In der Spezialkategorie Sofortbereitschafts-Anlagen (oder besondere Ersatzstromversorgung) finden wir spezielle Geräte wie z.B. den Dieselgenerator, der von einem Schwungrad gestartet wird, oder im Leerlauf betriebene Gruppen, die bei Netzausfall umgeschaltet werden. Diese Kategorie kann überall dort angewendet werden, wo ein Unterbruch bis zu max. 2 Sekunden toleriert werden kann. In der vierten Kategorie finden wir die unterbrechungsfreie Stromversorgungs-Anlage, welche, wie der Begriff schon definiert, keinen Unterbruch garantiert. Folgende Begriffe sind definiert:



Eine technische Einrichtung kann meistens als eine Problemlösung angesehen werden. Wir können deshalb zuerst nach dem Problem fragen! Schon bald nach der intensiven Anwendung der elektrischen Energie wurde man auch von dieser abhängig. Natürlich nicht in dieser Masse, wie es heute der Fall ist. In der Telephonie erkannte man schon sehr früh den Bedarf für eine gesicherte Stromversorgung. Man wollte bei einem Netzzunterbruch nicht auf das Telephon verzichten müssen. In diesem Anwendungsbereich gestaltete sich die erforderliche Problemlösung sehr einfach. Die verwendete Gleichspannung von 48 V wurde aus dem Netz mittels Transformator und Gleichrichter gewonnen (Fig. 1). Um eine gesicherte Stromversorgung zu erreichen, musste lediglich ein Energiespeicher, "der Blei-Akkumulator", eingesetzt werden. Beim Ausfall des Netzes übernimmt die Batterie, ihrer Kapazität entsprechend, während einer gewissen Zeit die Versorgung.

5 - 3

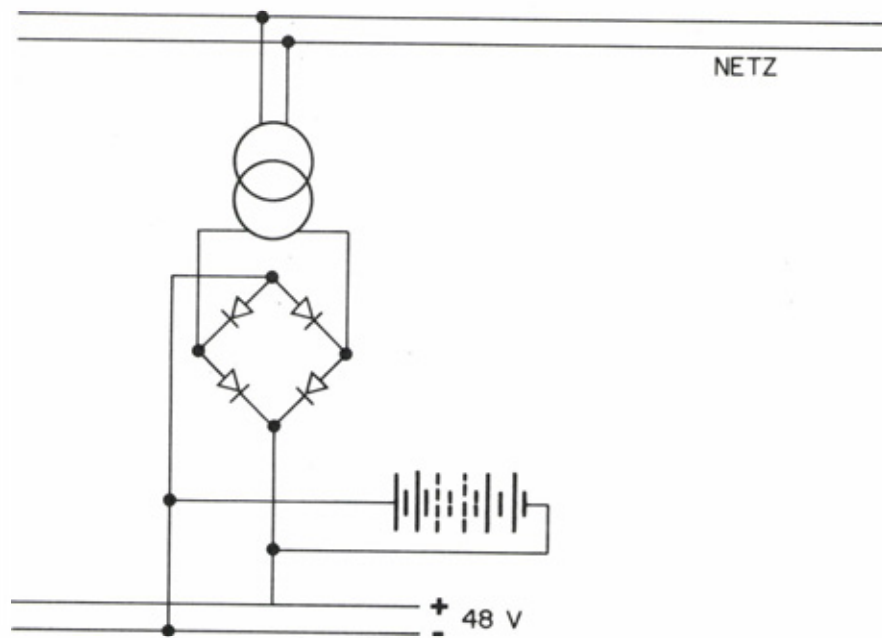


Fig. 1 USV für Gleichspannungsnetz (Telephonie)

Etwas schwieriger gestaltete sich die Problemlösung bei einem Wechselstromverbraucher. Schon sehr früh hatten gewisse Verbraucher eine Wichtigkeit erreicht, die bei einem Netzausfall eine Ersatzstromquelle verlangten. Ich möchte an dieser Stelle besonders auf die militärischen Anlagen hinweisen. Der Dieselgenerator kam zum Einsatz (Fig. 2). Die Funktion dieser Ersatzstromquelle brauche ich nicht näher zu erläutern.

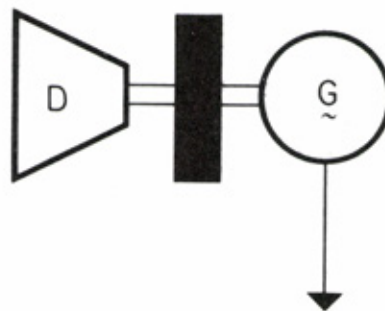


Fig. 2 Dieselgenerator

Diese zwei Systeme sehe ich als eigentlichen Ausgangspunkt in der Entwicklung der Ersatzstromanlage bis zur heutigen statischen USV-Anlage. Die Anforderungen an die Ersatzstromquelle sind von seitens der Verbraucher her ständig gestiegen. Beginnend mit dem Dieselgenerator, der eine schwankende Ausgangsspannung und Frequenz abgibt, sind wir heute bei der USV-Anlage von höchster Qualität angelangt. Zwischenzeitlich und teilweise auch heute noch kommen folgende andere Systeme zu Einsatz: Ich möchte diese Systeme hier erläutern, weil sie eine gewisse Entwicklung zur statischen USV-Anlage bedeuten.

5 - 4

Fig. 2 zeigt den Dieselgenerator mit Schwungrad, der uns allen bekannt ist. Er wird bei Netzausfall manuell oder automatisch gestartet und versorgt die Last nach einem Unterbruch von Minuten bis minimal 15 Sekunden.

Beim System nach Figur 3 wird die kritische Last dauernd aus dem Synchron-Generator gespeisen. Angetrieben wird dieses Aggregat durch eine Asynchron-Maschine vom Netz. Wenn das Netz ausfällt, wird über die magnetische Kupplung der Diesel hochgerissen. Nach wenigen Sekunden startet der Diesel und übernimmt den Antrieb der Gruppe. Während dem Dieselstart erhalten wir einen beträchtlichen Drehzahlabfall. Da ja bekanntlich die Frequenz der Drehzahl proportional ist, kann es nicht vermieden werden, dass die Frequenz und teilweise die Spannung einen ziemlichen Einbruch erleiden. Dieses System kann heute daher nicht mehr für Computerspeisungen verwendet werden.

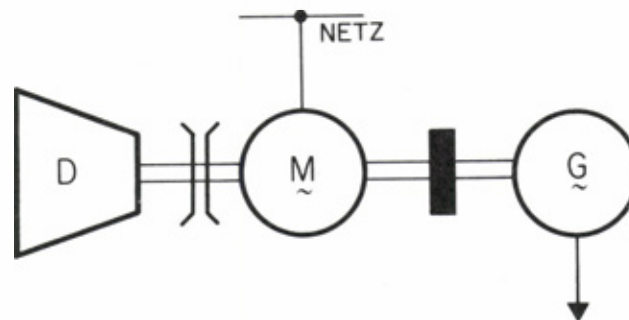


Fig. 3 Synchrongenerator mit Asynchronmaschine und Dieselgenerator

Beim System nach Figur 4 wird die kritische Last vom Generator gespeisen. Angetrieben wird diese Gruppe wiederum durch den Asynchron-Motor, der vom Netz her versorgt wird. Die Gleichstrommaschine arbeitet bei Vorhandensein des Netzes im generatorischen Bereich und versorgt die Batterie mit Schwebeladungserhaltungs-Strom. Bei Netzausfall wird nun diese Gleichstrommaschine umgesteuert in den motorischen Betrieb und die Batterie liefert den Strom, um das Aggregat anzutreiben. Diese Gruppe ist sehr kostspielig bezüglich Unterhalt und ist daher heute weitgehend verschwunden.

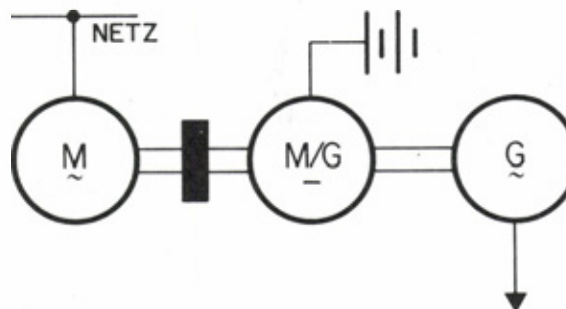


Fig. 4 Synchrongenerator mit Asynchronmaschine und Motorgenerator

5 - 5

Bei Figur 5 handelt es sich um eine spezialisierte Gruppe eines holländischen Herstellers. Bestehend aus Dieselgenerator, einer speziellen Induktions-Kupplung und dem Synchron-Generator ist sie ähnlich der Diesel-Generatorgruppe. Sie hat jedoch den Vorteil, dass wir den hohen Drehzahlabfall bei Dieselstart mit dieser speziellen Induktions-Kupplung vermeiden können. Die Funktion ist folgende: Bei vorhandenem Netz wird der Generator durch die Induktions-Kupplung angetrieben, die wie ein Asynchronmotor arbeitet.

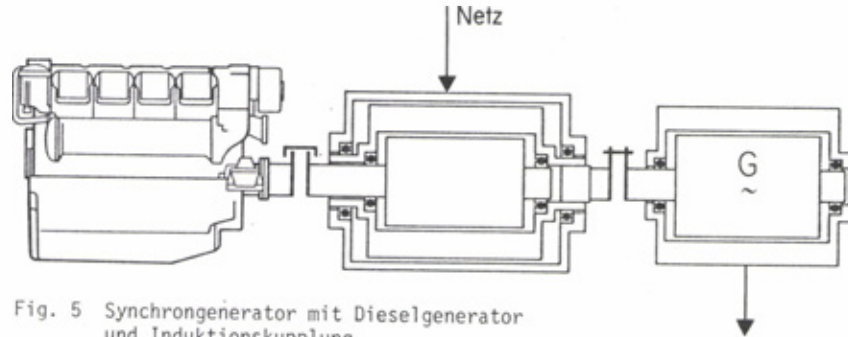


Fig. 5 Synchrongenerator mit Dieselgenerator und Induktionskupplung

Diese Maschine ist so ausgestattet, dass Rotor und Stator sich drehen können. Der Rotor wird auf die Kupplung zum Diesel-Generator geführt und der Stator ist dabei fest verbunden mit dem Rotor des Generators. Bei Netzspeisung arbeitet der rotierende Stator mit 1500 Umdrehungen und der Rotor dieser Induktions-Kupplung hat dabei eine Drehzahl, die doppelt so gross ist, nämlich 3000 Umdrehungen pro Minute. Fällt nun das Netz aus, wird die Kupplung zwischen Dieselmachine und Induktions-Kupplung aktiviert. Dabei wird der Schlupf zwischen rotierendem Stator und Rotor so verändert, dass die Drehzahl des Generators konstant gehalten werden kann. Der Rotor hat daher eine Drehzahl von nahezu 1500 Umdrehungen pro Minute zur Verfügung, um die Dieselmachine zu beschleunigen. Bei Antrieb durch den Dieselmotor ist dann demzufolge der Schlupf in der Induktions-Kupplung zwischen rotierendem Stator und Rotor nahezu Null. Dieses System wird heute noch für die Computerspeisungen verwendet, ist jedoch wartungstechnisch und dynamisch nicht zu vergleichen mit einer statischen USV-Anlage.

