

Wechselstrom

Symmetrisches Auf und Ab

Bis zur Einführung des Alternators im Automobilbau war Wechselstrom in der Autobranche kaum ein Thema. Je leistungsfähiger die Elektromotoren jedoch werden (müssen), desto weniger eignen sich die konventionellen Gleichstrommotoren. Gerade in Hybrid- oder Elektrofahrzeugen mussten sie schon früh den Drehstrommotoren weichen. Damit wird es zunehmend wichtig, dass sich die Spezialisten in den Werkstätten mit den Grundlagen der Wechselstromtechnik auskennen.

VON ANDREAS LERCH

Neben dem Gleich- und Wechselstrom ist auch der Mischstrom ein Begriff. Während im Gleichstromkreis sowohl die Spannung als auch der Strom immer im positiven Bereich liegen und in Oszilloskop-Bildern als Linie dargestellt werden, wechseln im Wechselstromkreis die positiven und die negativen Phasen periodisch und symmetrisch ab. Im Mischstromkreis sind Gleichstrom- und Wechselstromanteile gemischt. Diese können ständig im positiven Bereich pendeln, können aber teilweise auch in den negativen Spannungsbereich abtauchen.

Stromerzeugung

Der grösste Teil der elektrischen Energie wird heute durch Induktion aus anderen Energieformen umgewandelt. Dazu werden Generatoren (im Autobau wird von Alternatoren gesprochen), oder genauer Drehstromgeneratoren eingesetzt. Diese Maschinen wandeln die zugeführte mechanische Energie in elektrische Energie. Wie dabei die mechanische Energie zugeführt wird, interessiert die Generatoren nicht. Im Auto wird die Energie vom Motor über den Mehrrippenriemen zum Alternator geführt,

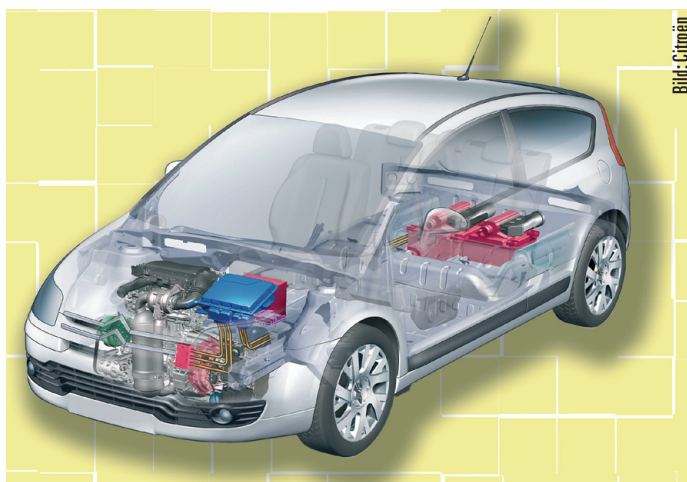


Bild 1. Hybrid-Fahrzeuge vereinen in der Regel einen Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor. Deutlich erkennbar sind die zwei Kabel, welche von den Akkumulatoren zur Leistungselektronik und die drei Kabel, welche von der Leistungselektronik zum Drehstrommotor führen.

beim Wasserkraftwerk wird die Strömungsenergie des Wassers in einer Turbine in mechanische Energie umgewandelt, und die Wärmeenergie eines Kernkraftwerkes erhitzt Wasser, welches als Dampf durch Dampfturbinen gepresst wird, welche ihrerseits die Generatoren antreiben.

Induktion

Wird ein elektrischer Leiter von einem Magnetfeld geschnitten, so wird in ihm eine elektrische Spannung induziert. Das kann mit einem Stabmagneten ausprobiert werden, der in eine

Kupferdrahtspule gestossen wird. Der Einfachheit halber wird der Strom aber nicht durch eine Hubbewegung erzeugt, sondern durch eine Drehbewegung. Der Permanentmagnet dreht im Einflussbereich von Kupferspulen. So wird in diesen die Spannung induziert.

