

7. DER DREHSTROMGENERATOR

Der Drehstromgenerator tritt im Kraftfahrzeug an die Stelle des Gleichstromgenerators. Er wird immer häufiger eingebaut, weil er die heutigen Anforderungen nach höherer Leistung, Batterieladung im Leerlauf sowie Wartungsfreiheit besser erfüllt. Der durch den städtischen Fahr-Halte-Verkehr notwendig gewordene frühere Ladebeginn ist dadurch möglich, daß der Drehstromgenerator bezüglich seiner Höchstdrehzahl unempfindlich ist und daher seine Antriebsübersetzung entsprechend gewählt werden kann. Mit dem Bild 6.15 des Abschnittes 6 wurde bereits auf diesen Sachverhalt hingewiesen.

In den Kraftwerken wird die elektrische Energie zur allgemeinen Energieversorgung ausschließlich mit Drehstromgeneratoren bereitgestellt und in Drehstromnetzen verteilt.

Folgende Eigenschaften begründen die Bedeutung des Drehstromes:

- Auf verhältnismäßig einfache Weise läßt sich ein Drehfeld, ein sich drehendes Magnetfeld, erzeugen.
- Somit kann die elektrische Energie leicht in mechanische Bewegungsenergie umgewandelt werden.
- In Drehstromnetzen stehen zwei verschieden hohe Spannungen zur Verfügung.

7.1. Erzeugung des Drehstromes

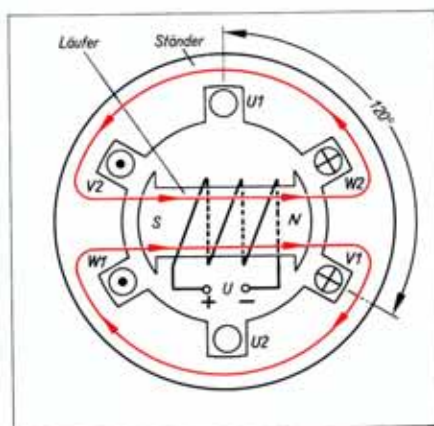


Bild 7.1: Schematischer Aufbau des Drehstromgenerators

Der Ständer (Stator) eines Drehstromgenerators erhält drei um 120° el (elektrische Grade) gegeneinander versetzte Induktionswicklungen (Stränge). Bei der einpoligen Ausführung nach Bild 7.1 stimmen elektrische und räumliche Grade überein, also liegt nach jeweils 120° der Anfang des folgenden Stranges. Die Kennzeichnung der Strangwicklungen erfolgt durch Buchstaben:

- U1, V1, W1 für die Wicklungsanfangen der 3 Stränge
- U2, V2, W2 für die Wicklungsenden der 3 Stränge

Im Bild 7.1 ist jeder Strang durch eine Windung im Schnitt dargestellt. Drehstromgeneratoren werden als Innenpolmaschinen gebaut, bei denen der Läufer (Rotor, Polrad) die Erregerwicklung trägt.

Vorteile der Innenpolmaschine:

- Dem Läufer wird die geringere Erregerleistung über Schleifringe zugeführt.
- Die erzeugte größere Drehstromleistung wird über feste Klemmen an dem Ständer abgenommen.

Bei der Drehung des Läufers wird in jedem der drei Stränge eine Wechselspannung erzeugt. Die Spannungen sind gleich groß, aber zeitlich um 120° el verschoben, weil sie nacheinander induziert werden (Bild 7.2). Als Folge dieser drei Wechselspannungen fließen bei gleichen Verbrauchern

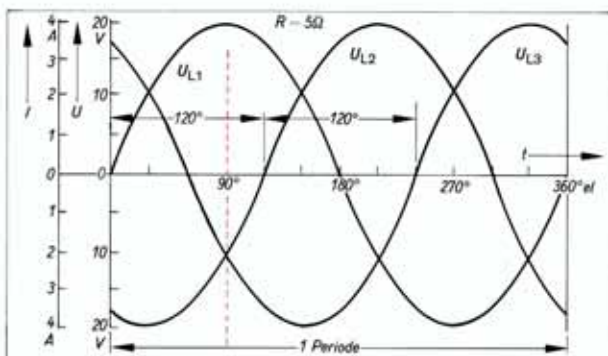


Bild 7.2: Liniendiagramm des Drehstromes

drei voneinander unabhängige Wechselströme.

Drei um 120° el phasenverschobene Wechselströme werden Drehstrom genannt.

Die drei Spannungen werden hier im Liniendiagramm mit U_{L1} , U_{L2} und U_{L3} bezeichnet. Aus dem Liniendiagramm ist ersichtlich, daß nach einer Drittelperiode die Spannung U_{L2} und nach weiteren 120° el die Spannung U_{L3} positiv ansteigt. Durch dieses zeitliche Nacheinander ergibt sich, daß die Summe der Augenblickswerte sowohl der Spannungen als auch der Ströme immer gleich null ist.

Dieser Zusammenhang soll im Zeitpunkt 90° des Liniendiagramms (Strichlinie) überprüft werden:

L 1 führt den positiven Maximalstrom $+ 4\text{ A}$

L 2 führt den halben negativen Wert $- 2\text{ A}$

L 3 führt den halben negativen Wert $- 2\text{ A}$

Summe: $+ 4\text{ A} - 2\text{ A} - 2\text{ A} = 0\text{ A}$

Die Vorzeichen drücken auch aus, daß in diesem Augenblick 4 A aus L 1 herausfließen und in den beiden anderen jeweils 2 A zurückkommen. Diese Eigenschaft ermöglicht die Verkettung der drei Strangstromkreise.

Die Frequenz der erzeugten Wechselspannung richtet sich nach der Drehzahl und der Polpaarzahl des Polrades (siehe Abschnitt 1.14) sowie danach, wieviel Pole die Wicklung besitzt. Eine Spule je Strang bedeutet einpolig, zwei Spulen zweipolig und so fort.

7.1.1. Drehstrom-Verkettung

Normalerweise müßten aus dem Generator sechs Anschlüsse herausgeführt werden, und jeder Strang könnte ein Einphasen-Wechselstromgerät speisen.

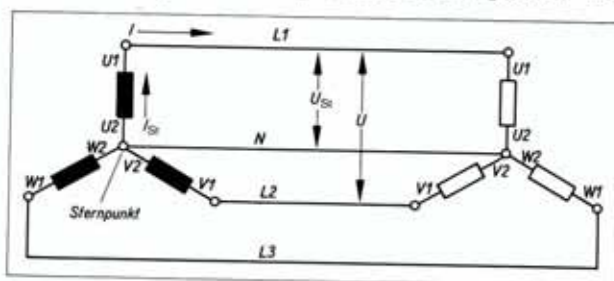


Bild 7.3: Verkettung in Sternschaltung

- Zur Fortleitung werden 3 bzw. 4 Leitungen benötigt.
- Die Strangenden bilden den Sternpunkt oder Mittelpunkt.
- Der vom Sternpunkt abgehende Leiter ist der Mittelleiter N.
- Die 3 Drehstromleiter sind die Außenleiter L1, L2 und L3.