Figur 6 zeigt eine unterbrechungsfreie Stromversorgungs-Anlage, bei welcher der Wechselrichter durch eine rotierende Gruppe realisiert ist. Schlechterer Wirkungsgrad, Wartungsaufwand etc. haben auch diese Lösung heute verschwinden lassen.

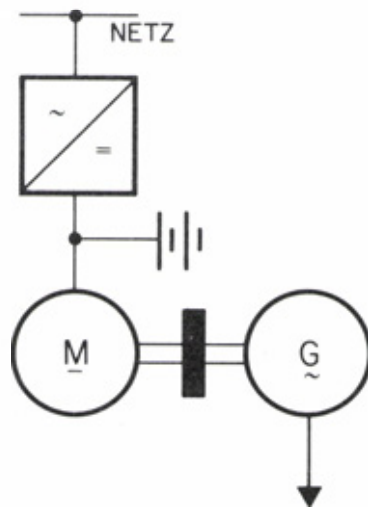


Fig. 6 USV mit rotierendem Wechselrichter

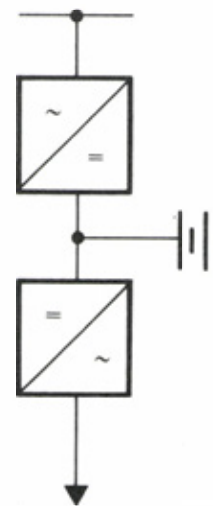


Fig. 7 USV mit statischem Wechselrichter

5-6

Die statische USV-Anlage nach Figur 7, bestehend aus Gleichrichter, Wechselrichter und Batterie. Als unterbrechungsfreie Stromversorgungs-Anlage wird heute zu 99 % dieses Prinzip angewendet. In diesem Vortrag wird die Anlage gemäss Figur 7 im Detail erklärt.

2. TECHNIK DER STATISCHEN USV-ANLAGE

Die Aufgabe und Funktion der einzelnen Komponenten ist wie folgt (Fig. 8):

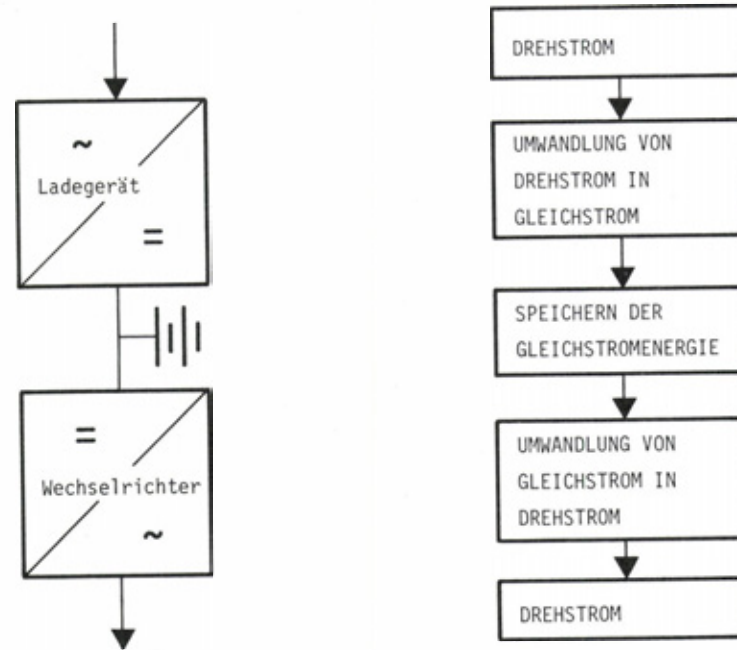


Fig. 8 Funktionselemente einer statischen USV

2.1. LADEGERAET2.1.1. AUFGABE

- Umformung der Netzwechselspannung in Gleichspannung

2.1.2. ANFORDERUNGEN

- Die Ausgangsleistung muss so bemessen sein, dass der nachgeschaltete Wechselrichter versorgt und eine eventuell entladene Batterie wieder innerhalb der gewünschten Frist aufgeladen werden kann.
- Die Ausgangsspannung und der Ladestrom müssen genügend genau geregelt sein. U-I Charakteristik.
- Guter Wirkungsgrad
- Geringer Platzbedarf
- Geringe Netzurückwirkungen

5-7

2.1.3. VOLLGESTEUERTE DREHSTROMBRUECKENSCHALTUNG

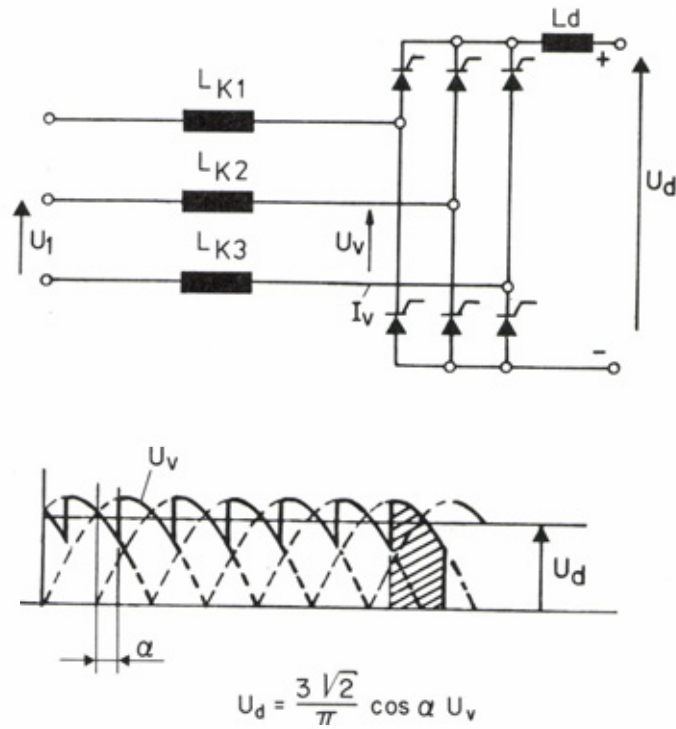


Fig. 9 Ladegerät (mit Formel)

Die Drehstrombrückenschaltung besteht aus 6 Thyristoren, den Kommutierungsdrosseln, über welche die Brücke ans Netz angeschlossen ist und die Gleichstromdrossel, welche für eine Glättung des Gleichstromes sorgt. Die Form der resultierenden Gleichspannung sehen Sie in Figur 9. Der Spannungsverlauf ist dem Aussteuerwinkel Alpha entsprechend. Speziell erwähnen möchte ich beim Ladegerät zwei Effekte, die dem Anwender und dem Hersteller von USV-Anlagen bekannt sein müssen. Wir erhalten durch die Funktion der vollgesteuerten Drehstrombrückenschaltung Spannungseinbrüche, die über die Kommutierungsdrossel auf das Netz gelangen. Weiterhin ist die vollgesteuerte Drehstrombrückenschaltung bekanntlich ja eine hoch nichtlineare Last. Es entstehen daher Stromoberwellen im Versorgungsnetz. Die Ordnungszahl ist abhängig von der Pulszahl dieser Brückenschaltung. Die Grösse der Stromoberwellen hängt vom Steuerwinkel Alpha ab. Einschlägige Vorschriften, die von Land zu Land verschieden sind, definieren die erlaubten Oberwellenspannungen im öffentlichen Versorgungsnetz. Als Beispiel die CENELEC-Empfehlungen (Kap. 2.1.4.).

5-8

2.1.4. CENELEC-EMPFEHLUNGEN FUER DIE ZULAESSIGE ERHOEHUNG DER OBERWELLENPEGEL IN OEFFENTLICHEN VERSORGUNGSNETZEN

Ungerade Ordnungszahlen:

- 3. Oberwelle 0,85 %
- 5. Oberwelle 0,65 %
- 7. Oberwelle 0,60 %
- 9. und 11. Oberwelle 0,40 %
- 13. Oberwelle 0,30 %
- 15. und 39. Oberwelle 0,25 %

Gerade Ordnungszahlen:

- 2. bis 40. Oberwelle 0,20 %

2.2. AKKUMULATORENBATTERIE

2.2.1. AUFGABE

- Speicherung von elektrischer Energie während "Netzbetrieb", Abgabe der gespeicherten Energie während "Netzausfall"

2.2.2. ANFORDERUNGEN

- Einhaltung der garantierten Ueberbrückungszeit
- Kleiner Innenwiderstand (grosse Entladungsströme)
- Guter Wirkungsgrad bei kleinen Entladezeiten
- Lange Lebensdauer
- Geringer Wartungsaufwand

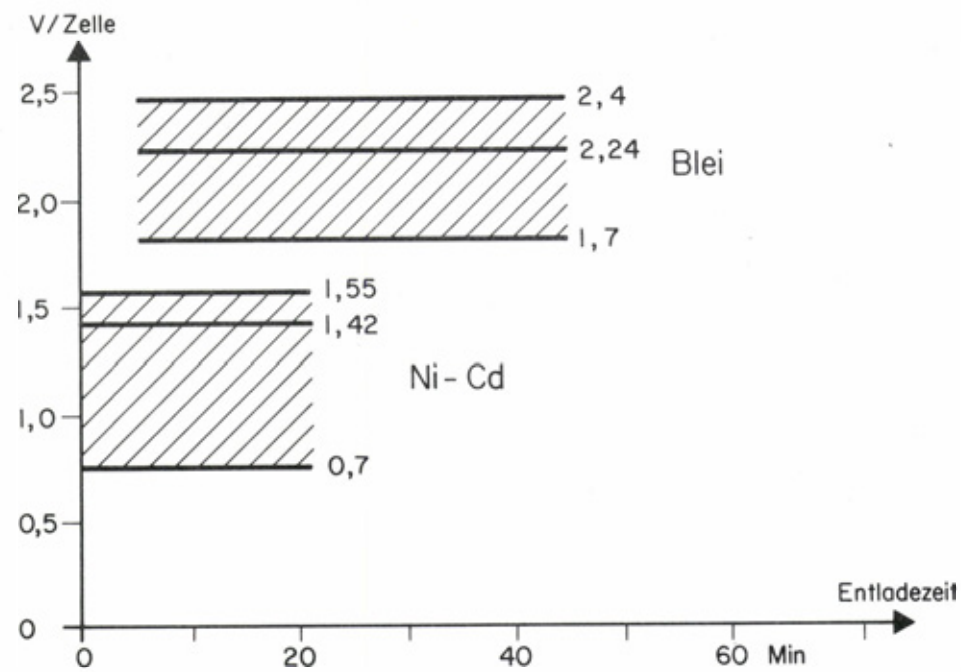


Fig. 10 Blei- und NiCd-Batterie

5 - 9

Auf dem Gebiete der USV-Anlagen werden grundsätzlich zwei Typen von Batterien eingesetzt (Fig. 10). Erstens die Bleibatterie. Die Schwebeladespannung der Bleibatterie beträgt 2,24 V pro Zelle, die Starkladespannung 2,4 V pro Zelle und die minimale Entladeschlussspannung 1,7 V pro Zelle. Bei der Nickel-Cadmium Batterie sind diese Spannungsverhältnisse unterschiedlich. Als Schwebeladespannung benötigt diese Batterie 1,42 V pro Zelle, eine Starkladespannung von 1,55 V pro Zelle und entladen könnte die Batterie theoretisch bis zu einer minimalen Entladeschlussspannung von 0,7 V pro Zelle werden.

