

LEISTUNGSELEKTRONIK

ETLE

28.11.99 / GG

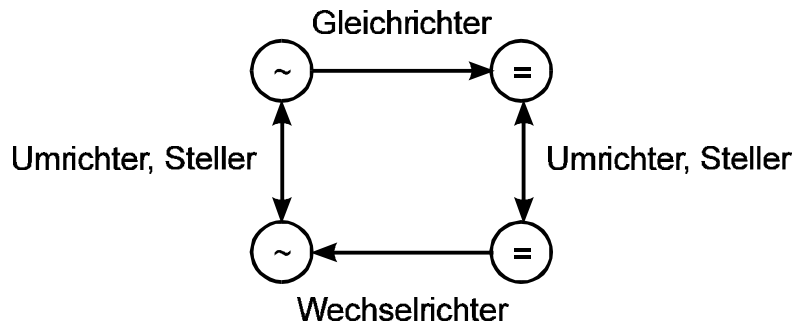
INHALT

1	Grundbegriffe der Stromrichtertechnik	1
1.1	Begriffe	1
1.2	1.2. Grundsaltungen	1
1.3	1.3. Quadranten	2
2	Bauelemente	3
2.1	Diode	3
2.2	Bipolartransistor	3
2.3	MOS-FET	3
2.4	IGBT	3
2.5	Thyristor, Triac	4
2.5.1	Funktion	4
2.5.2	Löschen des Thyristors	6
2.5.3	GTO	6
2.5.4	MCT	6
2.5.5	Sonstige Thyristorarten	6
2.6	Intelligente Leistungsschalter, Smart Power Module	7
2.7	Elektronisches Lastrelais, Solid State Relais	8
2.8	Übersicht der Einsatzbereiche	9
3	Wechselstromsteller	10
3.1	Vollwellensteuerung	10
3.2	Phasenanschnittsteuerung	10
3.2.1	Einphasen - Wechselstromsteller	10
3.2.2	Dreiphasen - Wechselstromsteller	11
4	Stromrichter für Gleichstrommaschinen	12
4.1	Ungesteuerter Stromrichter	12
4.2	Gesteuerter Stromrichter	12
4.2.1	Funktionsprinzip	12
4.2.2	Leistungsteil	16
4.2.3	Steuerteil, Regelung	17
5	Gleichstromsteller	21
5.1	5.1. Funktionsprinzip	21
5.2	5.2. Leistungsteil	22
6	Frequenzumrichter für Asynchronmaschinen	23
6.1	Funktion	23
6.2	Spannungszwischenkreisumrichter	25
6.2.1	Leistungsteil	25
6.2.2	Steuerteil	27
6.3	Stromzwischenkreisumrichter	29
6.3.1	Leistungsteil	29
6.3.2	Steuerteil	32
7	EMV	33
8	Entwicklungstendenzen	34
9	Literaturhinweise	37