Zwischen beliebigen Außenleitern kann die Leiterspannung U und zwischen einem Außenleiter und dem Mittelleiter seine Strangspannung U_{S1} gemessen werden. In einem Wicklungsstrang fließt der Strangstrom I_{S1} , im Außenleiter der Leiterstrom I . Der geerdete Mittelleiter heißt Nulleiter.

Weil keine Stromverzweigung vorliegt, fließt bei der Sternschaltung der ganze Leiterstrom durch den Wicklungsstrang.

$$I = I_{S1} \quad \text{Leiterstrom bei Sternschaltung}$$

Sind die drei angeschlossenen Verbraucher gleich groß, ist der Mittelleiter stromlos, weil die Summe der Außenleiterströme immer null ist. Der Mittelleiter könnte daher auch weggelassen werden. Nur bei ungleicher Belastung fließt in ihm ein Ausgleichstrom.

Bei gleichmäßiger Belastung ist der Mittelleiter stromlos.

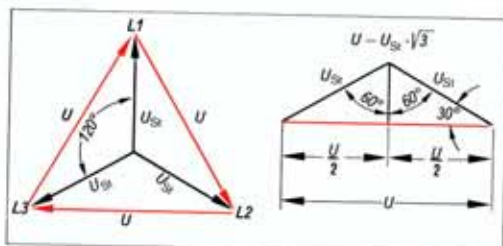


Bild 7.4: Spannungs-Steuerdiagramm

Die Leiterspannung U setzt sich aus den Strangspannungen zusammen. Bild 7.4 zeigt das Zeigerdiagramm der drei Strangspannungen und ihre geometrische Addition zur Leiterspannung U . Die Leiterspannung läßt sich in die beiden Werte $U/2$ aufteilen. Die Seite $U/2$ der beiden rechtwinkligen Dreiecke ist gemäß den Winkelfunktionen $U_{S1} \cdot \cos 30^\circ$, das ergibt $U_{S1} \cdot 0,866$. Da $U = 2 \cdot U/2$ ist, folgt $U = U_{S1} \cdot 2 \cdot 0,866$, und das ist $U = U_{S1} \cdot 1,73$. 1,73 ist die Quadratwurzel aus 3 = $\sqrt{3}$. Um diesen Wert.

winkligen Dreiecke ist gemäß den Winkelfunktionen $U_{S1} \cdot \cos 30^\circ$, das ergibt $U_{S1} \cdot 0,866$. Da $U = 2 \cdot U/2$ ist, folgt $U = U_{S1} \cdot 2 \cdot 0,866$, und das ist $U = U_{S1} \cdot 1,73$. 1,73 ist die Quadratwurzel aus 3 = $\sqrt{3}$. Um diesen Wert.

den Verkettungsfaktor, ist die Leiterspannung bei der Sternschaltung größer als die Strangspannung.

$$U = 1,73 \cdot U_{S1} \quad \text{Leiterspannung bei Sternschaltung}$$

Energieversorgung. In Vierleiter-Drehstromnetzen zur Versorgung mit elektrischer Energie beträgt die Strangspannung, also die Spannung zwischen Außenleiter und N, meist 220 V, so daß als Leiterspannung $U = 1,73 \cdot 220 \text{ V} = 380 \text{ V}$ zur Verfügung steht. Wahlweise können so Geräte mit verschiedenen Nennspannungen angeschlossen werden. Der Mittelleiter wird außerdem geerdet, so daß im Fehlerfall keine zu hohen Berührungsspannungen gegen Erde auftreten können. Durch diese Erdung kann die Schutzmaßnahme „Nullung“ angewendet werden, bei der die betriebsmäßig nicht unter Spannung stehenden leitfähigen Teile eines Elektrogerätes mit dem Mittelleiter verbunden werden.

Dreieckschaltung. Bei der Dreieckschaltung wird jeweils das Ende einer Strangwicklung mit dem Anfang der folgenden Wicklung verbunden (Bild 7.5). Es entsteht so ein geschlossener Stromkreis in Dreieckform, in dem aber kein Kurzschlußstrom fließt, weil die Summe der wirksamen Spannungen in jedem Augenblick null ist.

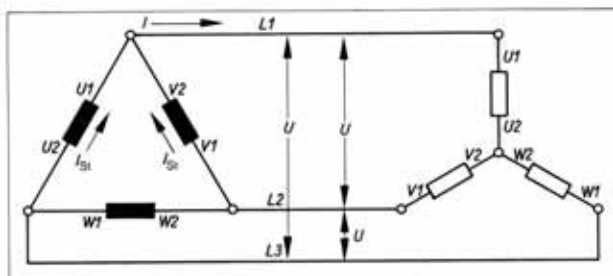


Bild 7.5: Verkettung in Dreieckschaltung

Zwischen den Außenleitern herrscht als Leiterspannung U die Strangspannung U_{S1} , es steht nur eine Spannung zur Verfügung.

$$U = U_{S1} \quad \text{Leiterspannung bei Dreieckschaltung}$$

Der Außenleiteranschluß erfolgt an einem Stromverzweigungspunkt, so daß der Leiterstrom I sich aus zwei Strangströmen zusammensetzt. Da die Spannungen und somit die Ströme eine Phasenlage von 120° el besitzen, ist auch der Leiterstrom um den Verkettungsfaktor $\sqrt{3}$ größer.

$$I = 1,73 \cdot I_{S1} \quad \text{Leiterstrom bei Dreieckschaltung}$$

Stern- und Dreieckschaltung verhalten sich gewissermaßen entgegengesetzt, indem einmal eine Spannungs- und zum anderen eine Stromerhöhung eintritt.

In Bild 7.5 ist der Verbraucher in Sternschaltung angeschlossen. Es können sowohl Generator als Verbraucher in Stern oder in Dreieck geschaltet sein. Wichtig ist, daß die Nennspannung des Wicklungsstranges nicht überschritten wird. Sollte der Verbraucher in Dreieckschaltung betrieben werden, müßte er je Strang für eine 1,73 mal größere Spannung ausgelegt werden.