Die bei USV-Anlagen eingesetzte Batterie arbeitet mit einer Spannung zwischen 200 und 450 V. Es ist daher eine Serieschaltung von mehreren Einzelzellen notwendig. Auf Grund der in Figur 10 dargestellten Spannungspotentiale muss der Wechselrichter mit einer ziemlich variablen Zwischenkreisgleichspannung auskommen. Bei Schwebeladebetrieb ist die Zwischenkreisgleichspannung demzufolge bei ca. 400 V. Während Entladebetrieb sinkt diese Spannung bis auf 300 V. Im weiteren ist der Anwendungsbereich dieser beiden Batteriearten unterschiedlich. Die Bleibatterie ist grundsätzlich die kostengünstigere Lösung, kann jedoch nur bis zu einer minimalen Ueberbrückungsdauer von 5 Minuten eingesetzt werden. Für Entladezeiten unter 5 Minuten müsste bei der Bleibatterie die gleiche Kapazität wie für grössere Ueberbrückungszeiten eingesetzt werden. Die Ni-Cd-Batterie hat den Vorteil, dass sie die Kapazität in sehr kurzer Zeit abgeben kann, was zum speziellen Einsatzgebiet bei kurzen Entladezeiten führt. Ein weiteres Kriterium ist die Umgebungstemperatur. Wird die Bleibatterie in höheren Umgebungstemperaturen betrieben, reduziert sich deren Lebensdauer drastisch. Dagegen kann die Ni-Cd-Batterie bei höheren Umgebungstemperaturen ohne merkliche Lebensdauereinbuße verwendet werden. Auch sind die Wartungsanforderungen dieser beiden Batterietypen sehr unterschiedlich.

2.3. WECHSELRICHTER2.3.1. AUFGABE

- Umformung der Gleichspannung des Gleichstromzwischenkreises in eine Wechselspannung konstanter Frequenz und Amplitude.

2.3.2. ANFORDERUNGEN

- Einhalten der Ausgangsdaten bei den gegebenen Abweichungen der Eingangsspannung.
- Bereitstellen der Wechselspannungs-Energie, wie sie statisch und dynamisch vom Verbraucher her gefordert wird.
- Guter Wirkungsgrad
- Geringer Wartungsaufwand
- Kleiner Platzbedarf u.a.m.

Das Prinzip der Wechselspannungserzeugung ist folgendes (Fig. 11): Durch abwechslungsweise Zuschalten des Pluspoles resp. des Minuspoles der Batteriespannung an die Primärwicklung des Ausgangstransformators entsteht eine Rechteckspannung.

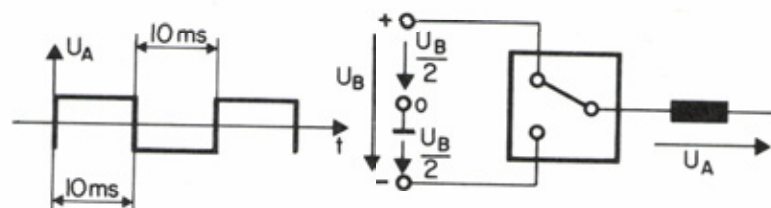


Fig. 11 Prinzip des Wechselrichters

5 - 10

Um am Ausgang ein Dreiphasensystem zu erhalten, müssen drei Umschalter je um 120° elektrisch versetzt betätigt werden (Fig. 12). Die Ausgänge der Umschalter sind mit einem Drehstromtransformator verbunden. Auf der Sekundärseite dieses Transformators ist ein Dreiphasensystem verfügbar. Die Umschaltung ist dabei mit einem mechanischen Ersatzschaltbild aufgezeigt. Es geht nun darum, dieses mechanische Ersatzschaltbild durch statische Elemente zu ersetzen.

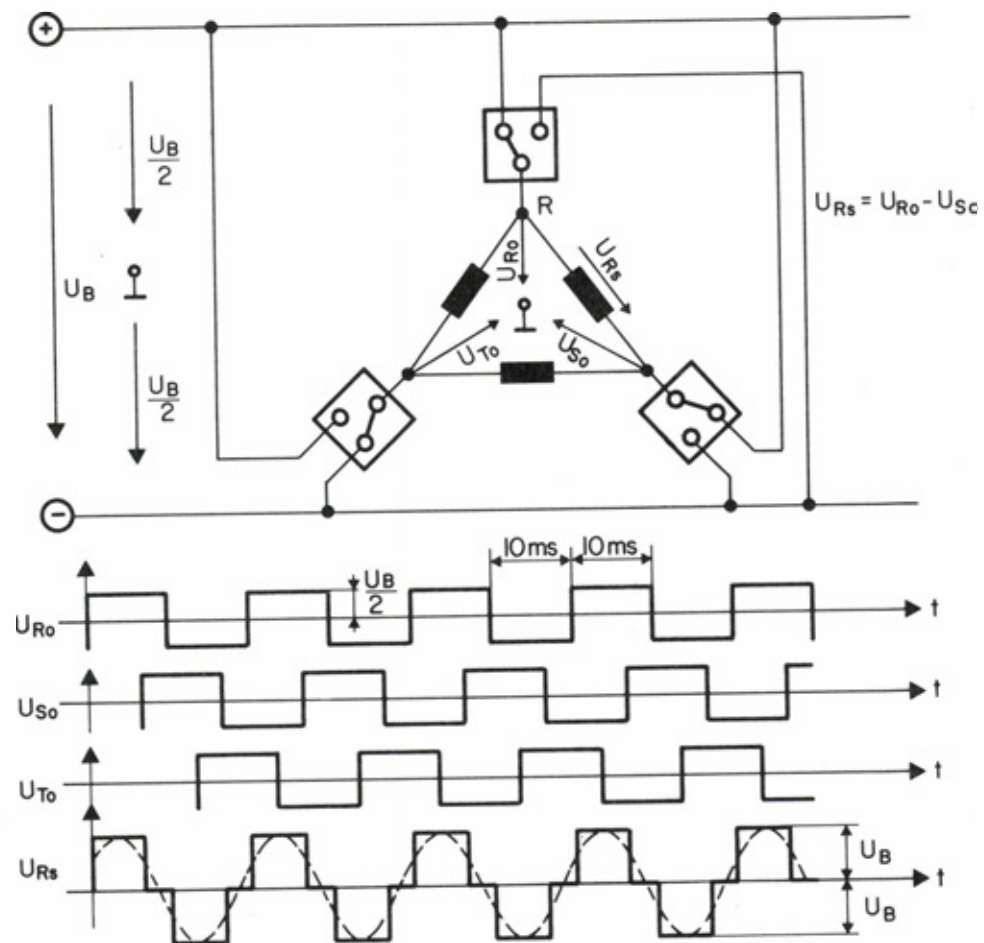


Fig. 12 Dreiphasenwechselrichter

5 - II

2.3.3. ERSATZ DES MECHANISCHEN SCHALTERS

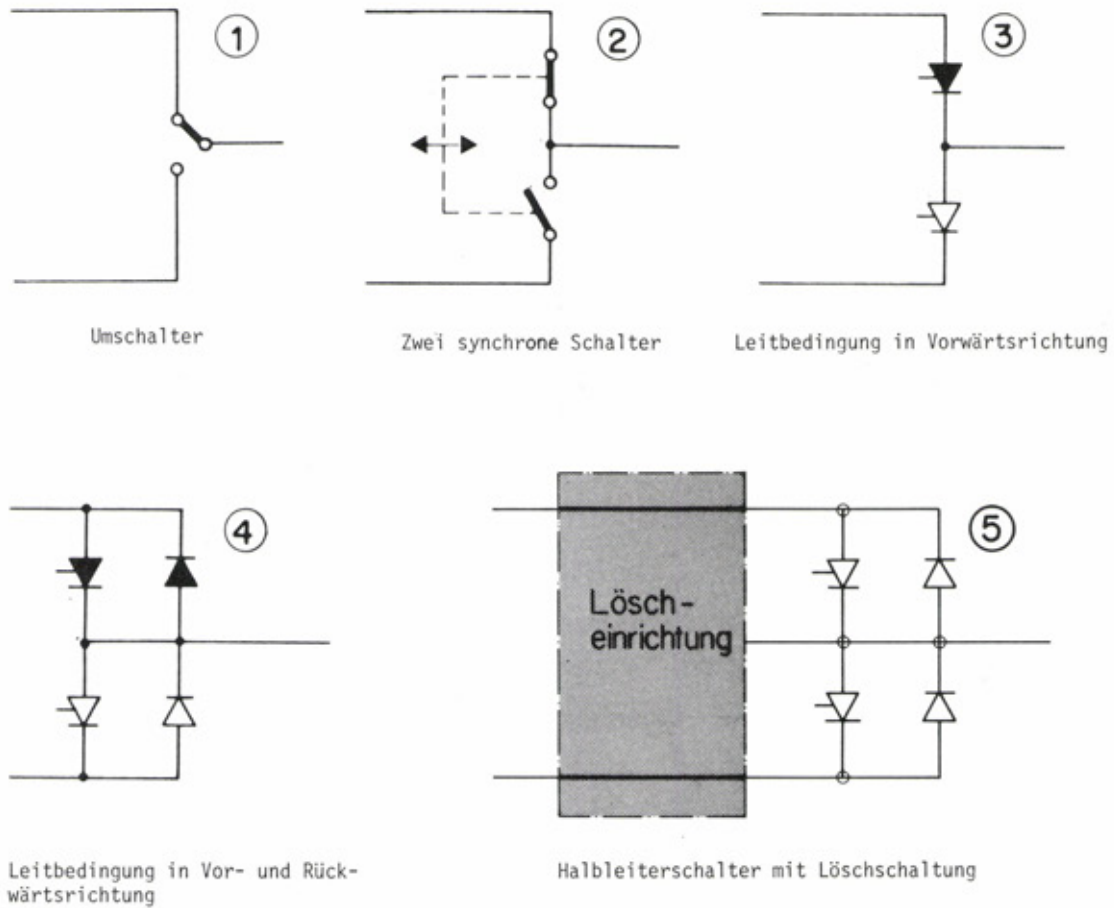


Fig. 13 Ersatz des mechanischen Schalters

- Zu 1: Bis jetzt ist das abwechslungsweise Zuschalten von $+U_B$ und $-U_B$ auf den Ausgang mit einem mechanischen Umschalter dargestellt worden. In jeder Schalterstellung kann der Strom in beiden Richtungen fließen. Übertragen von Wirk- und Blindleistung ist möglich.
- Zu 2: Die Schaltung unter 1 kann nicht direkt elektronisch nachgebildet werden. Der frühere Umschalter wird durch zwei synchron betätigte Schalter ersetzt. Die Schaltzustände der beiden Schalter sind immer antivalent. Übertragung von Wirk- und Blindleistung ist möglich.
- Zu 3: Ersatz der beiden mechanischen Schalter durch je einen Thyristor. Strom und Spannung müssen in Phase sein, da der Stromfluss pro Ventil nur in einer Richtung möglich ist. Der Umschalter kann nur Wirkleistung übertragen.
- Zu 4: Durch Einbau von antiparallelen Rückstromdioden ist es möglich, sowohl Wirk- wie auch Blindleistung zu übertragen.
- Zu 5: Ein Thyristor ist erst gelöscht, wenn sein Haltestrom unterschritten wird (z.B. natürlicher Stromnulldurchgang). Will man den Thyristor zu einem beliebigen Zeitpunkt löschen, so ist eine spezielle Löscheinrichtung notwendig. Dadurch wird der Strom im Thyristor zwangsweise auf Null gebracht. Man spricht von einer Zwangskommütierung. Die Funktionsweise des Wechselrichterstellglieds betrachten wir nun im Detail.