Der wechselnde Effekt kann wieder mit dem Stabmagneten gezeigt werden: Wird dieser in die Spule hineingestossen, schlägt der Zeiger eines analogen Messinstruments in die eine Richtung aus, wird der Magnet wieder herausgezogen, schlägt der Zeiger in die andere Richtung aus.

Beim drehenden Magneten können die Ausschlagrichtungen des Messzeigers mit der Drehrichtung des Magneten beeinflusst werden.

Am effizientesten arbeitet der Generator, wenn die magnetischen Pole gerade unmittelbar vor den elektrischen Leitern vorbeigezogen werden (Bild 2). 90° später wird die Lampe nicht leuchten, da das Magnetfeld die Leiter nicht schneidet. Nach weiteren 90° leuchtet die Lampe wieder, aber der Strom fliesst bei dieser Rotorposition in der anderen Richtung durch die Leitung, die Polarität des Stromes hat sich geändert, da sich auch die Polarität der Magnet-Enden, welche an den Spulen vorbeiziehen, geändert hat.

Sinusförmiger Wechselstrom

Generatoren sind heute konstruktiv so ausgelegt, dass sinusförmige Wechselströme und -spannungen erzeugt werden. Durch konstruktive Massnahmen kann die Signalform beeinflusst werden (z.B. bei früheren Induktivgebern von Zündanlagen). Die Sinusform ist jedoch am besten geeignet, Elektromotoren ruhig und mit gleichförmiger Drehmomentabgabe anzutreiben; auch bei Transformatoren arbeiten sinusförmige Wechselströme optimal. Die Sinusfunktion stammt aus der

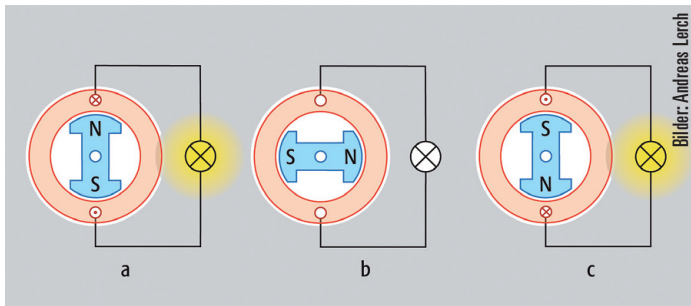


Dresser Bach AG, Im Diebis 7, 8143 Stallikon
Tel. 044 701 99 99, Fax:044 701 99 00
www.bach-rohe.ch



Die Profis für:

Tanktechnik



Bilder: Andreas Lerch

Bild 2. Grundaufbau eines Generators nach dem Induktionsprinzip. Ziehen die Pole an dem Leiter des Stators vorbei, wird Spannung erzeugt (a). In der waagrecht positionierten Lage (b) schneidet die Spannungskurve die Nulllage, um in der Stellung c den negativen Maximalpunkt zu erreichen.

Mathematik, und die technischen Taschenrechner enthalten alle eine sin-Taste. Die Steigung der Kurve ändert sich ständig, aber es gibt keine Knicke oder Spannungssprünge. Diese würden in Spulen (z.B. in Transformatoren) sofort grosse Selbstinduktionsspannungen erzeugen, was dann wiederum zu unerwünschten Spannungsspitzen führen würde.

Stellt man sich im Bild 3 im Zentrum einen drehbaren

Stabmagneten vor und im Bereich von 90° bzw. 270° eine feststehende Spule, so streichen die Pole genau bei 90° und bei 270° an den Spulen vorbei und erreichen eine Induktion mit hohem Wirkungsgrad, es entsteht eine hohe Spannung. In den waagrecht positionierten Stellungen des Rotors entsteht keine Induktion, die Spannungskurve durchfährt die Nulllinie.