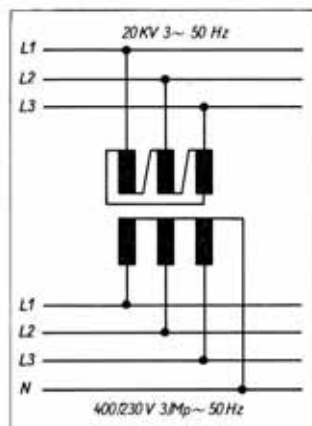


Bild 7.6: Schaltung eines Drehstromtransformators

Drehstrom-Transformatoren. Wechselspannungen können sowohl herauf- als auch heruntertransformiert werden (siehe Abschnitt 9.1). Zur elektrischen Energieversorgung, die heute mit Drehstromnetzen erfolgt, dienen Drehstrom-Transformatoren. Sie bestehen aus einem geschlossenen Eisenkern mit drei Schenkeln, auf denen die drei Primär- und die drei Sekundärwicklungen angeordnet sind.

Die Fernübertragung ist nur wirtschaftlich, wenn die im Kraftwerk erzeugte Spannung auf Hochspannung von 220 kV bzw. 380 kV transformiert wird. Die Dreileiternetze der Verbundwirtschaft erfordern eine Dreieckschaltung bei den Transformatoren. Zur Anwendung in Niederspannungs-Verteilungs-

netzen wird meist die Oberspannungswicklung der ankommenden Hochspannung in Dreieck und die Unterspannungswicklung zur Speisung des Vierleiternetzes in Stern geschaltet (Bild 7.6).

7.1.2. Drehstromleistung

In jedem Drehstromstrang tritt eine Wechselstromleistung auf, so daß die Drehstrom-Scheinleistung die Summe der Strangleistungen ist:

$$S = 3 \cdot U_{St} \cdot I_{St}$$

Die Strangwerte sind nicht immer bekannt. Da bei der Sternschaltung $U_{St} = U/1,73$ und $I_{St} = I$ ist, wird die Scheinleistung

$$S = 3 \cdot \frac{U}{1,73} \cdot I = 1,73 \cdot U \cdot I$$

Für die Dreieckschaltung ist $U_{St} = U$ und $I_{St} = \frac{I}{1,73}$, also

$$S = 3 \cdot U \cdot \frac{I}{1,73} = 1,73 \cdot U \cdot I$$

Unter Verwendung der Leiterwerte ergibt sich mithin ohne Einfluß der Verkettung

$$S = 1,73 \cdot U \cdot I \quad \text{Drehstrom-Scheinleistung}$$

Unter Berücksichtigung des Leistungsfaktors ist die Wirkleistung

$$P = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad \text{Drehstrom-Wirkleistung}$$

Die Blindleistung kann wie beim Wechselstrom ausgerechnet werden, wenn der Verkettungsfaktor wie in den vorausgegangenen Formeln mit eingesetzt wird.

7.2. Aufbau von Drehstromgeneratoren

Drehstromgeneratoren für Kraftfahrzeuge sind in folgenden Ausführungen als Innenpolmaschine entwickelt worden:

- Klauenpolgenerator; in kurzer, scheibenförmiger Gestalt oder für größere Stromstärken bis 100 A in längerer, walzenförmiger Gestalt
- Einzelpolgenerator; walzenförmig, für Stromstärken von über 100 A; zum Teil mit besonderem, weggebautem Gleichrichter, z. B. für 400 A mit wassergekühltem Gleichrichtergehäuse
- Klauenpolgenerator mit Erregermaschine; eigenerregt und ohne Schleifringe (siehe Abschnitt 7.5).

Drehstromgeneratoren für Kraftfahrzeuge sind mit einem Gleichrichter versehen, weil die Starterbatterie mit Gleichstrom geladen werden muß. Die Ständerwicklung für den Dreiphasen-Wechselstrom wird vorwiegend in Sternschaltung ausgeführt.

Aufbau des Bosch-Klauenpolgenerators (Bild 7.7):

Ständerwicklung im feststehenden Teil zur Erzeugung der dreiphasigen Wechselspannung;

Kühlbleche mit sechs Leistungsdioden (Ladedioden) und drei Erregerdioden;

Klauenpolläufer mit Erregerwicklung auf zwei Kugellagern;

Kohlebürsten und Schleifringe zur Zuführung des Erregerstromes.

Die Kühlbleche sind dem Luftstrom ausgesetzt, der zur Gesamtkühlung vom Lüfter hervorgerufen wird.

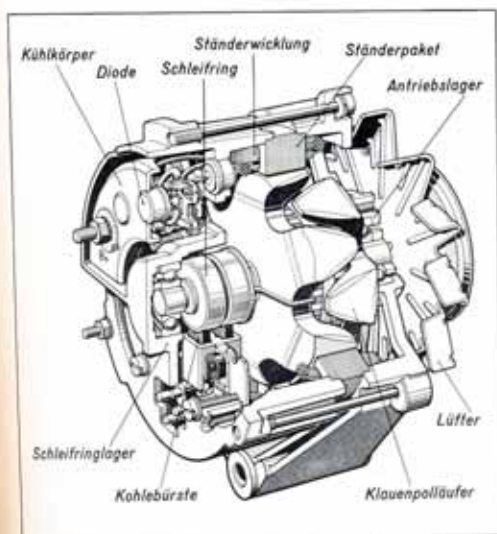


Bild 7.7: Bosch-Klauenpolgenerator K 1

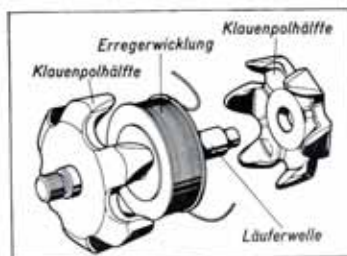


Bild 7.8: Klauenpolläufer

Die Einzelteile des Klauenpolläufers zeigt Bild 7.8. Zwischen den beiden Klauenpolhälften, die verzahnt ineinandergreifen, sitzt als Erregerwicklung eine einfache Spule. Die Spule bildet in axialer Richtung mit der einen Klauenpolhälfte einen kräftigen Nordpol und mit

der anderen Hälfte einen Südpol aus. Durch die Verzahnung entsteht abwechselnd ein Nord- und ein Südpol, insgesamt sind es zwölf Pole, die mit ihren Feldlinien beim Umlaufen die Ständerwicklung schneiden. Die Polzahl kann sicherlich auch erhöht werden.

Auf einfache Weise wird so eine vielpolige Erregung erreicht. Die zwölf Pole des Läufers bilden sechs Polpaare. Entsprechend dieser Polpaarzahl ist jeder Strang der Ständerwicklung in sechs Teilspulen unterteilt, die in Reihe geschaltet sind. Durch die hohe Polpaarzahl entsteht ein Drehstrom mit hoher Frequenz bis zu 1500 Hz und somit ein Gleichstrom mit geringer Welligkeit. Ferner tragen die abgeschrägten Klauenpole zu einer größeren Gleichmäßigkeit bei, indem die Wechselstromhalbwellen abgeflacht werden.