5 - 12

2.3.4. FUNKTION DES WECHSELRICHTERSTELLGIEDES

Der Ausgang A wird mit Hilfe der Hauptventile V1/V2 abwechselungsweise an die positive und negative Batteriespannung gelegt. Wir vernachlässigen nun die Vorbereitung dieser Schaltung und gehen davon aus, dass im Zeitpunkt 0 der Ausgang A am positiven Batteriepotential liegt. Zu einem Zeitpunkt, da auf das negative Potential umgeschaltet werden muss, beginnt folgender Vorgang:

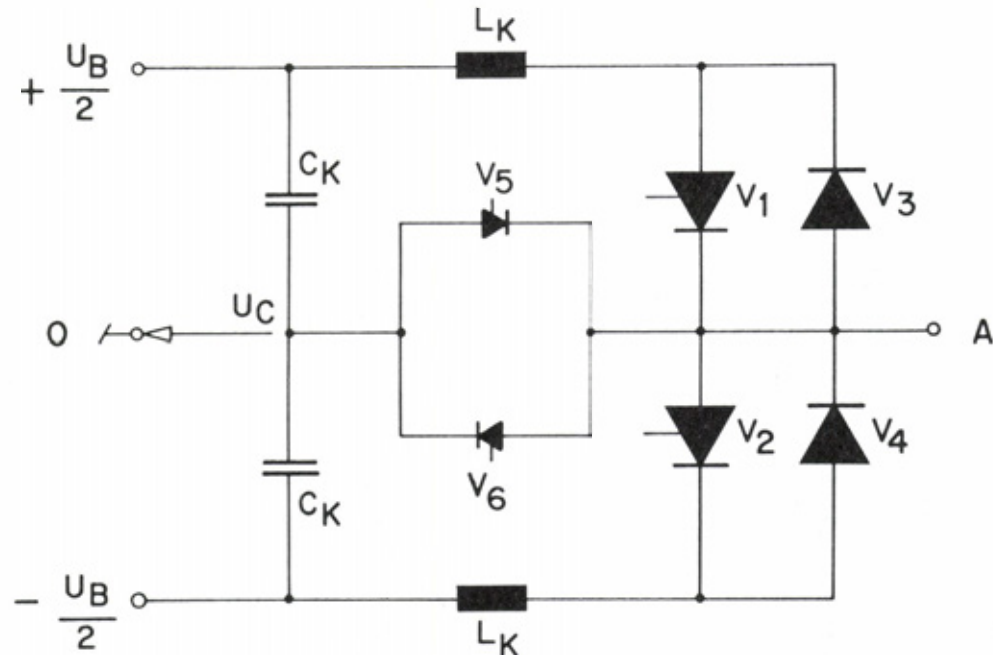


Fig. 14 Wechselrichterstellglied

Der Hilfsth Thyristor V5 wird gezündet. Durch das erhöhte Spannungspotential an den Kommutierungskondensatoren CK am Punkt UC beginnt ein positiver Strom über V5 zu fließen. Nach Kirchhoff sind die Summe aller Ströme in einem Punkt gleich Null. Dadurch wird der Strom im Hauptventil V1 zu Null. V1 löscht. Nun wird das Hauptventil V2 gezündet. Der Ausgang A erhält das negative Batteriespannungspotential. Die Kommutierungskondensatoren CK und LK bilden einen Serieschwingkreis und schwingen über V5 um. Der Punkt UC erhält ein Potential, das um $U_B/2$ negativer ist als der Ausgang A. Ein Zurückschwingen ist nicht mehr möglich, da der Hilfsth Thyristor sperrt. Die Schaltung ist wieder bereit, um eine Umschaltung auf positiv durchzuführen. In diesem Zeitpunkt wird das Hilfsventil V6 gezündet. Von den Kommutierungskondensatoren prägt sich ein negativer Strom ein. Der Strom im Hauptventil V2 wird zu Null. V2 löscht. V1 wird gezündet, dabei schwingt der Kommutierungskreis über V6 wieder um. Im positiven Maximum beginnt V6 zu sperren und die Schaltung ist wieder bereit für eine weitere Umschaltung.

Um mit diesem Schaltungsprinzip der Gleichspannung eine möglichst angenäherte Sinusspannung zu erreichen, gibt es mehrere verschiedene Pulsverfahren. Ich möchte deren drei kurz behandeln.

Die Rechteckkurve (Fig. 15), die heute bei kleineren Leistungen noch angewendet wird. Ihr Nachteil ist der hohe Filteraufwand, welcher notwendig ist, um die verlangten Werte im Klirrfaktor zu erreichen. Ferner ist dieses Verfahren ungenügend bezüglich dynamischen Eigenschaften, da während einer ganzen Halbperiode keine Regeländerung wirksam gemacht werden kann. Geregelt wird die Ausgangsspannung durch die Variation der Breite des Rechtecks.

5 - 13

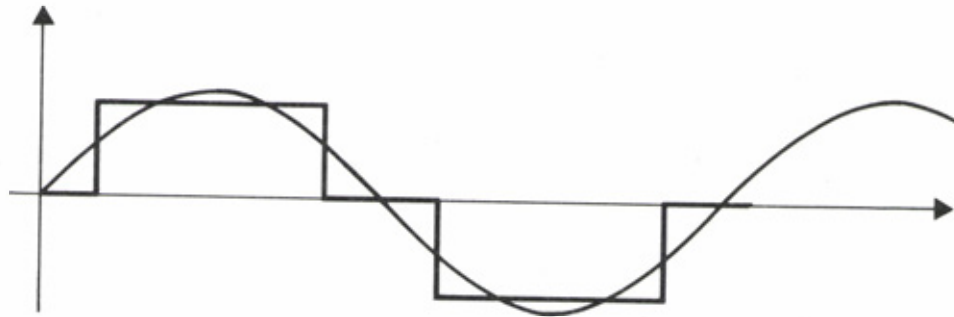


Fig. 15 Rechtecktaktung

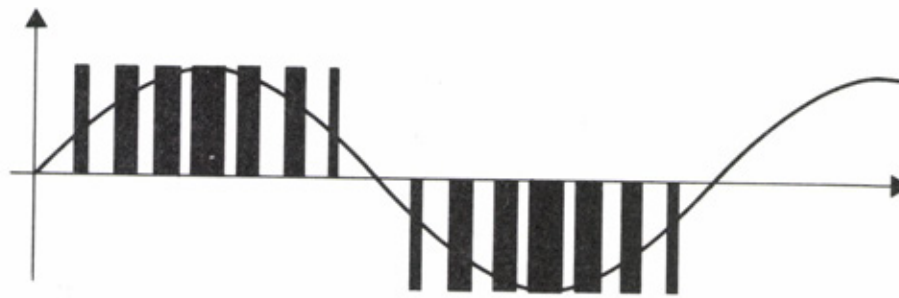


Fig. 16 Mehrfachtaktung (PWM)

Die Pulsbreitenmodulation (Fig. 16) ist ein relativ neues Prinzip. Es bedingt den Einsatz von sehr schnellen Halbleiterelementen. Die Regelung der Spannung geschieht durch die Variation jeder Pulsbreite. Dadurch sind die dynamischen Eigenschaften sehr gut. Eine mögliche Regeländerung kann bei jeder Pulsbreite berücksichtigt werden. Ein Nachteil dieses Systems besteht jedoch darin, dass die Kommutierungsverluste, die durch die grosse Anzahl der Ausschaltung entstehen, grösser sind. Um den dynamischen Anforderungen zu genügen, ist der Einsatz dieses Systems bei Wechselrichtern grösserer Leistung Bedingung.

Als drittes Prinzip sehen wir eine Kombination der Zwischentaktung mit Unterschwingung (Fig. 17). Die heutigen USV-Anlagen von Brown Boveri werden nach diesem Prinzip gebaut. Die Spannung dieser Kurve wird durch Verändern des Winkels α geregelt. Der Zwischentakt entspricht zwei α und befindet sich exakt in der Mitte bei 90° .

Wie in Figur 18 dargestellt, werden die drei Einzelspannungen UR 1, US 1 und UT 1 transformatorisch zusammengeschaltet. Durch Filtern der resultierenden Spannung wird dann eine sinusförmige Kurve erreicht.