1 Grundbegriffe der Stromrichtertechnik

1.1 Begriffe

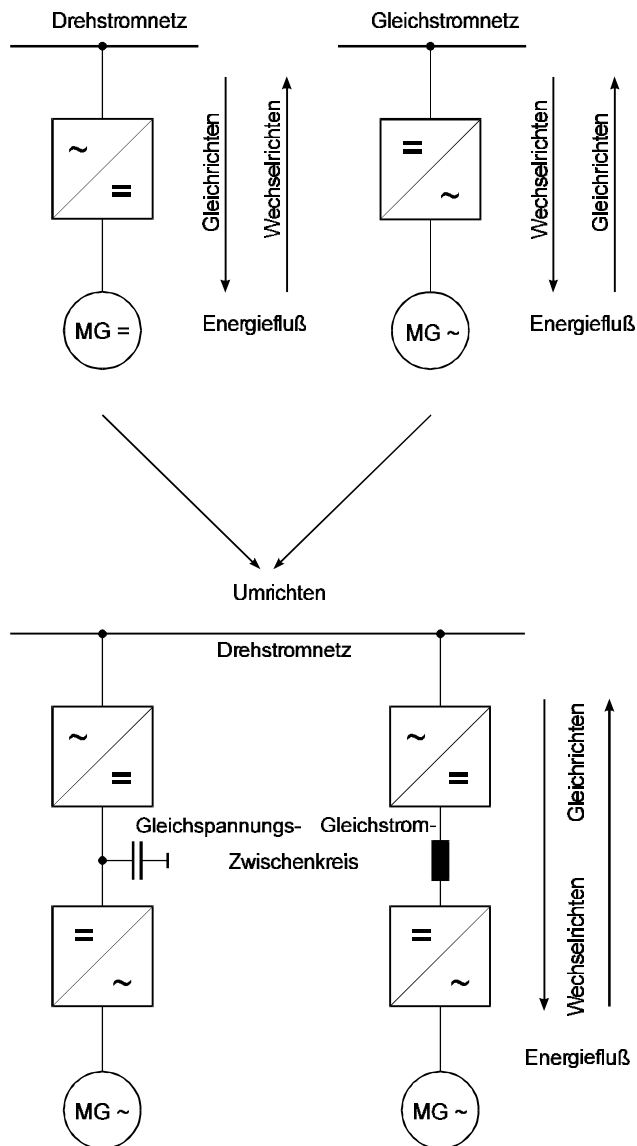
{1}



STROMRICHTER ist der Oberbegriff, in der Praxis meist bevorzugt für die Gleichstrommaschine verwendet.

1.2 1.2. Grundschaltungen

{1}



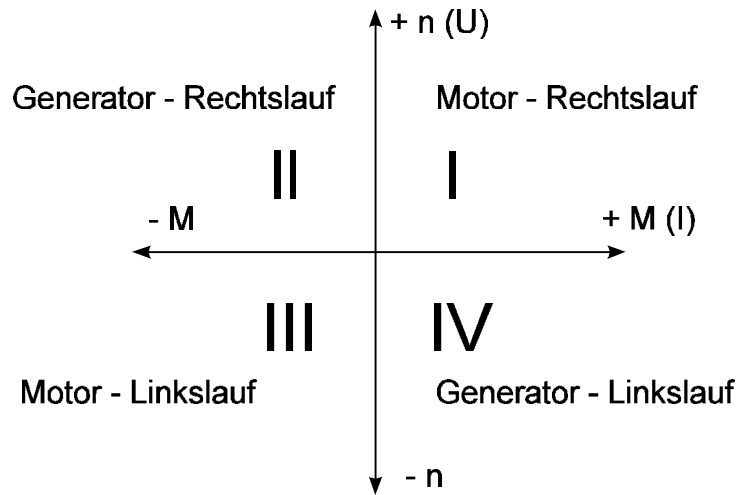
{2}

1.3 1.3. Quadranten

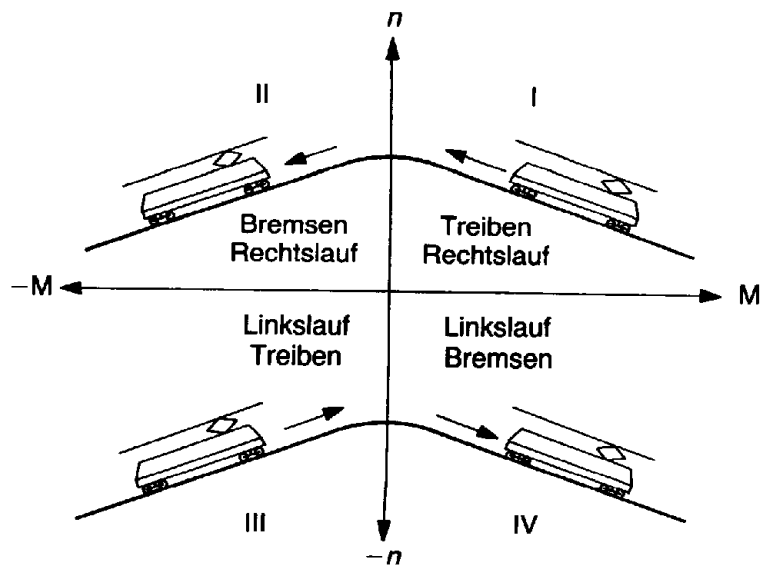
Die Angabe der möglichen Betriebszustände ist Voraussetzung für die Auslegung bzw. Auswahl eines Stromrichters.