Einzelpolgenerator. Die zylindrische, langgestreckte Bauform ähnelt der der Gleichstromgeneratoren (Bild 7.9). Das Gehäuse ist schleifringseitig nur im Bereich eines Luftansaugstutzens offen. An dieser Stelle sind in einem großflächigen Kühlkörper die Gleichrichterdioden montiert.

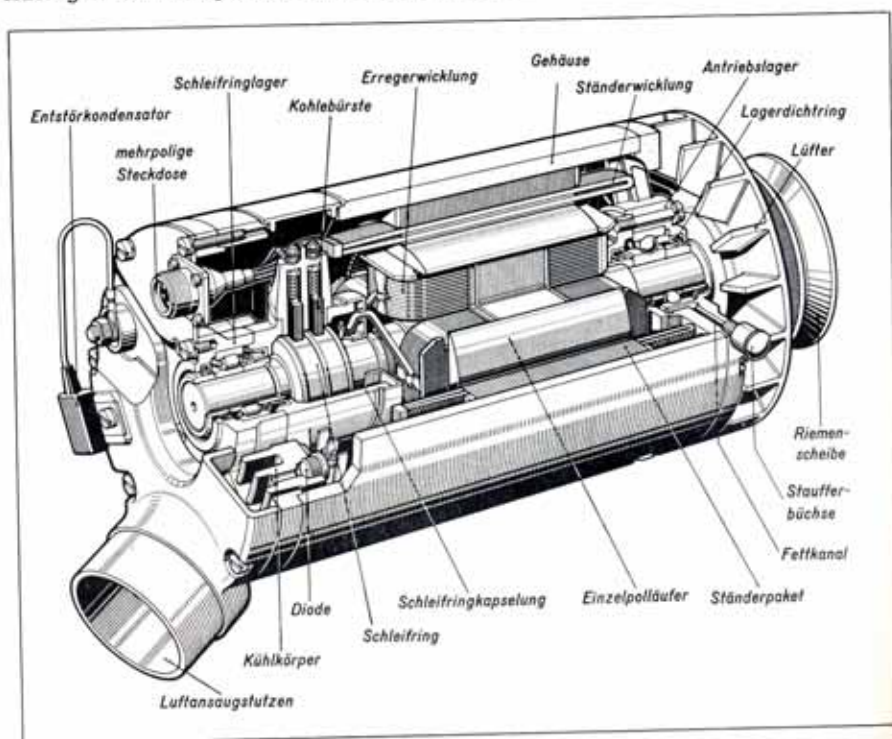


Bild 7.9: Bosch-Einzelpolgenerator T 2

Der Läufer dieses Generators trägt vier oder sechs Einzelpole. Jeder Pol hat seine Erregerwicklung, die so geschaltet ist, daß abwechselnd Nord- und Südpole entstehen. Die Sammelleitung zum Regler wird an einem wasserdichten Anschlußstutzen befestigt. Die Schleifringe sind gekapselt.

Kühlung. Die meisten Generatoren, die nicht staub- oder wasserdicht sein müssen, werden innen durchlüftet. Dabei saugt eine Lüfterscheibe die Kühlluft über das Generatorinnere hindurch an. Das Gehäuse von außen belüfteter Generatoren ist mit Kühlrippen versehen, die entweder im Luftstrom eines außen angebauten Lüfters oder im Fahrtwind liegen. Durch die Art des vorgesehenen Lüfters kann die Drehrichtung eines Generators bedingt sein, obwohl der Drehstromgenerator an sich in beiden Drehrichtungen betrieben werden kann.

Typenerläuterung. Bosch-Drehstromgeneratoren werden mit einer Typaufschrift versehen, aus der die wichtigsten Daten hervorgehen (Bild 7.10). Auch für Ds-Generatoren gelten die in Abschnitt 6 behandelten Generator-Kenngrößen. Hier sei nur angemerkt, daß die Generatorspannung nicht die Bordnetzspannung, sondern die mittlere Ladespannung darstellt. — Ein Leitstückläufer-Generator (Ziffer 3 als zweite Stelle in der Typaufschrift) wird zur Speisung von Eisenbahnlichtanlagen verwendet und ist vollkommen wartungsfrei.

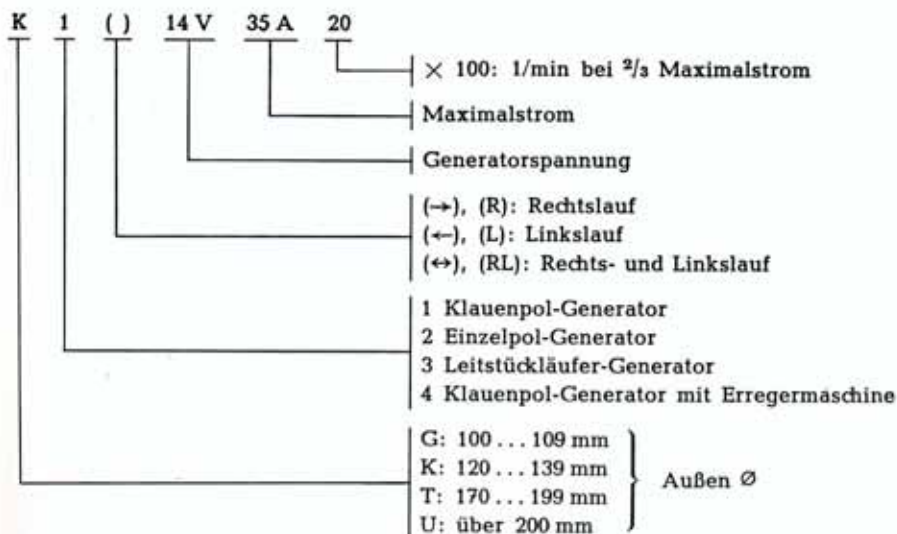


Bild 7.10: Bosch-Typaufschrift

Vorteile des Drehstromgenerators:

- Leistungsabgabe bei Motorleerlauf;
- hohe Leistung im Verhältnis zum Gewicht;
- hohe Maximaldrehzahl bis 14000 1/min;
- geringe Wartung;
- verschleißarm, hohe Betriebssicherheit;
- Rückstromschalter nicht erforderlich.