5 - 14

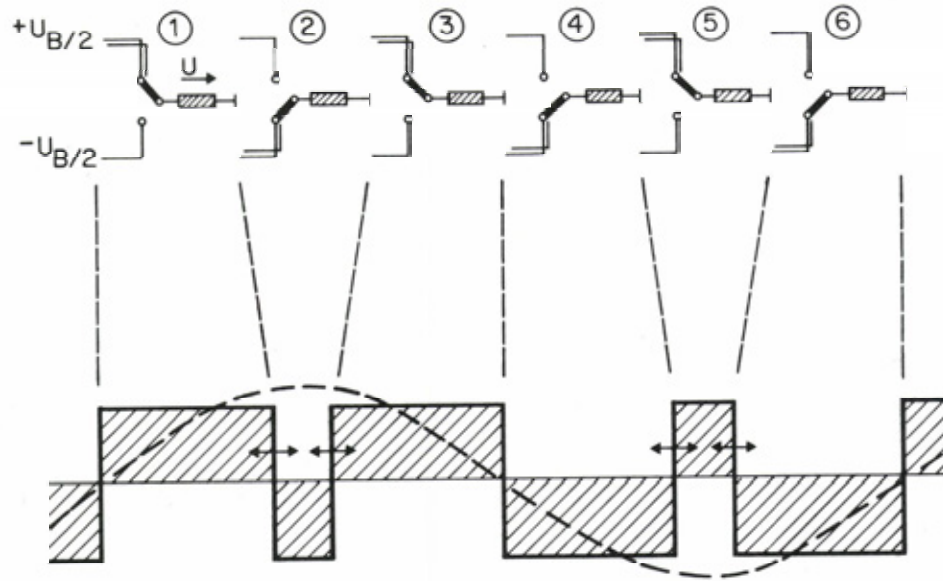


Fig. 17 Prinzip der Wechselspannungserzeugung

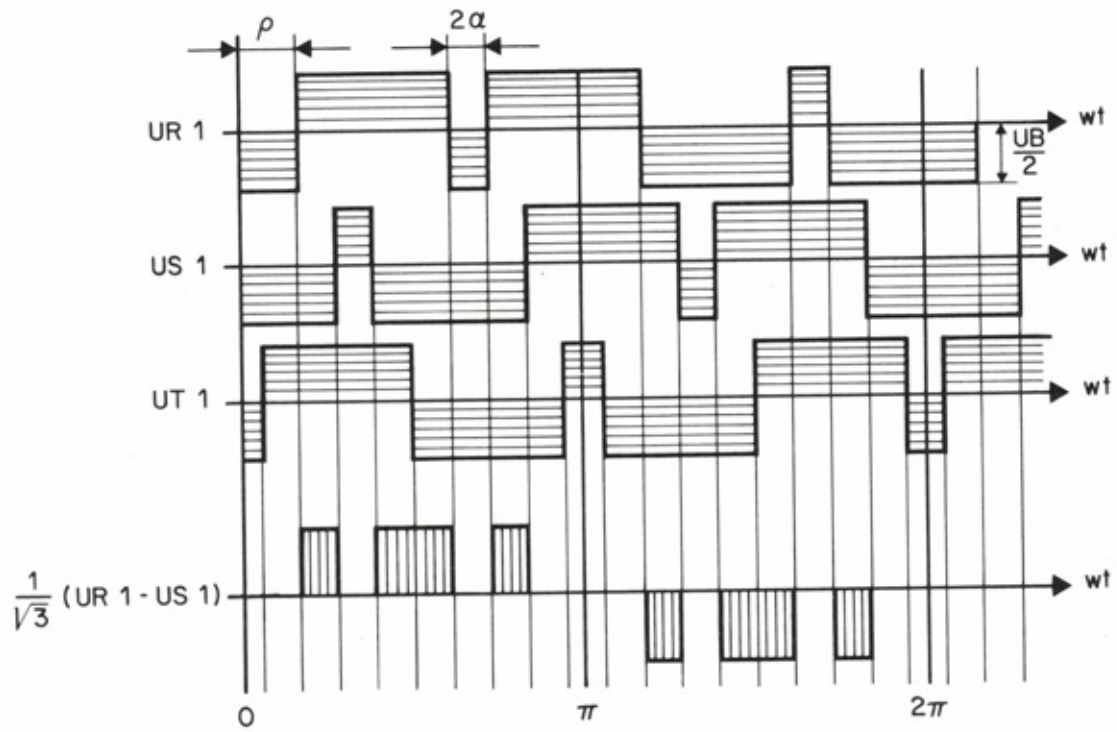


Fig. 18 Zusammenschalten dreier Rechteckspannungen

5 - 15

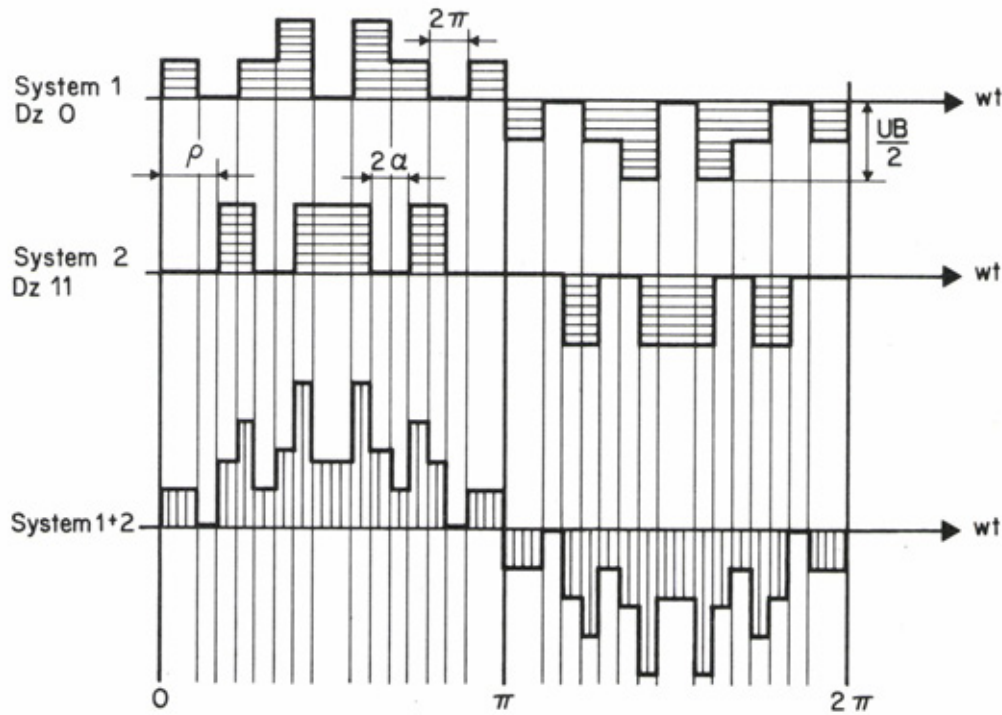


Fig. 19 Spannungsverhältnisse einer 12-pulsigen Schaltung

In Figur 19 sind die Spannungsverhältnisse bei einer 12-pulsigen Schaltung wiedergegeben. Durch zwei unterschiedliche Transformatorensysteme 1 und 2 erhält man unterschiedliche Spannungsformen. Durch Addieren dieser beiden Einzelspannungen wird eine dem Sinus angenäherte Kurve erreicht. Ein 12-pulsiges System bietet den Vorteil, dass sehr wenig Filteraufwand nötig ist. Zudem erfüllt der 12-pulsige Wechselrichter die dynamischen Anforderungen sehr leicht. Auf dem Diagramm (Fig. 20) ist die Wechselrichterspannung vor und nach dem Filter aufgezeichnet.

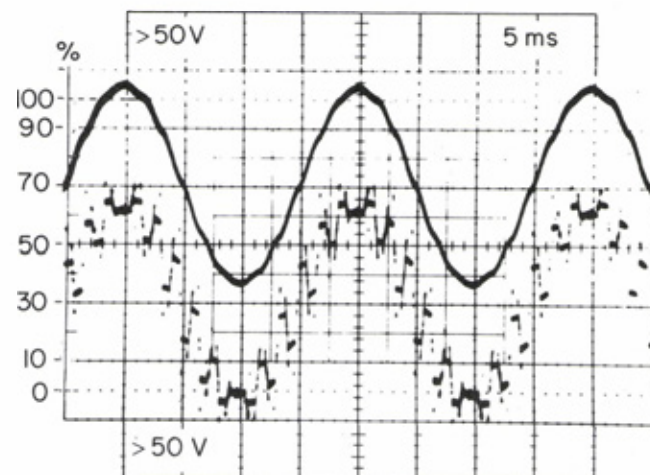


Fig. 20 Wechselspannung vor und nach Filter

5 - 16

Um die Frage zu beantworten, "Was sind eigentlich die Anforderungen an die Frequenz und Spannung am Ausgang eines Wechselrichters?", müsste man die Spezifikationen von unzähligen Verbrauchern aufführen. USV-Anlagen sind heute zum Normprodukt geworden für die Speisung von Computeranlagen. Wir betrachten daher die Anforderungsprofile dreier verschiedener Computer (Fig. 21).

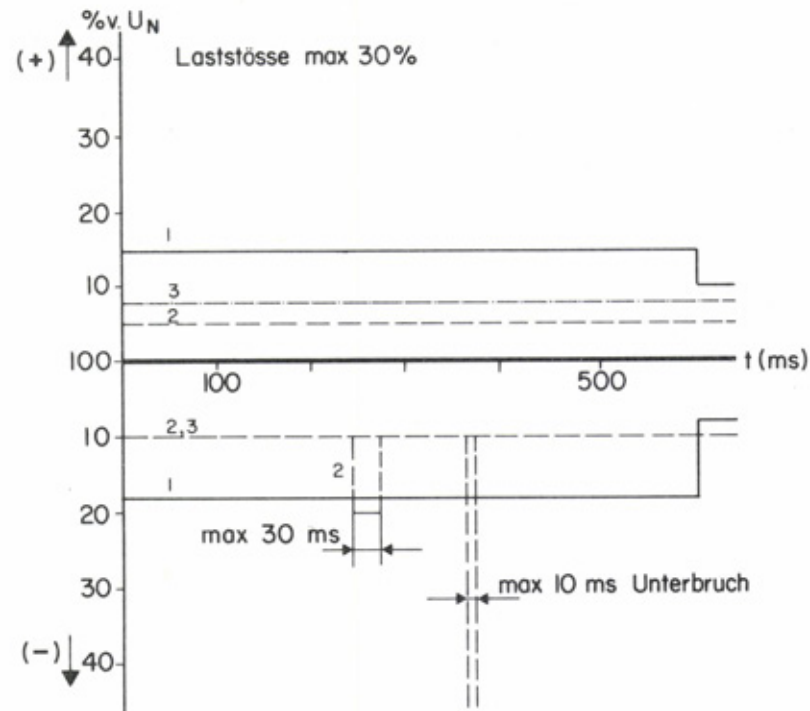


Fig. 21 Anforderungsprofile dreier Computer, max. Laststöße 30 %
 (1: IBM, 380/220 V, 50 Hz; 2: CDC, 208/120 V, 60 Hz; 3: UNIVAC, 380/220 V, 50 Hz und 208/120 V, 60 Hz)

Für Laststöße von maximum 30 % darf die Spannungstoleranz vom Computer 1 (Fig. 21) +15 % und -18 % während einer maximalen Dauer von 600 Millisekunden nicht überschreiten. Für länger dauernde Abweichungen ist das Toleranzband +10 und -8 % massgebend. Der Computer 2 spezifiziert eine positive Toleranz von +5 und eine negative von -10 %. Dabei erlaubt dieser Computer Spannungsabsenkungen bis zu -20 % während maximum 30 Millisekunden und sogar Unterbrüche von maximum 10 Millisekunden. Der Computer 3 spezifiziert ein dynamisches Toleranzband von +8 und -10 %. Sie sehen aus dieser Betrachtung, dass jede Last ihre eigenen Anforderungen an die Speisung stellt. Wie schon früher erwähnt, ist die USV-Anlage ein Normprodukt und erfüllt bezüglich Ausgangsdaten die Anforderungen der meist gebräuchlichen Computermodelle. In der Praxis misst sich das dynamische Verhalten eines Wechselrichters wie folgt: Bei einer Lastaufschaltung oder einem Lastabwurf von 100 % verhält sich die Ausgangsspannung gemäss den Oszillogrammen in Figur 22 und Figur 23.