Wenn sich die Magnetpole den Spulen wieder nähern, erhöht sich

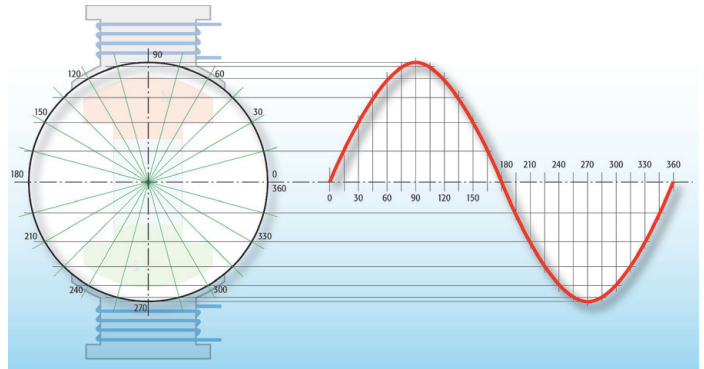


Bild 3. Im Hintergrund wird der Generataraufbau erkannt. Der Generatorkreis und die Diagrammabszisse sind mit Winkelgraden gekennzeichnet. Werden die Kreispunkte in das Diagramm gezogen, kann eine sinusförmige Linie konstruiert werden.

die Induktion und damit die Spannung wieder. Dieser Effekt kann mit einem Kreis konstruiert und dargestellt werden (Bild 3). Rechts sind im Diagramm die 360° des Kreisumfangs auf der Abszisse aufgetragen, so können für alle Winkelgrade mit waagrecht verlaufenden Linien die Kreispunkte in das Diagramm übertragen werden. Die Verbindungslinie der Diagrammpunkte ergibt dann die Sinuskurve.

Über einen ohmschen Widerstand könnten die Kurven quantifiziert werden und es liesse sich eine gleiche Stromkurve mit einem anderen Kreis durchzeichnen.

Bezeichnungen

Da bei Wechselspannungen und -strömen die Werte sich ständig verändern, bleibt auch die elektrische Leistung nicht konstant. Durchstossen die beiden Kurven gerade den Nullpunkt, kann keine elektrische Leistung abgegeben werden. Eine elektrische Heizung beispielsweise in einem LötKolben wird nicht bestromt und deshalb der LötKolben auch nicht warm. Im andern Fall, wenn die beiden Kurven gerade ihre maximalen Werte durchfahren, wird

natürlich einiges an elektrischer Energie geliefert. Der effektive Heizwert muss aber irgendwo zwischen Maximum und Minimum liegen. Aus diesem Grund werden auch drei Ausschlaggrößen für die Spannung und für den Strom unterschieden: die Maximal- oder Scheitelwerte (\hat{U} oder \hat{I}), die Momentanwerte (u oder i) und die Effektivwerte (U_{eff} oder I_{eff}).

Die Maximalwerte entsprechen der Amplitude der Kurve; sie werden pro Periode (= ein Signaldurchlauf) einmal im positiven und einmal im negativen Bereich durchfahren.

Die Momentanwerte sind bei sehr kurzer Betrachtungsweise jene Werte, welche gerade in einem Moment vorherrschen. Soll beispielsweise ein Kondensator im Wechselstromnetz geladen werden, kommt es genau darauf an, in welchem Moment er vom Stromkreis getrennt wird: Ist das zufälligerweise gerade im Nulldurchgang der Kurven, ist der Kondensator nicht geladen; ist es im Maximalwert, wird er maximal geladen. Durch diese Logik liegt die Kondensatorladung zufälligerweise irgendwo dazwischen.

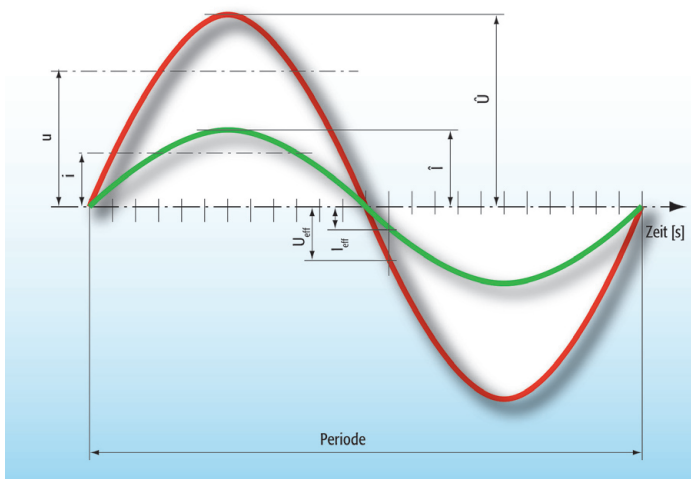


Bild 4. Die rote Spannungs- und die grüne Stromkurve liegen um den Widerstandsfaktor auseinander. \hat{U} und \hat{I} stellen die Maximalwerte, bzw. die Amplituden der Kurven dar. U_{eff} und I_{eff} sind die Werte, welche für die Wechselstromleistung wichtig sind und u, i stehen für beliebige Momentanwerte.