7.3. Schaltung und Wirkungsweise

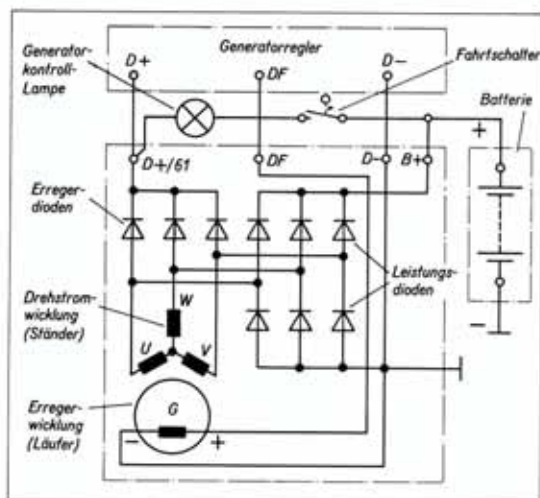


Bild 7.11: Schaltung des Drehstromgenerators

den Lade- und Betriebsstrom (Bild 7.12). Die Drehstrombrückenschaltung erlaubt auch die Ausnutzung der negativen Halbwellen, wie es in Abschnitt 2.2 näher behandelt worden ist. Bild 7.13 zeigt das Liniendiagramm mit den hochgeklappten negativen Halbwellen und dem daraus folgenden etwas gewellten Gleichstrom.

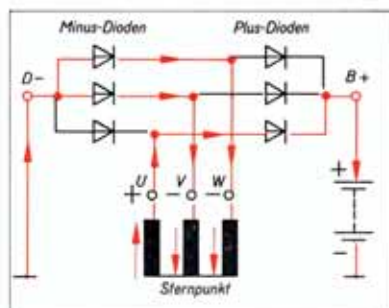


Bild 7.12:
Ladestromverlauf im Zeitpunkt 90°

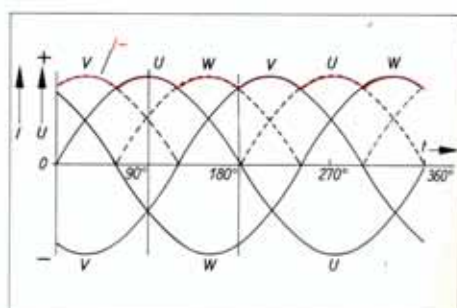


Bild 7.13:
Liniendiagramm zur Drehstrom-Brückenschaltung

Im Zeitpunkt 90° des Liniendiagramms hat die Spannung U ihren Höchstwert; die beiden Spannungen V und W sind mit halbem Wert negativ. Daraus ergibt sich folgender Stromverlauf:

Ausgang Strang U, Plusdiode, B +, Batterie, Masse, D -, Stromaufteilung über Minusdiode nach Strang V und nach Strang W, Sternpunkt.

Der Schaltplan in Bild 7.11 enthält die Innenschaltung eines Drehstromgenerators sowie die Verbindungen zum Regler, zur Batterie und zur Generatorkontrolllampe.

Drei Stromkreise lassen sich unterscheiden:

- Ladestromkreis (Leistungsstromkreis)
- Erregerstromkreis
- Vorerregerstromkreis

Ladestromkreis

Die sechs Leistungsdiolen bilden den Gleichrichter für

Bild 7.14 gibt den Stromverlauf für den Zeitpunkt 180° an. Im Strang U wird keine Spannung induziert, Strang V führt eine positive und Strang W eine gleich hohe negative Spannung:

Ausgang Strang V, Plusdiode, B +, Batterie, Masse, D -, Minusdiode, Strang W, Sternpunkt.

Zur Gleichrichtung werden Silizium-Dioden eingesetzt, die besonders nach den Anforderungen im Kraftfahrzeug entwickelt wurden. Ihr Aufbau und ihre Kennlinien sind in Abschnitt 2.2 näher behandelt worden.

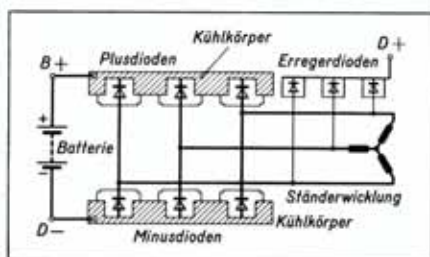
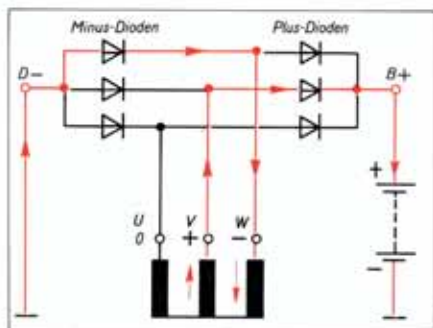


Bild 7.15: Anordnung der Dioden

Bild 7.14: Ladestromverlauf im Zeitpunkt 180°

Die Gleichrichter-Dioden werden in zwei Ausführungen als Minus- und Plusdioden verwendet (Bild 7.15). Sie unterscheiden sich dadurch, daß bei der Minusdiode die P-Schicht und bei der Plusdiode die N-Schicht des Halbleiters mit dem Gehäuse verbunden ist. Die Dioden erhalten nur einen Anschluß. Sie werden nach Minus- und Plusdioden getrennt in Kühlkörper eingepreßt, die isoliert angeordnet sind und zugleich den Minuspol (D-) bzw. den Pluspol (B+) der Gleichspannung darstellen.

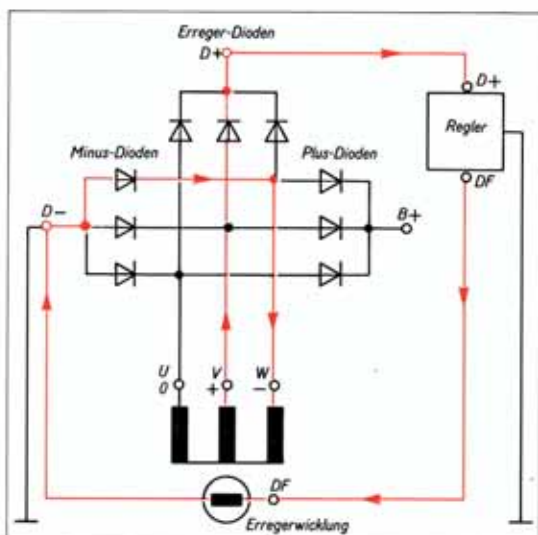


Bild 7.16: Erregerstromverlauf

Erregerstromkreis

In Bild 7.16 ist der Verlauf des Erregerstromes im Zeitpunkt 180° des Liniendiagramms gekennzeichnet. Der Erregerstrom erzeugt im Läufer das Erreger-Magnetfeld. Die Erregerdioden, die zusammen mit den Minusdioden wieder eine Drehstrombrückenschaltung bilden, führen dem Läufer über den Regler den benötigten Gleichstrom zu.