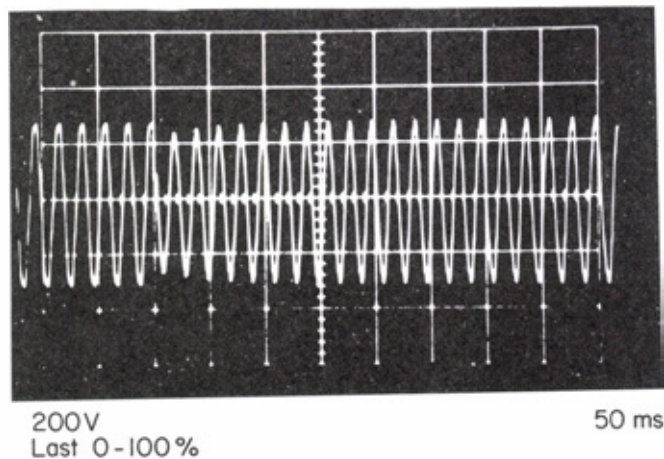


Fig. 22 Dynamisches Verhalten für Lastzuschaltung

5-17

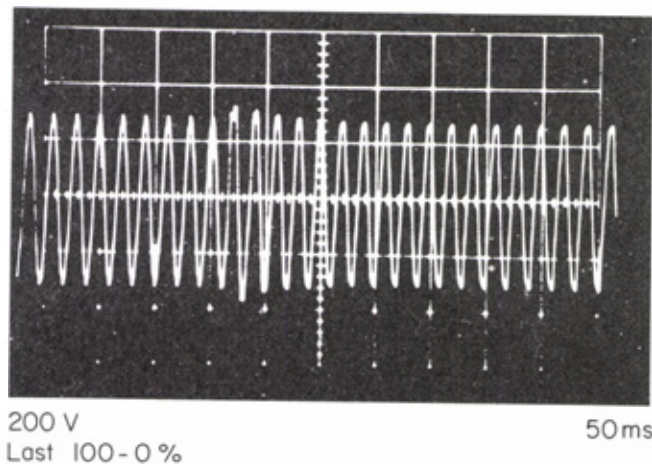


Fig. 23 Dynamisches Verhalten für Lastabwurf

3. SYSTEMKONFIGURATIONEN

Sind die Netzdaten gleich den Verbraucherdaten, d.h. z.B. 380 V, 50 Hz, so gehört zur statischen USV-Anlage noch ein weiteres Element, der statische Netzbyypass. Diese Komponente besteht aus zwei antiparallelen Thyristoren pro Phase. Als Ersatzschaltbild könnte das bekannte Leistungsschütz verwendet werden. Das Netz kann damit auf die Ausgangssammelschiene geschaltet werden. Durch die Realisation der Schaltfunktion mittels antiparallelen Thyristoren ist es möglich, eine Umschaltung innert 200 Mikrosekunden auszuführen.

Diese Zusatzeinrichtung (Fig. 24) besteht aus zwei Elementen, 6 dem statischen Wechselrichter-
ausgangsschalter, 7 dem statischen Netzbyypass. Es gibt drei Betriebszustände, für welche diese Einheit benötigt wird.

- (a) Tritt am Verbraucher ein Teillastkurzschluss auf, so muss durch eine hohe Kurzschlusskapazität an der Ausgangssammelschiene dafür gesorgt werden, dass die Teillastsicherung möglichst schnell durchgeschmolzen werden kann. Müssten solche Betriebszustände durch den Wechselrichter beherrscht werden, so wäre ein teurer hochüberlastbarer Wechselrichter einzusetzen. Durch eine schnelle Ueberwachungseinrichtung am Ausgang des Wechselrichters, wird ein solcher Kurzschlussstrom sehr schnell realisiert und der Bypass zugeschaltet. Für einige Perioden arbeiten Netz und Wechselrichter parallel. Somit kann erreicht werden, dass die Kurzschlusskapazität auf der Ausgangsschiene grösser ist als auf der Netzschiene.
- (b) Sollte der Verbraucher Elemente beinhalten, die grosse Anlauf- und Magnetisierungsströme fordern, werden diese Vorgänge auch durch Zuschalten des statischen Bypasses beherrscht.
- (c) Beim Auftreten einer Störung im Wechselrichter wird die Ausgangssammelschiene durch den statischen Bypass innert einer Zeit von 200 Mikrosekunden ans Netz geschaltet und vom Wechselrichter getrennt.

5 - 18

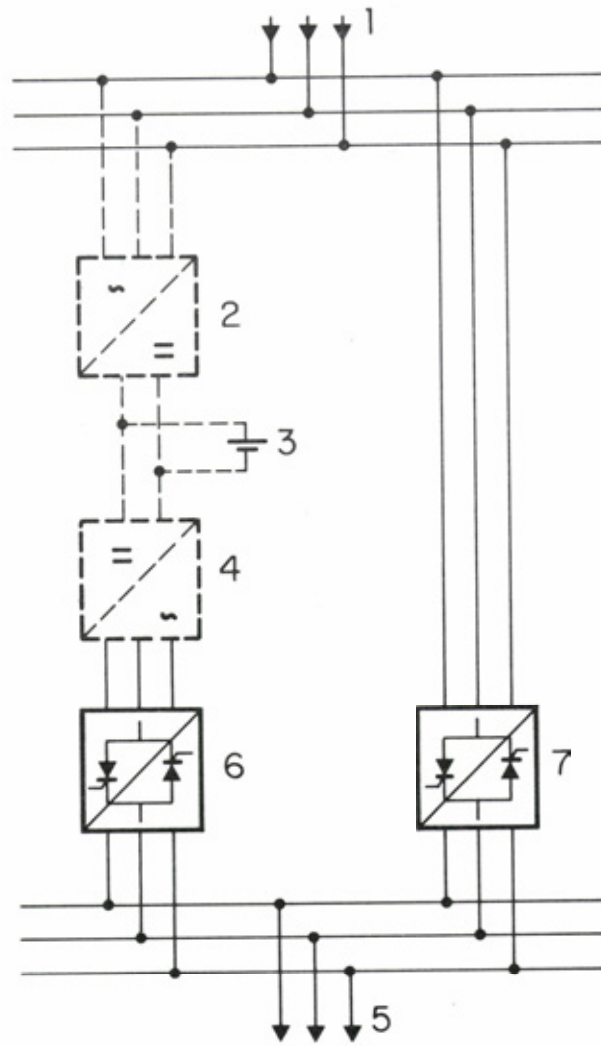


Fig. 24 Statisches Bypass-System (6: Statischer Wechselrichterschalter; 7: Statischer Netzbyypass)

Bei einem Kurzschluss im Wechselrichter (Störung) wird die Last ans synchrone Netz geschaltet und der Wechselrichter abgetrennt. Dieser Verlauf ist auf Diagramm Fig. 25 bei der Markierung praktisch aufgezeichnet. Eine Störung der Last, selbst beim Ausfall des Wechselrichters, wird daher verhindert. Bei guten Netzverhältnissen kann der statische Bypass als eine gewisse Redundanz bezeichnet werden. Die Zuverlässigkeit der USV-Anlage wird dadurch erheblich erhöht.

5-19

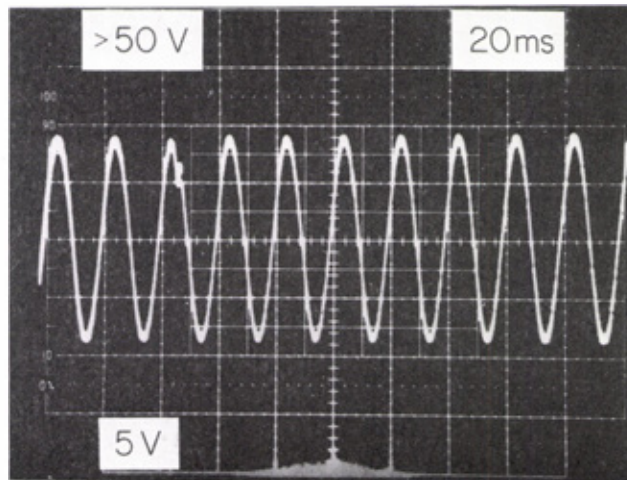


Fig. 25 Dynamisches Verhalten bei Kurzschluss im Wechselrichter

Bei Anwendungen, bei denen höchste Zuverlässigkeit Bedingung ist, kommen redundante Systeme zum Einsatz. Die Anlage besteht aus n identischen Modulen: Gleichrichter, Wechselrichter, Batterie und statischem Schalter (Fig. 26). Das System ist leistungsmässig so dimensioniert, dass $(n-1)$ -Module in der Lage sind, die Verbraucher mit Energie zu versorgen. Das n -te Modul ergibt dann die Redundanz, d.h. ein überschüssiges Leistungsvermögen im Sinne einer mitlaufenden Reserve. Da die Last immer gleichmässig auf alle Module verteilt ist, besteht keine Bevorzugung. Tritt in irgendeinem Modell eine Störung auf, so wird dieses innerhalb 1 Millisekunde durch den statischen Schalter von der Sammelschiene getrennt. Diese kurzen Schaltzeiten sind notwendig, weil sich sonst die Störung auf die Sammelschiene auswirken würde. Damit die einzelnen Module gemeinsam auf die Sammelschiene arbeiten können, wird eine Zusatzeinrichtung, die Parallelelektronik, benötigt. Ihr kommt die Aufgabe zu, die einzelnen Module in Synchronismus zu halten und zusätzlich eine gleichmässige Lastaufteilung vorzunehmen. Dieses Problem kann auf verschiedene Weise gelöst werden. Das von Brown Boveri gewählte System bietet aber einige Vorteile:

- Vollständig autarke Wechselrichter
- Keine gemeinsamen Elektroniksysteme, wie der "Mutteroszillator" usw.
- Gleiche Redundanz, wie im Leistungsteil
- Dank dem "Soft walk-in"-Prinzip erfolgen Umschaltungen von n auf $(n-1)$ Betrieb und umgekehrt völlig stossfrei.

Wie schon erwähnt, erhält jeder Wechselrichter seine eigene Parallellaufelektronik. Sie beruht auf dem Prinzip der Stromführung. Der Laststrom wird gemessen, gewichtet und dem einzelnen Modul als Sollwert zugeführt. Die Parallellaufelektronik vergleicht nun diesen Stromsollwert mit dem Ausgangsstrom des betreffenden Wechselrichters und beeinflusst dessen Spannung und Phasenlage derart, dass unter den einzelnen Modulen keine Ausgleichsströme auftreten und dadurch eine saubere Lastaufteilung im System erfolgt.