Die Profis für:

Waschtechnik

Besuchen Sie uns am Automobil-Salon Genf - Halle 7, Stand 7051



Dresser Bach AG, Im Diebis 7, 8143 Stallikon
Tel. 044 701 99 99, Fax: 044 701 99 00
www.bach-rohe.ch



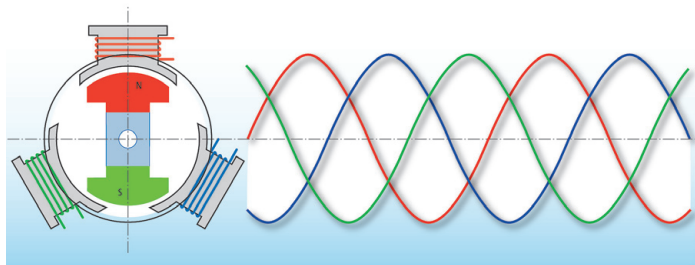


Bild 5. Prinzipieller Aufbau und Kurvenform eines dreiphasigen Wechselstromgenerators oder eines Drehstromgenerators. Da die einzelnen Spulen um 120° auseinander liegen, weisen auch die Kurven einen Abstand von 120° auf.

Effektivwert und Frequenz

Als Effektivwert wird jener Wert bezeichnet, der an einem Widerstand oder einer Heizung die gleiche Leistung erbringt wie Gleichstrom. Der Wert entspricht der mathematischen Funktion:

$$U_{\text{eff}} = \hat{U} / \sqrt{2} \text{ bzw. } I_{\text{eff}} = \hat{I} / \sqrt{2}$$

Somit ist bei der Netzspannung der effektive Wert 230 Volt und der Maximalwert 325 Volt. Der elektrische Schlag in unserem Körper erfolgt also mit 325 Volt und nicht «nur» mit 230 Volt.

Neben dem Effektivwert wird hauptsächlich von der Frequenz gesprochen. Die Frequenz bezeichnet die Anzahl Perioden, welche pro 1 Sekunde durchlaufen werden. Die einzelne Periode ist ein vollständiger Signaldurchlauf. Die Frequenz sagt also aus, wie oft ein Signal pro Sekunde auftritt. Sie wird nach dem deutschen Physiker

Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) angegeben.

$$1 \text{ Hertz [Hz]} = 1 \text{ Periode} / 1 \text{ Sekunde}$$

Verketteter Wechselstrom

Es könnten nun statt einer Spule deren drei am Umfang des Stators platziert werden. Sind diese Spulen U, V, W mit den Spulenanfängen U1, V1, W1 und den Spulenenenden U2, V2, W2 im regelmässigen Abstand von 120° angebracht, entstehen natürlich pro Rotorumdrehung auch drei Sinuskurven, welche ihre Anfangspunkte um je 120° verschoben haben. Wird an jeder Spule (Strang oder Phase genannt) über eine Aussenleitung L1, L2, L3 eine Lampe zugeschaltet und der Rotor langsam gedreht, leuchtet immer eine Lampe nach der anderen auf. Da die Lampen nicht nur bei positiver Phasenlage leuchten, gilt die Reihenfolge gemäss Bild 6:

rot-grün-blau-rot-grün... Werden diese Lampen im Kreis aufgestellt, drehen sich die Lichtpunkte ebenfalls im Kreis, aus diesem Grund wird der verkettete Wechselstrom auch Drehstrom genannt.

Kurvendiskussion

Im Bild 6 werden im Diagramm drei Punkte speziell bezeichnet. Im ersten Punkt befindet sich die blaue Phase L2 in ihrem positiven Maximum. Dagegen schneiden sich die rote L1 und die grüne Phase L3 im negativen Bereich genau beim Durchfahren ihrer negativen 50%-Marken. Im zweiten Punkt durchfährt L2 die Nulllinie, L3 nähert sich dem positiven Maximum und L1 hat kurz vorher das negative Maximum durchfahren.