Vorerregerstromkreis

Selbsterregung bedeutet, daß der erforderliche Erregerstrom aus der Maschine selbst gewonnen wird. Voraussetzung dafür ist ein genügend kräftiger Restmagnetismus im Kerneisen der Erregerwicklung, damit beim Anlaufen eine erste geringe Spannung induziert werden kann. Diese Remanenzspannung läßt einen kleinen Erregerstrom fließen, der seinerseits das Magnetfeld verstärkt; als Folge wird die Induktionsspannung größer. Innerhalb kurzer Zeit wird so die Nennspannung erreicht.

Aus zwei Gründen ist beim Drehstromgenerator die Selbsterregung nicht mit Sicherheit gewährleistet:

- Die Masse des Poleisens im Erregerläufer und damit die Remanenz ist geringer als beim Gleichstromgenerator;
- im Erregerkreis sind die Schwellspannungen von zwei Dioden-Sperrschichten zu überwinden.

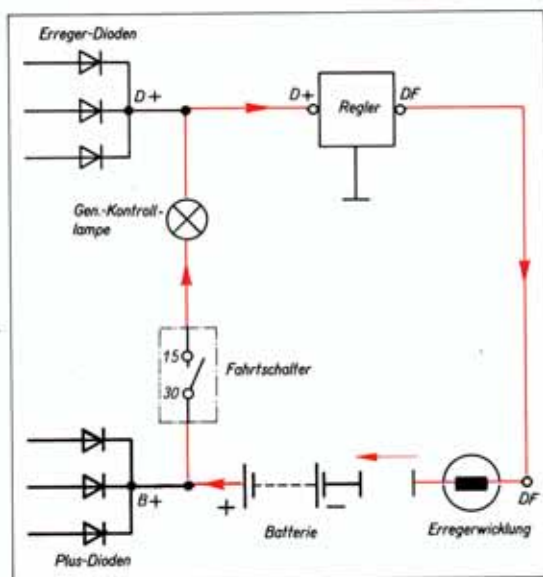


Bild 7.17: Vorerregerstromkreis

Batterie-Pluspol, Fahrtsschalter, Kontrolllampe, Regler, Erregerwicklung, Masse, Batterie-Minuspol.

Damit der Vorerregerstrom ausreichend ist, dürfen folgende Lampenleistungen nicht unterschritten werden:

6 V-Anlagen	= 1,2 W
12 V-Anlagen	= 2 W
24 V-Anlagen	= 3 W

Wenn der Generator mit steigender Drehzahl an der Klemme D + Spannung führt, erlischt die Kontrolllampe.

Die Selbsterregung kann erst einsetzen, wenn der Generator eine Spannung von mindestens $2 \cdot 0,6 \text{ V} = 1,2 \text{ V}$ erreicht hat. Ein Drehstromgenerator muß deshalb vorerregt werden.

Zur Vorerregung ist ein Fremderregerstrom erforderlich.

Die Fremderregung erfolgt über die Generatorkontrolllampe (Bild 7.17). Beim Anlaufen sind die Regelkontakte geschlossen. Nach dem Betätigen des Fahrtsschalters nimmt der Vorerregerstrom folgenden Weg:

7.4. Regelung

Ebenso wie beim Gleichstromgenerator ist auch beim Drehstromgenerator die Regelung der erzeugten Spannung erforderlich, weil die Spannung trotz der beträchtlichen Drehzahländerungen des antreibenden Verbrennungsmotors auf gleicher Höhe gehalten werden muß. Notwendigkeit und Verfahren der Regelung sind ausführlich in Abschnitt 6.4 dargestellt.

Die Spannungserzeugung im Drehstromgenerator muß selbsttätig geregelt werden.

Für Drehstromgeneratoren sind zwei Reglerarten im Gebrauch:

- Kontaktregler; Einkontaktregler für niedrige Drehzahlen (Dieselmotoren) und meist für 28 V Ladespannung;
Zweikontaktregler für hohe Drehzahlen (Ottomotoren), vorzugsweise für 7 V oder 14 V Ladespannung.
- elektronische Regler; verschleißfreie Transistorregler für mittlere und größere Generatorleistungen.

Zweikontaktregler

Drehstromgeneratoren kommen mit einem einfachen Konstantspannungsregler aus, der ein einziges Magnetssystem enthält (Bild 7.18). Der Ladeschalter (Rückstromschalter) entfällt, seine Aufgaben übernimmt der Gleichrichter. Von der Batterie her kann kein Strom in die Maschine fließen, da die Dioden in rückwärtiger Richtung sperren.

Ein Drehstromgenerator benötigt keinen Rückstromschalter.

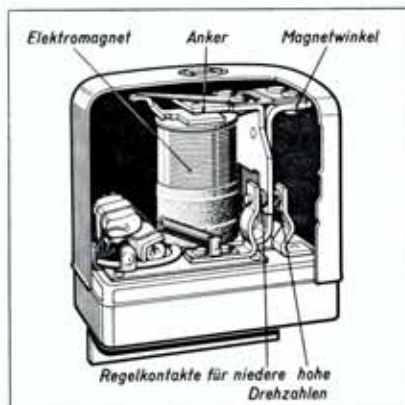


Bild 7.18:
Zweikontaktregler für Drehstromgeneratoren

Die Schaltung eines nahentstörten Zweikontaktreglers zeigt Bild 7.19 (s. S. 232). Ein Zweikontaktregler bietet die drei bekannten Regelmöglichkeiten:

- Bis zum Erreichen des Sollwertes untere Regelkontakte geschlossen = voller Erregerstrom;
- Mittellage des beweglichen Kontaktes = gedrosselter Erregerstrom durch den Regelwiderstand;
- obere Regelkontakte geschlossen, Kurzschließen der Erregerwicklung = kein Erregerstrom.

Eine gleichmäßige Regelung erfolgt in der Weise, daß im unteren Drehzahlbereich die Kontakte periodisch zwischen Unter- und Mittellage spielen, im oberen Drehzahlbereich hingegen zwischen Mittel- und Oberlage.

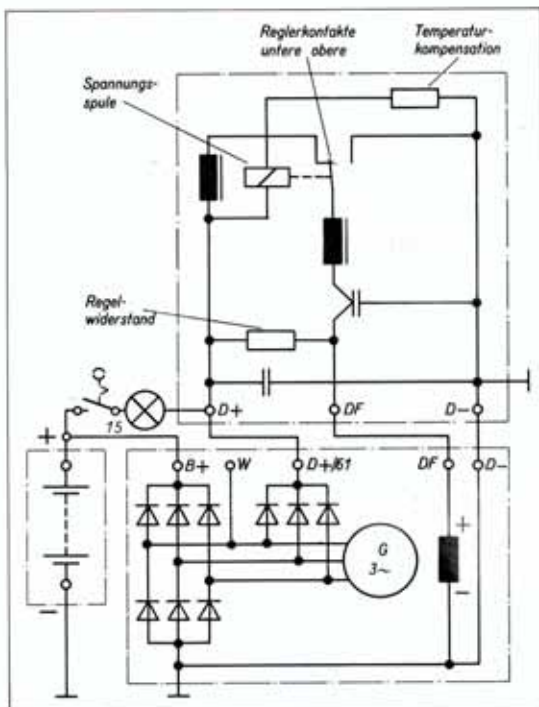


Bild 7.19: Drehstromgenerator mit nahentstörtem Regler

eine Maschine nur den vorgesehenen Maximalstrom abgeben kann.