Wenn das Netz und die USV-Sammelschiene die gleiche Frequenz und Spannung aufweisen, wird das System zusätzlich mit einem statischen Bypass versehen. Bei normalen Ausfällen innerhalb der Modulen wird die Redundanz des Systems $(n-1)$ -Betrieb ausgenützt. Sollte aber der seltene Fall auftreten, dass in zwei Modulen eine Störung auftritt, dann wird zur Speisung der USV-Sammelschiene das Netz unterbrechungsfrei zugeschaltet. Andererseits wird es aber auch bei Schweranläufen oder Teilkurzschlüssen in den Verbrauchern zur Energielieferung hinzugezogen. Dieses System bietet höchste Betriebssicherheit.

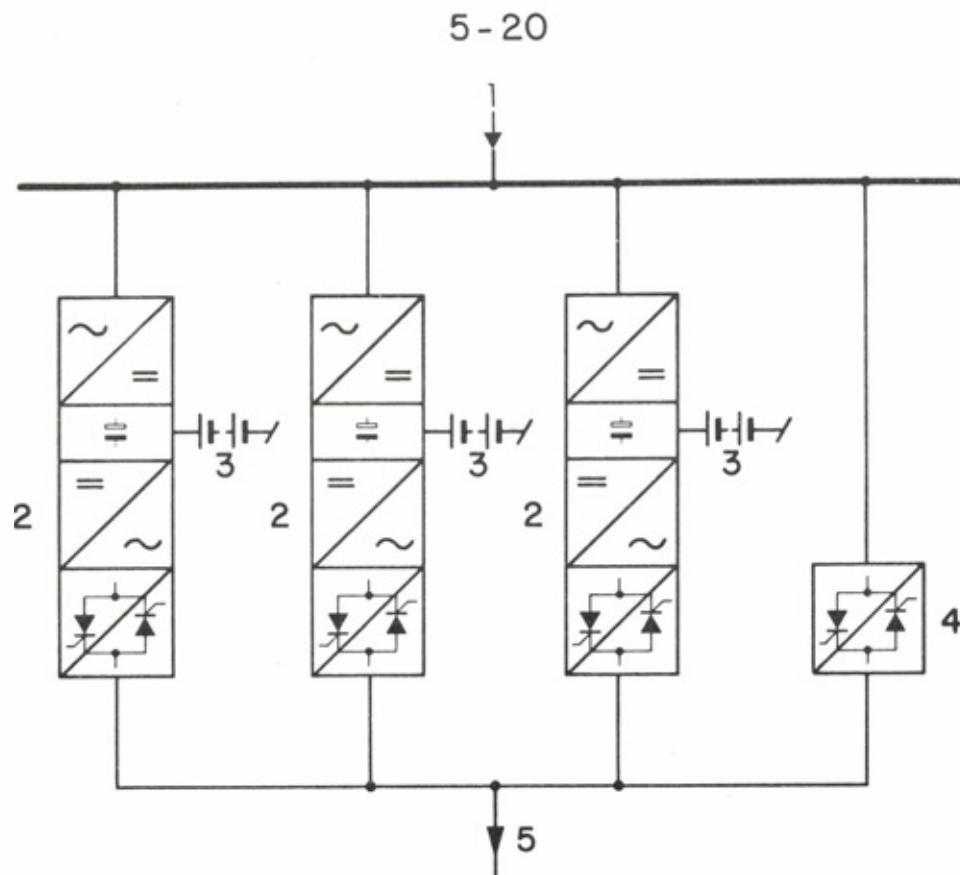


Fig. 26 Redundante USV-Anlage mit statischem Bypass, n=3

4. ANWENDUNGSGEBIETE

COMPUTER

- Banken
- Fluggesellschaften
- Rechenzentren (private, kommunale und militärische)
- Spitäler
- Versicherungen
- Kraftwerke
- Universitäten, Schulen

TELEKOMMUNIKATION

- Sendeanlagen (besonders Sateliten-Bodenstationen)
- Telexzentralen

SPITÄELER

- OP's
- Intensivstationen

KRAFTWERKE

- Prozesssteuerung
- Turbinenlagerung
- Schutz- und Ueberwachungskreise

INDUSTRIE

- Prozesssteuerung
- Computer

STRASSENTUNNEL

- Beleuchtung
- Verkehrssteuerung
- Prozesssteuerung

MILITAER

- Radar's
- Feuerleitsysteme

FLUGHAEFEN

- Pistenbefuerung
- Blindlandeanlage

5 - 21

5. STROMVERSORUNGSKONZEPTE

Um der Frage nachzugehen, "Wo sitzt die USV-Anlage im Gesamtkonzept?", müsste ich unzählige Systeme aufzeigen, da jeder Anwender seine Energieversorgung unterschiedlich organisiert. Ich möchte jedoch anhand zweier Beispiele eine Idee zu diesem Thema vermitteln.

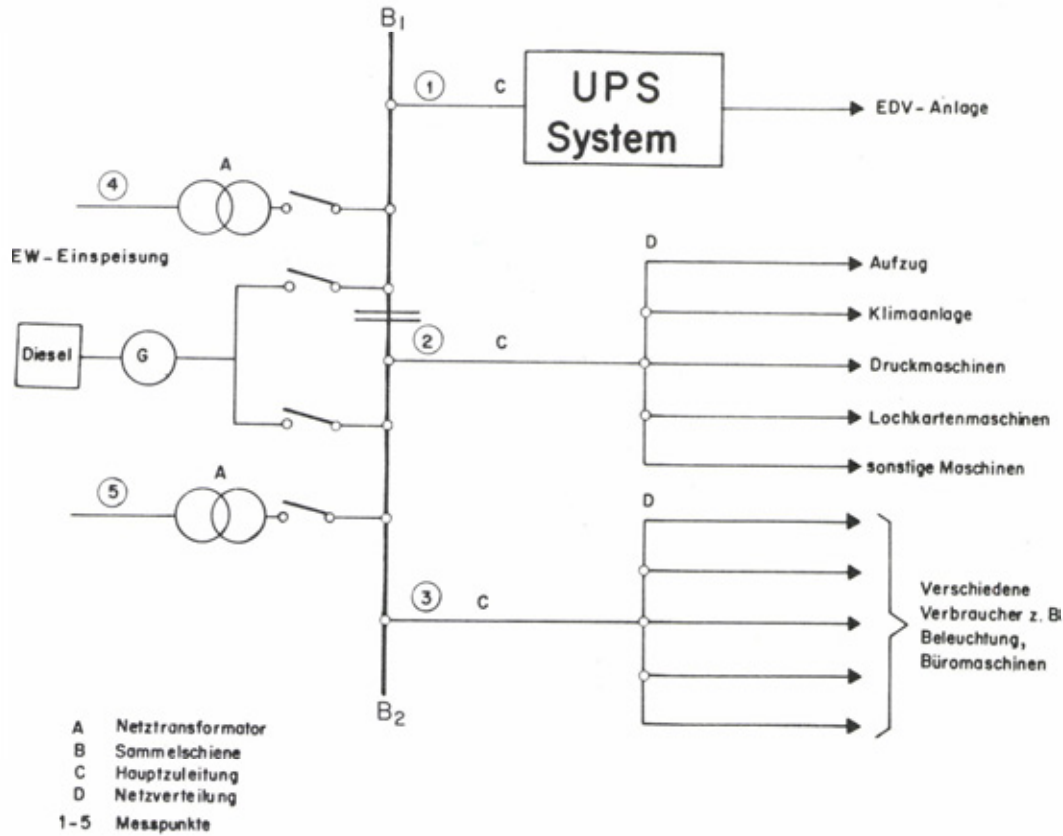


Fig. 27 USV-Konzept I

Die Netzeinspeisung des ersten Systems (Fig. 27) ist mit zwei Einspeisetransformatoren realisiert. Der Notstromdieselgenerator kann wahlweise auf die Sammelschienehälfte B₁ oder B₂ geschaltet werden. Mit einem Sammelschienschalter kann diese Hauptverteilung in zwei Hälften aufgeteilt werden. Die kritischen Verbraucher, wie z.B. die EDV-Anlage, werden über das USV-System gespeisen.

Beim zweiten System (Fig. 28) wird die Hauptsammelschiene durch den Sammelschiene Kuppler in eine notstromberechtigte und in eine notstromunberechtigte Seite aufgeteilt. Die USV-Anlage und die Verbraucher mit Priorität 2 werden dabei immer von der notstromberechtigten Sammelschiene angespeisen. Unkritische Verbraucher, denen wir die Priorität 3 einräumen, sind vom notstromunberechtigten Sammelschiene teil versorgt.

Die Sekundärseite bei diesem System ist mittels einer Doppelsammelschiene realisiert. Jeder Verbraucher wird dabei über einen Wahlschalter angeschlossen. Im Normalfall führt die Sammelschiene A die USV-Speisung. Sammelschiene B kann dem notstromberechtigten Netz zugeordnet werden. Es ist somit möglich, dass jeder einzelne Verbraucher durch USV- oder Netzstrom versorgt wird. Der Anwender ist mit dieser Konfiguration sehr flexibel und kann Teillasten jederzeit dem Netz oder der USV zuordnen.