Werden die Ausschläge mit dem Geodreieck ausgemessen, kann

festgestellt werden, dass sich die Linienlänge im positiven Bereich und jene im negativen Bereich gerade aufheben, also gleich lang sind. Im ersten Punkt ist die Strecke für die blaue Phase L2 genau doppelt so lang wie die anderen beiden und im Punkt zwei ist die Strecke für die blaue Phase L2 Null, dagegen die beiden anderen gleich lang. Die grüne Phase L3 liegt dabei im positiven und die rote L1 im negativen Bereich. Die Aussage, dass sich die Spannungen aufheben stimmt so auch im Punkt drei und in allen anderen beliebigen Punkten dieses Diagramms.

Sternpunkt- oder Neutralleiter

Wenn sich die einzelnen Kurven schon in jedem Punkt ergänzen, wurde ausprobiert, ob nicht die Rückleitungen von den Lampen

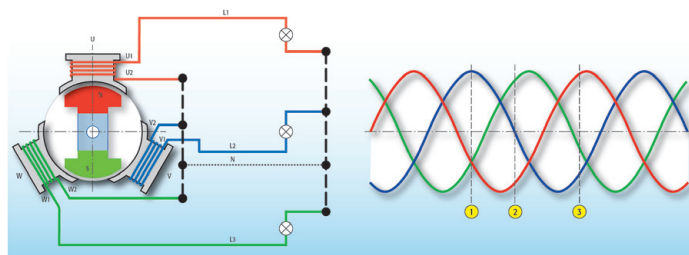


Bild 6. Im Drehstrom ergibt die Summe der Einzelspannungen in jedem Zeitpunkt null (1, 2, 3). Aus diesem Grund können die Enden der Phasenleitungen in einem Punkt zusammengefasst werden, und das Schliessen der einzelnen Stromkreise erfolgt über die Phasen der anderen Stromkreise.



Weiter kommen.

Schweizer Motorenöl von AVIA für Personenwagen.

Die 6 synthetischen Hightech-AVIA-Motorenöle mit LowSAPS-Technologie erfüllen sämtliche aktuellen ACEA/API-Spezifikationen und Betriebsvorschriften für EURO-4-PW-Motoren mit Dieselpartikelfilter (DPF), TDI-Pumpendüse und für Benzinmotoren mit und ohne LongLife-Service.

AVIASYNTH DPF C1-08
 AVIASYNTH DPF C2-08
 AVIASYNTH DPF C3-08
 AVIASYNTH DPF C3-08
 AVIASYNTH DPF C4-08
 AVIASYNTH VW LongLife III

SAE 5W-30
 SAE 5W-30
 SAE 5W-30
 SAE 5W-40
 SAE 5W-30
 SAE 5W-30

AVIA Motorenöle.
 Qualität, die überzeugt.