An Stelle des M-n Diagramms kann auch das I-U Diagramm der jeweiligen Maschine treten.

{3}



{3a}



2 Bauelemente

2.1 Diode

Anwendung als Gleichrichterdiode, Freilaufdiode

Einsatzbereich: bis zu 4500 V, 2000 A

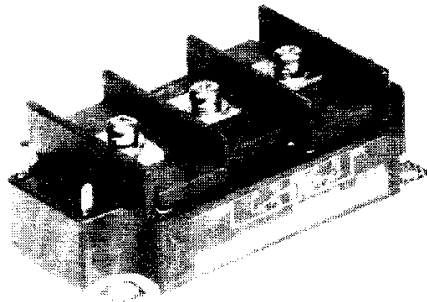
2.2 Bipolartransistor

Anwendung nur als Schalter

Ausführung meist als Darlingtontransistor - Modul, eingebaute Freilaufdiode

Einsatzbereich: bis zu 1200 V, 300 A, 2 ... 5 kHz [2,56]

{4}



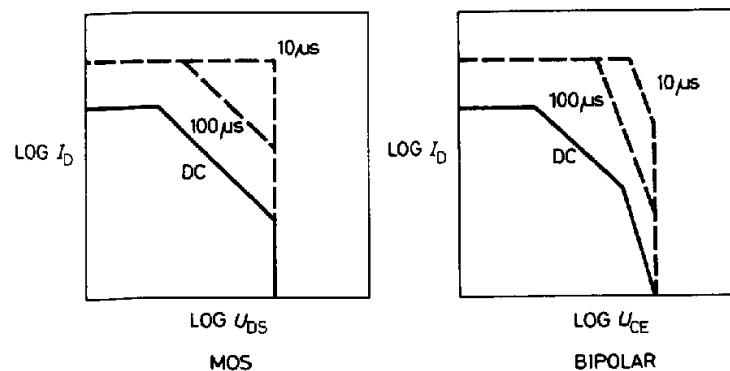
2.3 MOS-FET

Geringe Ansteuerleistung, geeignet für hohe Schaltfrequenzen

Größerer SOA Bereich, da kein Sekundärdurchbruch.

"Ein" Widerstand steigt mit der Spannungsfestigkeit.

{4a}



SOA Vergleich: MOS - BIPOLAR [6, 329]

Einsatzbereich: bis zu 1000 V, 50 A, 10 kHz ... 50 kHz [2,56]

2.4 IGBT

Insulated **G**ate **B**ipolar **T**ransistor

Kann als Bipolartransistor mit FET Ansteuerung betrachtet werden:

Geringe Ansteuerleistung des FET kombiniert mit den niedrigen Durchlaßverlusten des Bipolaren Transistors.

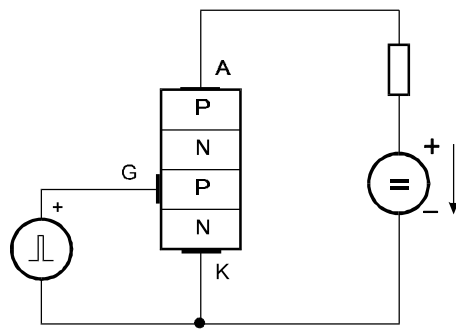
Meistverwendetes Schaltelement bei gepulsten Umrichtern im mittleren Leistungsbereich

Einsatzbereich: bis zu 1000 V, 200 A, 1 ... 20 kHz [2,56]