5 - 22

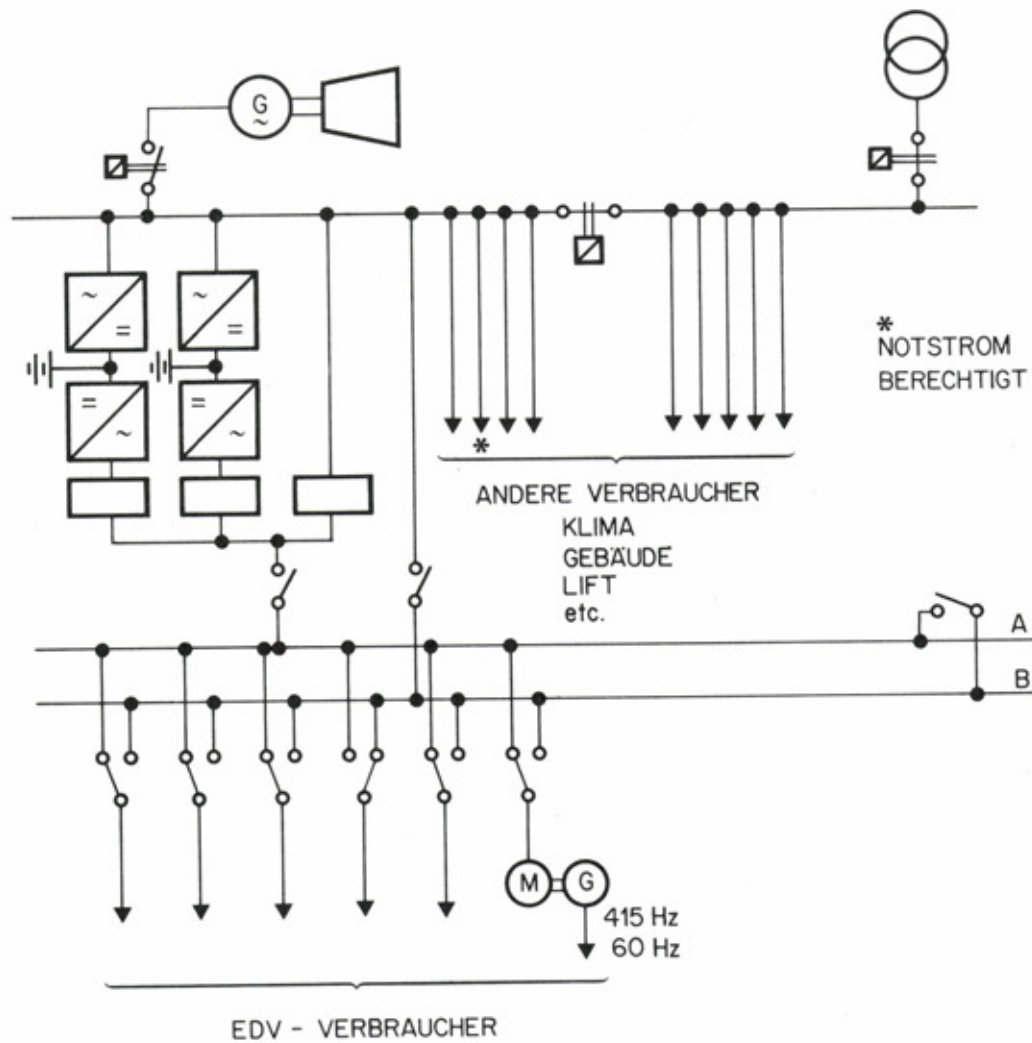


Fig. 28 USV-Konzept II

6. NEUE TRENDS IN DER STROMRICHTERTECHNIK

In der letzten Dekade erlebte die USV-Anlage eine rasante Entwicklung vom Labormodell zum normierten Seriegerät. Heute gibt es mehrere spezialisierte Firmen, die hochentwickelte USV-Geräte herstellen. Zwischenzeitlich wurden auf Kundenanforderung zugeschnittene Geräte hergestellt. Es versteht sich von selbst, dass die erforderliche Zuverlässigkeit durch die heutige Normfabrikation eine andere ist als früher.

Nun, ich habe von einer rasanten Entwicklung gesprochen. In der Tat, die Systeme haben sich bezüglich Abmessungen laufend verbessert. Als Beispiel kann ich eine 10 kVA USV-Anlage nennen, die 1970 genau so gross war wie dies heute eine 100 kVA Anlage ist. Bezüglich der Kostenentwicklung darf von einem ähnlichen Verlauf gesprochen werden. Eine 200 kVA Anlage kostete 1970 ca. 3mal den heutigen Preis. Ferner wurden die Systeme und Systemkonfigurationen einfacher. Als Folge erhöhte sich die Zuverlässigkeit und damit die Verfügbarkeit des Systems. Drastisch konnte auch der Wirkungsgrad der Gesamtanlage angehoben werden. Somit sind die laufenden Kosten gesunken.

Wie geht es nun weiter?

Leistungshalbleiter sind noch ständigen Weiterentwicklungen unterworfen. Z.B. Schnelligkeit, kürzere Freiwerdezeiten, höhere Stromsteilheiten, höhere Spannungsfestigkeiten. Integrierte Schaltungselemente, z.B. wird heute der Thyristor mit der integrierten Rückstromdiode RLT bereits bei USV-Anlagen verwendet. Besonders erwähnen möchte ich die neuen Elemente bezüglich Steuerbarkeit, den GTO Thyristor (Gate turn off), einen Thyristor, den man über das Gate wieder ausschalten kann. Dringend benötigt würde auch ein Leistungstransistor, der hohe Ströme bei einer akzeptablen Sperrspannung schalten kann.

5 - 23

Als zweiten Schwerpunkt möchte ich den zur Verfügung stehenden Energiespeicher, den Akkumulator, erwähnen. Eigentlich noch intensiver als bei USV-Anlagen wird in der Traktion nach einer verbesserten Batterie gesucht. Wie Sie vielleicht bereits wissen, arbeitet BBC an der Entwicklung der Schwefel-Natrium Batterie. Zur Zeit hat diese Batterie ein Raum/Leistungsverhältnis von 1:2 und Gewichts/Leistungsverhältnis von 1:4 gegenüber der Bleibatterie erreicht. Die wirtschaftlichen Bedingungen sind jedoch noch nicht erreicht für eine kommerzielle Anwendung. Dann dürfen wir sicher auch eine Verbesserung der anderen Leistungskomponenten erwarten. Ich denke da an neue Materialien im magnetischen Sektor und beim Kondensator.

Sicherlich geht die Entwicklung der Steuer- und Regelkreise Richtung integrierte Bausteine und Mikroprozessoren. Ich muss hier aber an eine Auswertung denken, die für eine Zuverlässigkeitsanalyse gemacht wurde. Die Ausfallrate der IC's (Integrierte Bausteine) hatte die diskret aufgebauten Bausteine bei weitem überflügelt. Als Schlussfolgerung muss ich annehmen, dass eine hohe Packungsdichte der Zuverlässigkeit nicht unbedingt förderlich ist.

7. AUSBLICK

Als Ausblick bedeutet dies für das Produkt "statische USV-Anlage":

- (a) Das Preis/Leistungsverhältnis wird in den nächsten Jahren noch einmal etwas abnehmen.
- (b) Die Abmessungen werden kleiner werden. Im Besonderen beim Energiespeicher, der Batterie.
- (c) Der Totalwirkungsgrad, der heute bei Vollastbetrieb ca. 90 % erreicht, wird in den nächsten Jahren noch um 3-4 % erhöht werden können.

Die Frage habe ich mir natürlich auch gestellt, "Was ändert sich am Konzept?". Wenn man alle einzelnen Trends berücksichtigt, sehe ich persönlich keine schwerwiegenden Änderungen im Konzept der statischen USV-Anlage. Vor einem halben Jahr wurden in London an einer Energie-Konferenz verschiedene Referate über USV-Anlagen gegeben. In keinem dieser konnte ich für die nächsten Jahre eine Konzeptänderung feststellen.

Zusammenfassend hat sich die statische USV-Anlage heute zu einem hochqualitativen Produkt entwickelt. Anfängliche technische Schwachstellen konnten durch die Entwicklungsarbeit der Leistungselektronik eliminiert werden. Trotzdem bleibt die USV-Anlage ein komplexes Gebilde von diversen Komponenten. Es ist daher verständlich, dass die notwendige Zuverlässigkeit nur mit einem Gerät aus einer Produktion mit hoher Qualitätssicherung und konsequenter Technik erreicht wird. Wirtschaftliche Konsequenzen können durch Einsatz einer qualitativen USV-Anlage vermieden werden. Der Wunsch des Lieferanten ist es, den hohen Anforderungen seines Produktes durch eine bewährte Normlösung zu begegnen.

Die Ausführung einer USV-Anlage möchte ich mit einigen Bildern dokumentieren!

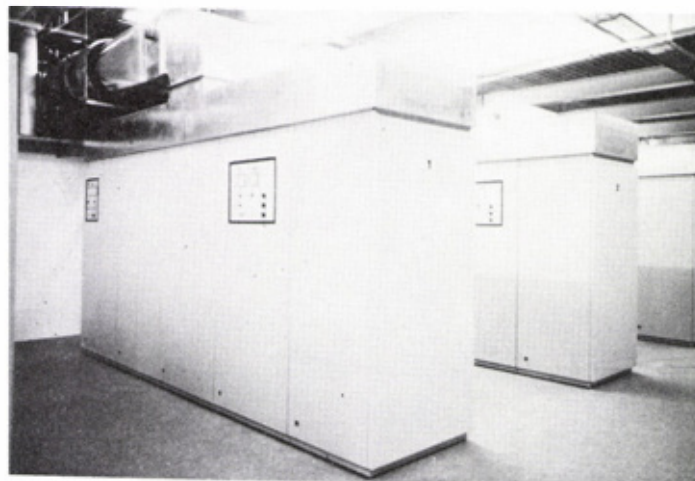


Fig. 29 USV-Anlage der Satellitenstation Leuk, 3x120kVA, mit Fremdbelüftung

5-24

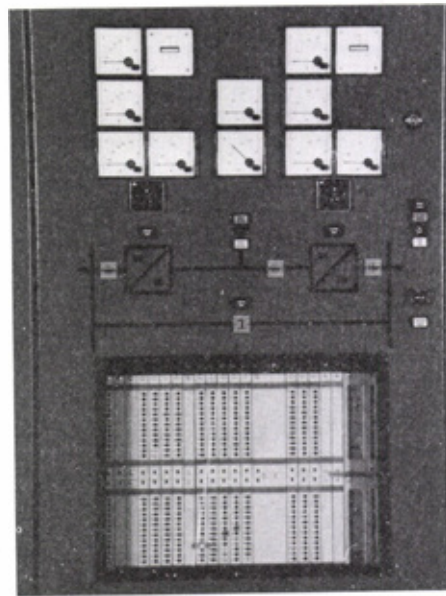


Fig. 30 Standardbedienungseinheit von USV-Anlagen mit aufgeschlüsselter Zustandsanzeige

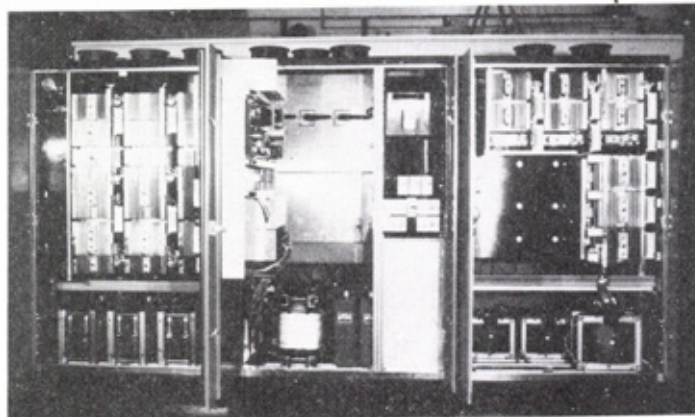


Fig. 31 USV-Anlage offen, 100kVA, mit Selbstbelüftung

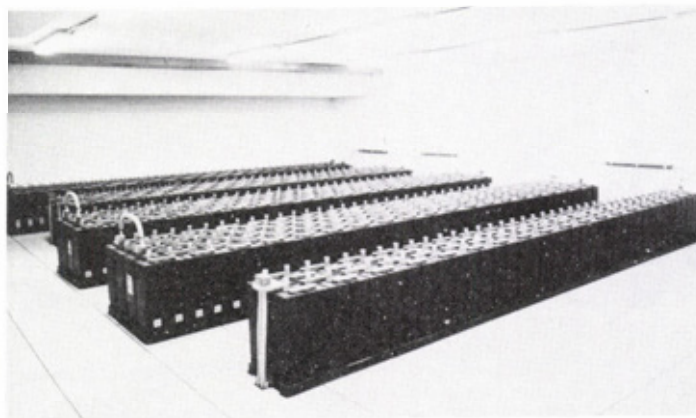


Fig. 32 Bleiakkumulatorenstation für USV-Anlage, 3x120kVA