Ein Drehstromgenerator benötigt keinen Stromregler.

Begründung: Mit zunehmendem Strom wird die Magnetisierung in der Ständerwicklung größer und folglich auch die Selbstinduktionsspannung. Diese wirkt wie ein induktiver Blindwiderstand, da sie der erzeugten Spannung entgegengesetzt gerichtet ist. Zugleich steigt der induktive Blindwiderstand mit der Frequenz.

Der Stromkennlinie kann die in jeder Typaufschrift enthaltene Drehzahl entnommen werden, bei der der Generator $\frac{2}{3}$ seines Maximalstromes abgibt (Bild 7.20).

Transistorregler

Ein Transistorregler enthält grundsätzlich einen Leistungstransistor T 2, der den Erregerstrom schaltet. Der Leistungstransistor wird durch eine Vorstufe mit dem Transistor T 1 gesteuert (Bild 7.21).

Bis zum Erreichen der Regelspannung sperrt T 1. Der PNP-Transistor T 2 ist leitend, weil der Emitter an Plus und die Basis über R₃ an Minus liegt. Die Erregerwicklung erhält vollen Erregerstrom.

Die Generatorspannung liegt am Spannungsteiler R₁/R₂. Dieser ist so bemessen, daß bei der Regelspannung an R₁ die Zener-Spannung abfällt und

Damit der Temperatureinfluß sich nicht nachteilig auf die Regelung auswirkt, ist ein temperaturunabhängiger Widerstand mit der Spannungsspule in Reihe geschaltet. Außerdem wird der bewegliche Anker von einer Bimetall-Blattfeder beeinflusst. Der entstörte Regler enthält kapazitive und induktive Entstörelemente (Funkentstörung siehe Abschnitt 14).

Strombegrenzung. Eine zusätzliche Stromregelung gegen Überlastung des Drehstromgenerators ist nicht notwendig, da die Begrenzung des Maximalstromes selbsttätig vor sich geht. In Bild 7.20 sind zwei verschiedene Stromkennlinien in Abhängigkeit von der Drehzahl aufgetragen. Daraus geht hervor, daß

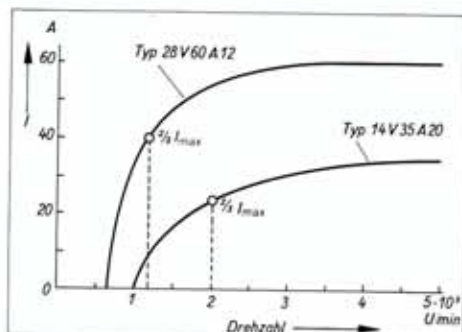


Bild 7.20: Stromkennlinien

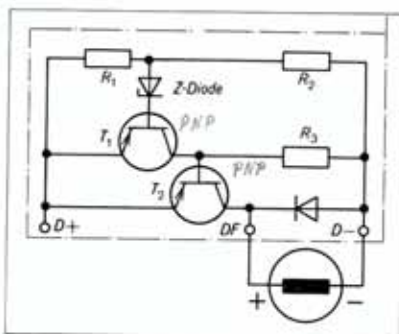


Bild 7.21:
Grundsaltung des Transistorreglers

die Z-Diode leitend wird. T 1 öffnet, und durch die niederohmige Emittor-Kollektorstrecke gelangt die positive Spannung an die Basis von T 2. Dieser Transistor wird gesperrt und der Erregerstrom unterbrochen.

Fällt die erzeugte Spannung unter den Sollwert, unterbricht die Z-Diode den Basisstrom der Vorstufe. Der Leistungstransistor öffnet und schaltet den Erregerstrom wieder ein. Dieser Vorgang wiederholt sich sehr schnell, ähnlich wie das Ein- und Ausschalten beim Kontaktregler.

Die Schutzdiode zwischen DF und D – soll gefährliche Selbstinduktionsspannungen der Erregerwicklung kurzschließen und somit von den Transistoren fernhalten. Eine im praktischen Betrieb einwandfrei arbeitende Schaltung enthält darüber hinaus weitere Widerstände und Dioden.

7.5. Eigenerregter Drehstromgenerator

Schleifringe und Kohlebürsten benötigen eine gewisse Wartung. Der eigenerregte Drehstromgenerator mit Erregermaschine ist schleifringlos, bei ihm müssen lediglich die Kugellager in großen Abständen gewartet werden. Er wird vorwiegend in Linienbusse eingebaut.

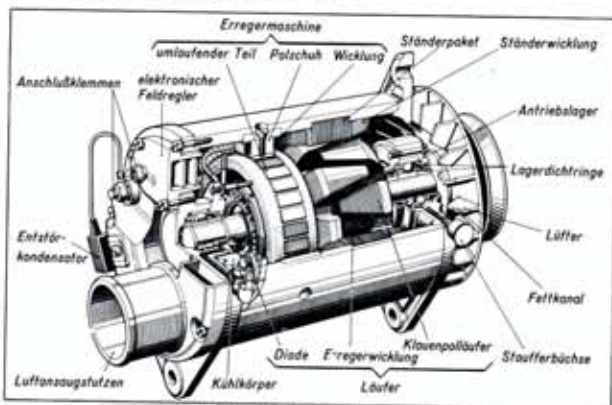


Bild 7.22: Bosch-Klauenpolgenerator T 4

Aufbau des Drehstromgenerators mit Erregermaschine (Bild 7.22):

- Klauenpolgenerator mit umlaufender Erregerwicklung zur Erzeugung des Ladestromes (Innenpolmaschine);
- Erregermaschine mit feststehender Erregerwicklung im Ständer zur Erzeugung des Erregerstromes für den Generator (Außenpolmaschine).