AVIA  OEL
 HUILE
 OLIO

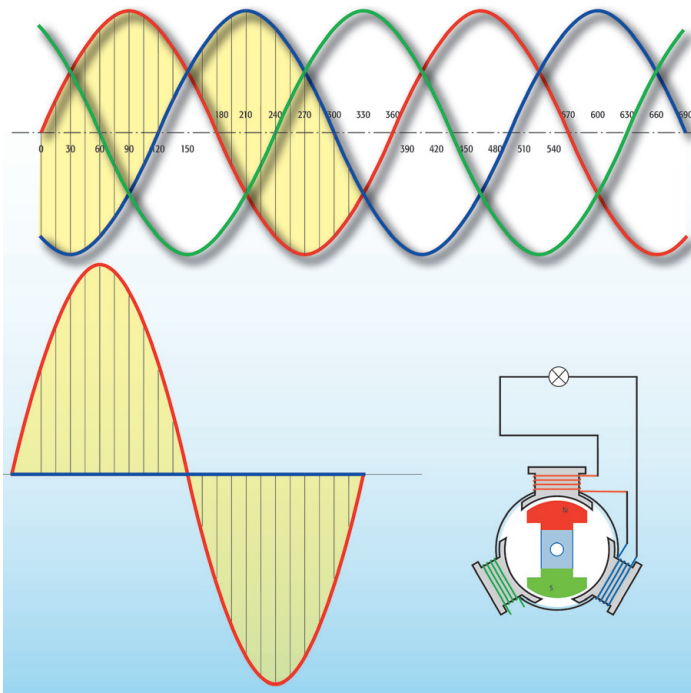


Bild 7. Sind die Enden von zwei Spulen zusammengefasst und werden zwei Phasenansätze gezielt einem Verbraucher zugeführt, können die Momentanwerte zusammengezählt werden – es ergibt sich eine neue Sinuskurve mit einer höheren Amplitude.

eingespart werden könnten. Die Überlegung geht dahin, dass im Diagrammpunkt 1 L2 im positiven Maximum ist, die entsprechende Lampe leuchtet hell und der Rückstrom könnte über die schwarze Strichlinie zu den anderen, in diesem Punkt negativen

Phasen, geleitet und über diese Phasenleitungen zurückgeführt werden. Über die Strichlinie beim Generator könnte der Stromkreis geschlossen werden. Tatsächlich funktioniert diese Überlegung, und wenn die drei Stromkreise wirklich ganz genau gleich belastet

FRAGEN

1. Zählen Sie drei Möglichkeiten auf, wie Grossgeneratoren für die Stromerzeugung angetrieben werden.
2. Was passiert, wenn in einer Sternschaltung bei einer Spule das falsche Ende an den Sternpunkt gelötet wird?
3. Wie gross wird die effektive Spannung, wenn im Haushaltsnetz (230 Volt) zwei Phasen abgegriffen werden?

LÖSUNG ZUR AUSGABE 1-2/2010

1. Es handelt sich um die direkte Lösung, da in den Endphasen der Zahnstange die Übersetzung direkter wird und damit den Bewegungsaufwand mindert.
2. Doppelritzel-Lenkgetriebe und Lenkgetriebe mit achsparallelem Eingriff.
3. Planetengetriebe und Wellgetriebe.
4. Sie weisen kleine Übersetzungsverhältnisse auf und müssen zwei Krafteingänge und einen Kraftausgang haben. Die Eingänge müssen allein oder gemeinsam den Ausgang ansteuern können.
 1. Eingang: vom Lenkrad
 2. Eingang: vom Elektromotor
 - Ausgang: zum Ritzel

werden, ergibt sich auch kein Leistungsverlust. Wenn aber die drei Lämpchen unterschiedliche Wattzahlen aufweisen, ergeben sich Restströme, welche über einen zusätzlichen Leiter, den Sternpunkt- oder Neutralleiter, zurückgeführt werden müssen.

In den automobilen Alternatoren funktionieren diese Zusammenhänge genau gleich, nur werden die drei Phasen noch im Alternatorgehäuse in der Brückenschaltung gleichgerichtet, da die automobilen Verbraucher auf Gleichstrom ausgerichtet sind und in den Akkumulatoren nur Gleichstrom gespeichert werden kann.

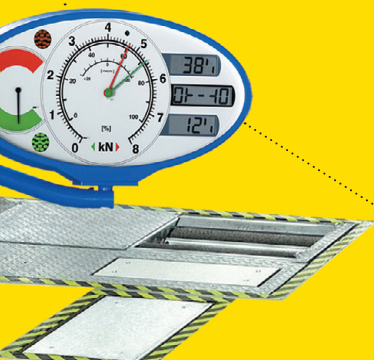
Verkettete Spannung

Bisher wurden die einzelnen Phasen für sich angeschaut, nur die Rückleitungen wurden zusammengefasst. Was passiert aber, wenn bei einer verknüpften Schaltung zwei Spulenansätze (z.B. U1 und V1) als Hin- bzw. Rückleitung zu einem Verbraucher gezogen werden, während die entsprechenden Spulenden (U2 und V2) wie beschrieben zusammengefasst sind?

