

## 6 Fremdgeführte Stromrichter

Bei *fremdgeführten* Stromrichtern verläuft die Kommutierung – der Stromübergang zwischen zwei nacheinander stromführenden Schaltungszweigen – unter der Wirkung einer äußeren Spannung, meist einer Netz-Wechselspannung. Der Kommutierungsvorgang wird bei gesteuerten Stromrichtern durch geeignete Wahl des Zündzeitpunkts der jeweils in der Stromführung folgenden Ventilzweige eingeleitet; dabei werden die zuvor stromführenden Ventile „gelöscht“, sie gehen in den Sperrzustand über. In den Schaltungen mit nicht steuerbaren Ventilen wird ein „natürlicher“ Zündzeitpunkt durch das führende Spannungssystem vorgegeben.

Zu den fremdgeführten Stromrichtern zählen die durch ein Wechselstromnetz geführten Mittelpunkt- und Brückenschaltungen, die hiernach auch als *netzgeführt* bezeichnet werden. Sie bilden die große Mehrzahl der zur Speisung von Gleichstromverbrauchern verwendeten Stromrichter und werden in den folgenden Abschnitten ausführlich dargestellt. Eine zweite, kleine Gruppe sind *lastgeführte* Schaltungen, bei denen die Kommutierung durch eine Lastkreis-Spannung bewirkt wird. Die dafür typischen Schwingkreis-Wechselrichter sind im Abschnitt 6.5 behandelt.

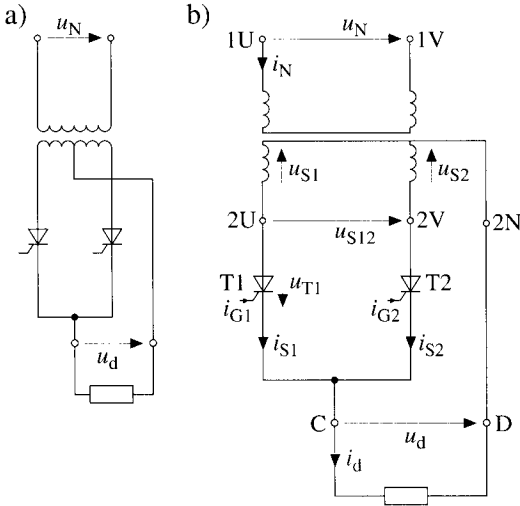
### 6.1 Mittelpunktschaltungen; Stromglättung

Bei Mittelpunktschaltungen ist jeder Ventilzweig mit einem Strang einer in Stern geschalteten Transformatorwicklung in Reihe geschaltet. Meist liegen die Katoden aller Ventilzweige auf gemeinsamem Potential und bilden den positiven Gleichstromanschluss *C*. Der negative Anschluss *D* wird dann durch den Mittelpunkt der Transformatorwicklung gebildet.

Diese von der Technik der Quecksilberdampf-Stromrichter stammende Schaltungsart war für mehranodige Gefäße wegen der gemeinsamen Quecksilberkatode die einzig mögliche und wird auch bei Halbleiter-Stromrichtern angewendet.

#### 6.1.1 Zweipuls-Mittelpunktschaltung

Die Mittelpunktschaltung nach **Bild 6.1a** kann als Parallelschaltung zweier Einpuls-Schaltungen aufgefasst werden, von denen jede an einer Hälfte der mit einer Mittelanzapfung  $2N$  versehenen Transformator-Sekundärwicklung liegt. Im Hin-



**Bild 6.1** Zweipuls-Mittelpunktschaltung M2

blick auf mehrsträngige Schaltungen ist es zweckmäßig, die Schaltung entsprechend **Bild 6.1b** darzustellen und die angegebenen Zählpfeil-Richtungen zu wählen. Die als Stranggrößen einer zweisträngigen Wicklung anzusehenden Spannungen  $u_{S1}$  und  $u_{S2}$  sind als Teile der Leiterspannung  $u_{S12}$  jeweils halb so groß wie diese und gegenphasig, also um  $\omega T/2 \hat{=} 180^\circ$  phasenverschoben.

Wird die Schaltung mit Dioden, also *ungesteuert* ausgeführt, oder mit Thyristoren in *Vollaussteuerung* betrieben, so ist jeweils derjenige Ventilzweig stromführend, dessen Strangspannung den größten positiven Augenblickswert aufweist: An der Anode des entsprechenden Ventils liegt dabei das höchste Potential der Transformator-Sekundärseite, woraus sich die Beanspruchung in Vorwärtsrichtung ergibt. Die Anode des anderen Ventils liegt während dieser Zeit am niedrigsten Potential; es wird also in Sperrrichtung beansprucht und führt nur einen kleinen Sperrstrom, wenn die Ventilspannung den Wert der Durchbruchspannung nicht überschreitet. Da jeder Ventilzweig während einer Halbperiode stromführend ist, ergibt sich nach **Bild 6.2** ein *zweipulsiger* Verlauf der Gleichspannung  $u_d$  und des Gleichstroms  $i_d$ . Für die hiernach auch als zweipulsig bezeichnete Schaltung ist das Kurzzeichen **M2** genormt (DIN IEC 971).