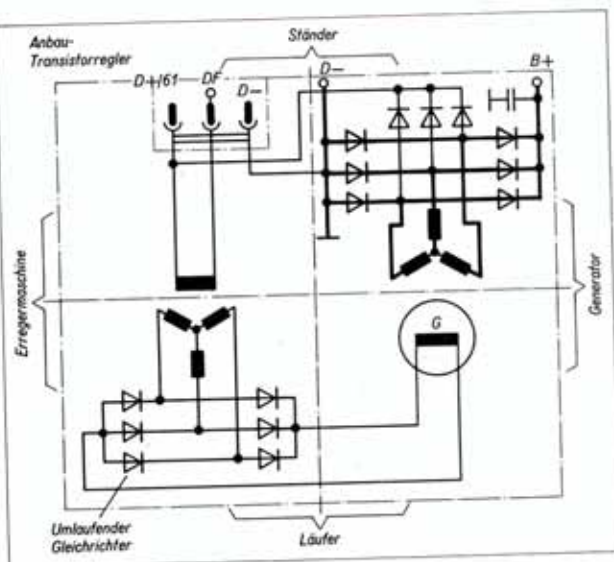


Bild 7.23: Schaltung des eigenregelten Drehstromgenerators

durch einen Transistorregler, der fest angebaut ist, minusseitig geregelt. Der Vorerregerstrom nimmt den bekannten Verlauf über die Generatorkontrolllampe.

7.6. Überspannungsschutz

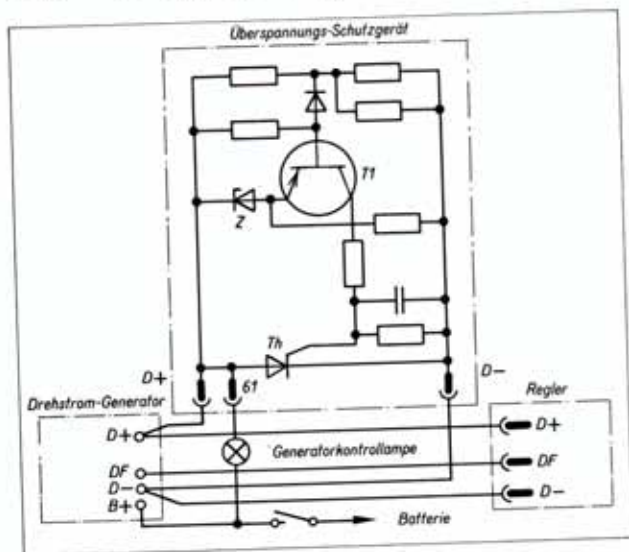


Bild 7.24: Schaltung und Anschluß des Überspannungsschutzgerätes

die Z-Diode die Verbindung D + zum Emitter des Transistors T 1. Tritt am Eingangsspannungsteiler eine Spannung von etwa 31 V auf, erhält der Tran-

Die Drehstromerzeugerwicklung für den

Generatorexregerstrom ist zusammen mit dem Klauenpol-läufer auf einer Welle angeordnet, so daß der Erregerstrom direkt zugeführt werden kann (Schaltung Bild 7.23). Die sechs Dioden, die den Klauenpol-läufer mit Gleichstrom speisen, laufen auch mit um.

Der Erregerstrom für die Erregermaschine wird in bekannter Weise vom Ladestrom abgezweigt und


Die Halbleiter-Bauelemente im Generator und im Regler sind durch Spannungsspitzen, die durch Schaltvorgänge im Bordnetz oder aber durch Bedienungsfehler hervorgerufen werden können, gefährdet. Zum Schutz werden in 28 V-Anlagen Überspannungsschutzgeräte eingebaut.

Das Gerät wird an die Klemmen D + und D - des Generators angeschlossen (Bild 7.24). Bei normaler Spannung unterbricht

sistor über die leitend gewordene Z-Diode seine positive Steuerspannung. Der Transistor öffnet und schaltet die positive Spannung auf die Steuer-
elektrode des Thyristors. Dieser zündet und schließt damit innerhalb
weniger Millisekunden die Klemmen D + und D - kurz. Schädliche Span-
nungen können sich nicht mehr auswirken.

Gleichzeitig wird der Generator entregt, die Generatorkontrollampe leuchtet
auf. Zum Löschen des Thyristors muß der Fahrtschalter geöffnet und so der
Motor stillgesetzt werden. Bei einem dauerhaften Schaden wird sich der
Vorgang sofort wiederholen, der Fehler muß erst beseitigt werden.

7.7. Prüfung, Wartung und Fehler

 Jegliches
Kurzschließen, auch kurzzeitiges Berühren zum Zweck der Spannungsprü-
fung, muß unterbleiben. Die Dioden werden auch zerstört, wenn die Batterie
falsch gepolt angeschlossen wird. Im Bordnetz dürfen auf keinen Fall
Spannungsspitzen entstehen, die wesentlich höher als 50 V sind; die
äußerste Grenze beträgt 100 V. Bei Elektroschweißarbeiten am Fahrzeug
und beim Schnellladen sind Plus- und Minusleitung an der Batterie abzu-
klemmen.

Die Klemme D + ist bis 1 A belastbar; hier können Meß- oder Schutzgeräte,
z. B. Startsperr-Relais oder Betriebsstundenzähler, angeschlossen werden.
Die Klemme W (siehe Bild 7.19) ist bis 2 A belastbar und dient zur Speisung
von frequenzabhängigen Steuer- und Meßgeräten. Zur Isolationsprüfung
von Generator und Transistorregler darf nur Gleichspannung von höchstens
40 V benutzt werden. Die Leerlaufspannung des Generators kann nicht
gemessen werden, da die Batterie nicht abgeklemmt werden darf.

Drehstromgeneratoren benötigen wenig Wartung. Die Kohlebürsten müssen
etwa nach 100 000 km ersetzt werden, jedoch kann ausgetretenes Lagerfett
in Verbindung mit Staub zu wesentlich früherem Verschleiß führen; perio-
dische Säuberung ist angebracht. Für die gleiche Fahrstrecke reicht auch die
in den Lagern befindliche Fettmenge.

Neben den herkömmlichen Prüf- und Meßgeräten ist besonders das Oszil-
loskop für die Fehlersuche geeignet, wie die Fehleroszillogramme im
Anhang (Seite 382) belegen. Zur Messung wird die Klemme D' des Gene-
rators mit dem Wechselspannungseingang des Oszilloskops verbunden; wäh-
rend der Prüfung bei etwa 2500 1/min muß der Generator belastet sein.

Die beiden möglichen Fehler bei der Diode, nämlich der Kurzschluß —
also der Wegfall der Gleichrichterwirkung — und die Unterbrechung zeigen
sich deutlich in den typischen Fehleroszillogrammen. Die Fehler machen
sich entweder durch Spannungseinbrüche oder wie bei Unterbrechung der
Plusdiode (Bild 3) durch hohe Spannungsspitzen bemerkbar. Aufgrund
dieser geänderten Spannungsverhältnisse leuchtet in den Fällen der Bilder
2, 3, 5 und 7 die Generatorkontrolle auf. Bei den Fehlern nach Bild 6
und 7 wird der Ladestrom stark beeinflusst, während der Strom beim Kurz-
schluß der Erregerdiode (Bild 5) nur etwas absinkt.