Es gibt zwei Möglichkeiten, die Resultierende zu erhalten. Als Vektordiagramm können die Effektivwerte geometrisch addiert werden. Dies ergibt eine gleiche Grafik wie



Kompetenz durch Wissen



Prüfstrasse TL
Allraderkennung • Geräusuchfunktion
Ausfahrhilfe etc.

Vernetzung aller Beissbarth-Prüfgeräte über Ihren Büro-Annahme-PC



Lenkgeometriegerät microline Tech



Lenkgeometriegerät Easy 3D – neue Generation



Alte Landstr. 27, 8193 Eglisau
Tel. +41 (0)44 867 02 78
Fax +41 (0)44 867 02 94
info@gassnerag.ch
www.gassnerag.ch



Besuchen Sie uns am Autosalon.
Halle 7
Stand 7331

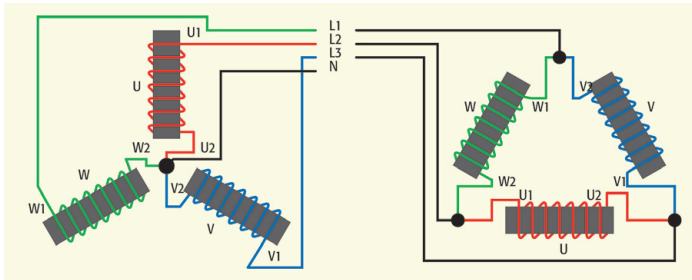


Bild 8. Schaltungstechnisch werden die Stern- und die Dreieckschaltung eingesetzt. Wichtig sind beim Zusammenschalten, dass die Spulenwicklungsrichtung beachtet wird, d.h. dass der Spulenansfang und das Spulenende nicht verwechselt werden.

die Addition von Kräften. Die andere Methode addiert mathematisch die Momentanwerte (Bild 7). Die Fläche bzw. die Abstände zwischen der roten (L1) und der blauen Phase (L2) werden alle 15° ausgemessen. In einem neuen Diagramm wird die blaue Phase als Mittellinie des Diagramms angesehen und die ausgemessenen Werte werden übertragen. Solange die blaue Kurve unterhalb der roten liegt, wird auch die neue rote Kurve über der blauen liegen, es ergibt sich die neue positive Halbwelle. Bei 150° schneiden sich die beiden Kurven: der Nullpunkt. Danach ist die rote unterhalb der blauen Kurve, es entsteht die negative Halbwelle von 150° bis 330°. Es ergibt sich damit eine neue

Phasenlage, aber auch die Amplitude der neuen Kurve wird grösser. Die Werte werden um den Faktor $\sqrt{3} = 1.73$ grösser. Im Stromnetz kann so aus der 230-V-Spannung die 400-V-Steckdose beschaltet werden. Im Autobau werden die verketteten Spannungen im Bereich von Hybrid- und Elektrofahrzeugen eingesetzt. Im Titelbild ist deutlich zu erkennen, dass drei Kabel von der Leistungselektronik zum Elektromotor geführt werden. Es handelt sich dort also um einen Drehstrommotor. Die Leistungselektronik muss demzufolge den gespeicherten Gleichstrom wieder in Wechsel- bzw. Drehstrom zurückverwandeln.

Dem Verbraucher werden die drei Phasen einzeln zugeführt

und nach den Verbraucherwicklungen (z.B. in einem Motor) wiederum in einem Sternpunkt zusammengeführt.

Sternschaltung

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Verkettungsarten der drei Spulen: die Stern- und die Dreieckschaltung.

Bei der Sternschaltung werden – wie in Bild 6 – die Spulenenden im Sternpunkt zusammengehängt. Da die Spulen eine Wicklungsrichtung aufweisen, und diese einen entscheidenden Einfluss auf die Polarität der induzierten Spannung hat, kommt es darauf an, welcher Spulenanschluss den Spulenansfang und welcher das -ende darstellt.