Die *Spannungswelligkeit*  $w_{U0}$  bei Vollaussteuerung wird mit dem Mittelwert

$$U_{di} = \frac{2}{\pi} \hat{u}_s \tag{6.1}$$

und dem Effektivwert

$$U_{d \text{ eff}} = \frac{\hat{u}_s}{\sqrt{2}} \quad (6.2)$$

entsprechend Gl. (5.17.2):

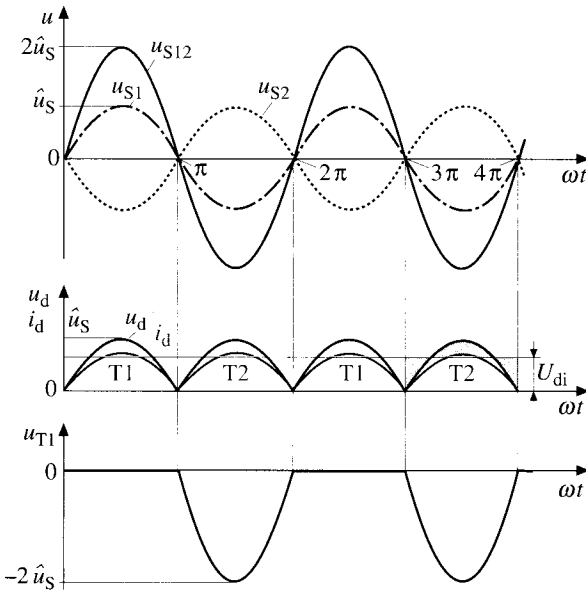
$$w_{U0} = \sqrt{\left(\frac{U_{d \text{ eff}}}{U_{di}}\right)^2} - 1 = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\right)^2} - 1 \approx 0,483 \hat{=} 48,3 \%,$$

ist also wesentlich geringer als der entsprechende Wert der Einpuls-Schaltung.

Die Ventilspannung  $u_{T1}$  ist bei leitendem Thyristor T1 gleich der geringen Durchlassspannung. Bei sperrendem Thyristor T1 und leitendem Thyristor T2 ist

$$u_{T1} = u_{S1} - u_{S2} = u_{S12}. \quad (6.3)$$

Im Bild 6.2 lässt der Verlauf von  $u_{T1}$  erkennen, dass die Ventile bei Vollaussteuerung nur in Sperrrichtung beansprucht werden. Als Höchstwert  $\hat{u}_T$  der Ventilspannung tritt nach Gl. (6.3) der Scheitelwert der Leiterspannung, also der zweifachen Strangspannung auf:

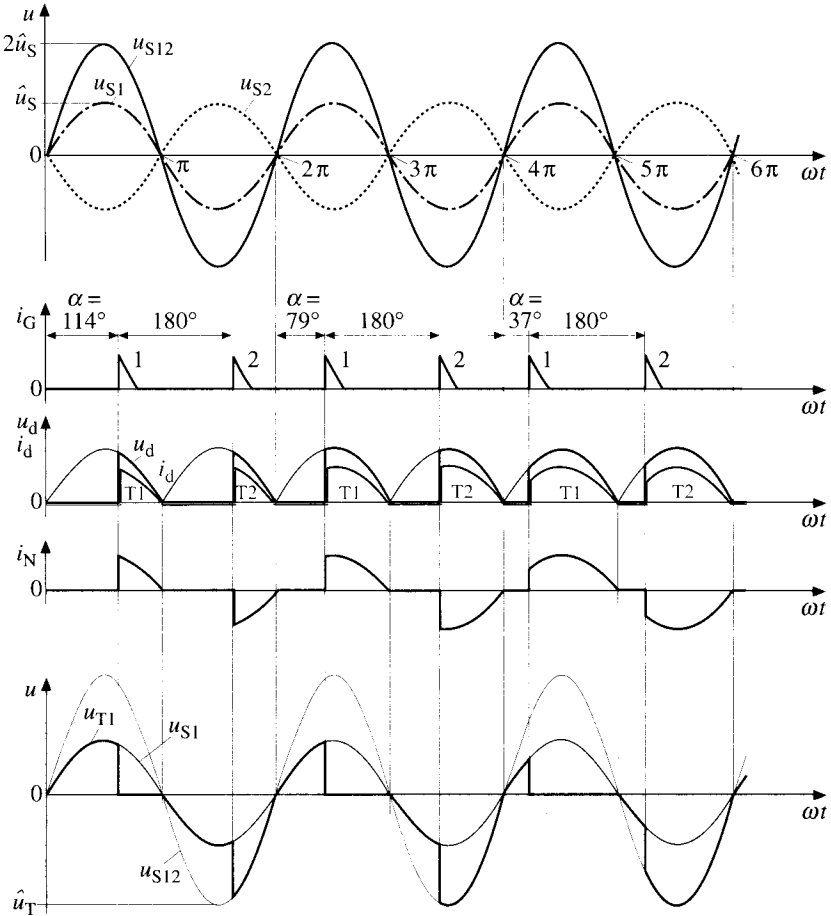


**Bild 6.2** Systemgrößen der M2-Schaltung bei ohmscher Belastung und Vollaussteuerung ( $\alpha=0^\circ$ ) bzw. ungesteuertem Betrieb

$$\hat{u}_T = 2 \hat{u}_S = 2 \sqrt{2} U_S \approx 2,83 U_S.$$

Dieser Wert ist der Ventilbemessung zu Grunde zu legen.

Zur Steuerung des M2-Stromrichters kann der im Bild 2.14 dargestellte Steuersatz verwendet werden. Bei *Teilaussteuerung* haben die Systemgrößen den im **Bild 6.3** gezeigten Verlauf. Bei der hier betrachteten ohmschen Belastung wird der Strom am Ende jeder Halbperiode null; es entstehen also periodisch stromlose Pausen, der



**Bild 6.3** Systemgrößen der M2-Schaltung bei ohmscher Belastung; Aussteuerungsgrad  $U_{di\alpha}/U_{di} = 0,3; 0,6; 0,9$

Strom „lückt“. Ein solcher „lückender Betrieb“ ist für viele Verbraucher ungünstig und kann mit der im Abschnitt 6.1.2 behandelten Stromglättung vermieden werden. Der Verlauf des Netzstroms  $i_N$  ergibt sich daraus, dass die Durchflutung der beiden Stränge der Sekundärwicklung eine gegenseinnige Primärdurchflutung gleicher Größe bewirkt. Der Transformator ist dabei – kennzeichnend für alle Mittelpunktschaltungen – stets einsträngig belastet.

Für die *Steuerkennlinie* gelten auch hier Gl. (5.9) und Bild 5.2. Der Bezugswert  $U_{di}$  (Vollaussteuerung) beträgt nach Gl. (6.1)

$$U_{di} = \frac{2}{\pi} \hat{u}_S = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_S \approx 0,90 U_S, \quad (6.4)$$

wobei  $U_S$  wieder der Effektivwert der sekundärseitigen Transformator-Strangspannung ist.  $U_{di}$  wird als *ideelle Gleichspannung* bezeichnet.

Aus Bild 6.3 geht hervor, dass die Ventilspannung  $u_T$  auch positive Werte annimmt, das Ventil also in Vorwärtsrichtung beansprucht wird, wenn beide Ventile nicht stromführend sind. Dabei liegt an jedem Ventil die jeweilige Strangspannung, also

$$U_{T1} = u_{S1} \quad \text{und} \quad u_{T2} = u_{S2}.$$

Die Höchstbeanspruchung tritt auch hierbei in Sperrrichtung auf und ist im Steuerbereich  $\alpha \leq 90^\circ$  ebenso groß wie bei Vollaussteuerung. Zu beachten sind die großen Sprünge der Ventilspannung, die jedoch keine hohen Steilheiten in Vorwärtsrichtung aufweisen und daher für die Ventile nicht kritisch sind.

### 6.1.2 Stromglättung

Bei der bisher betrachteten rein ohmschen Belastung haben im Gleichstromkreis die Spannung  $u_d$  und der Strom  $i_d$  gleiche Kurvenformen, also auch gleiche Welligkeit. Häufig muss jedoch die Welligkeit des Stroms mit Rücksicht auf die Art der Belastung reduziert werden. So ist bei Gleichstrommaschinen eine möglichst geringe Stromwelligkeit zweckmäßig, um störende Drehmoment-Schwankungen und zusätzliche Verluste zu verringern und eine befriedigende Stromwendung zu erreichen (Abschnitt 9.2).

Zur Glättung der Spannung am Lastkreis kann die Energiespeicherfähigkeit eines parallel geschalteten Kondensators benutzt werden. Dadurch wird auch eine Glättung des Stroms erreicht, jedoch ist dies wegen der relativ geringen Energiedichte des elektrischen Feldes in Kondensatoren nur bei kleinen Leistungen wirtschaftlich. In der Leistungselektronik wird daher die wesentlich größere Energiedichte des magnetischen Feldes von *Induktivitäten* ausgenutzt, die mit der Belastungsimpedanz in Reihe geschaltet sind.