Bei der Sternschaltung überlagern sich die Spannungen gemäss Bild 7, dafür bleiben die Ströme konstant.

$$U = \sqrt{3} \cdot U_{ph}$$

$$I = I_{ph}$$

Dreieckschaltung

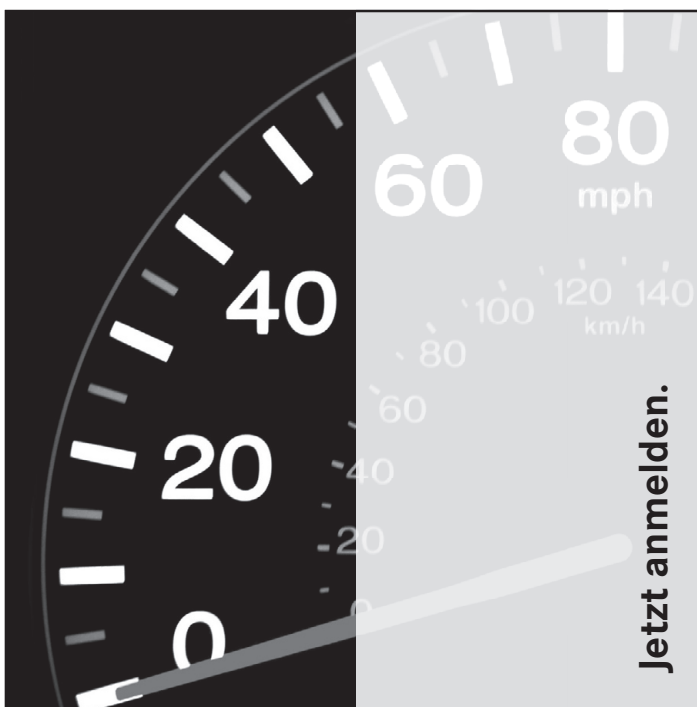
Bei der Dreieckschaltung ist das Ende der einen Phase mit dem Anfang der nächsten Phase

verbunden: W2 mit U1, U2 mit V1 und V2 mit W1. Dies ergibt eine in sich geschlossene Schaltung. Die Phasenspannungen verändern sich dabei nicht, da sie nicht über mehr als eine Spule verkettet werden können. Da die Schaltung keinen Neutralleiter hat, müssen sich die Ströme durch die einzelnen Spulen ausgleichen. Bei dieser Schaltungsart bleiben die Spannungen konstant, die Ströme können jedoch um den Faktor $\sqrt{3}$ vergrössert werden.

$$I = \sqrt{3} \cdot I_{ph}$$

$$U = U_{ph}$$

In den automobilen Generatoren ist die Dreieckschaltung sehr selten geworden. Hochleistungsgeneratoren in Bussen stellen noch ein Anwendungsgebiet dar. Auf der Verbraucherseite sind gerade in Motoren auch die sterngeschalteten verbreiteter. Diese Wechselstrommotoren werden auch Drehstrommotoren genannt. Es gibt sie in einer synchronen und einer asynchronen Bauweise. Diese Motorenarten werden in der kommenden «AUTO&Technik» beschrieben und erläutert. ■



Automobil-Diagnostiker/in

Kanton Zug

mit eidg. Fachausweis

Am GIBZ Gewerblich-industriellen Bildungszentrum Zug starten die nächsten Module für die Ausbildung zur Berufsprüfung Automobil-Diagnostiker/in:

Beginn Module 6–9: Montag, 16. August 2010

- Modul 6: Sicherheits- und Komfortelektronik
- Modul 7: Fahrwerk leichte Motorfahrzeuge
- Modul 8: Motormanagement leichte Motorfahrzeuge
- Modul 9: Kraftübertragung leichte Motorfahrzeuge

Voraussetzungen:

Fähigkeitsausweis als Automechaniker oder Autoelektriker bzw. Fahrzeug-Elektriker oder -Elektroniker, Landmaschinenmechaniker, Baumaschinenmechaniker sowie 2 Jahre Praxis bis zur Berufsprüfung als Automobil-Diagnostiker.

Ausführliche Informationen zum Lehrgang, Voraussetzungen und Details zu den einzelnen Modulen finden Sie auf: www.gibz.ch weiterbildung.

GIBZ Gewerblich-industrielles Bildungszentrum Zug, Baarerstr. 100, 6302 Zug
Telefon 041 728 30 30, www.gibz.ch