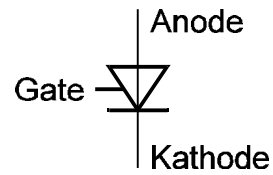
2.5 Thyristor, Triac

2.5.1 Funktion

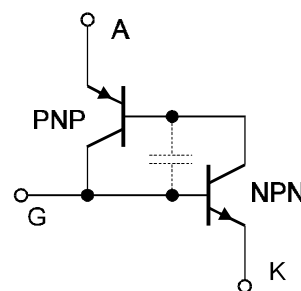
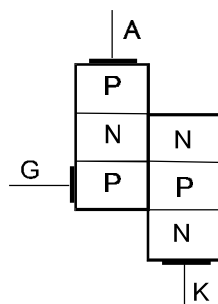
{4b}



Prinzipaufbau



Schaltzeichen



Herleitung des Thyristorsatzschaltbilds

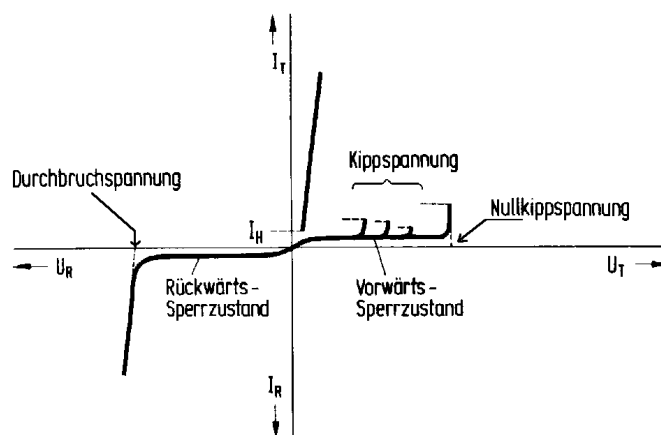
Im Ausgangszustand sind beide Transistoren gesperrt. Wird der NPN Transistor über das Gate angesteuert, so wird auch der PNP Transistor leitend: Durch die positive Rückkopplung wird der Thyristor voll durchgesteuert und bleibt auch ohne Gatestrom leitend.

Zum Sperren des Thyristors muß der Strom durch den Thyristor durch äußere Maßnahmen kurzzeitig kleiner als der Haltestrom werden. Spezielle Thyristoren (GTO) können auch durch negative Gateströme gelöscht werden, wofür aber sehr große Steuerströme erforderlich sind.

Je nach Type benötigt ein Thyristor eine Freierweidezeit bzw. Sperrverzögerungszeit von 20 ... 300 μ S bis zum vollständigen Sperren.

Ein Thyristor kennt nur zwei Zustände: EIN, leitend, gezündet
AUS, nichtleitend, gesperrt, gelöscht

{5}



Kennlinie des Thyristors

Besonderheiten:

Der zum Zünden erforderliche Gatestrom ist von der anliegenden Spannung abhängig. Bei Überschreiten der Nullkippspannung Zündet der Thyristor von selbst, d.h. ohne Gatestrom.

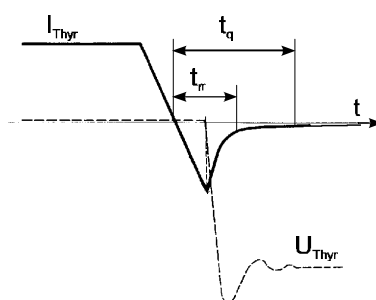
dU/dt :

Ein zu schneller Spannungsanstieg am Thyristor bewirkt ebenfalls ein unerwünschtes Zünden des Thyristors (interne Kapazität im Ersatzschaltbild). Abhilfe: RC Schutzbeschaltung

di/dt :

Da sich der leitfähige Kanal im Thyristor nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreitet, muß die Anstiegsgeschwindigkeit des Stromes begrenzt werden. Abhilfe: Drossel im Thyristorkreis

Trägerstauereffekt (TSE):



{6}

Strom- und Spannungsverlauf bei Sperren des Thyristors

Beim Ausschalten des Thyristors fließt der Strom in negativer Richtung weiter bis die Sperrschichten von Ladungsträgern geräumt sind: Sperrverzugszeit (t_{rr})

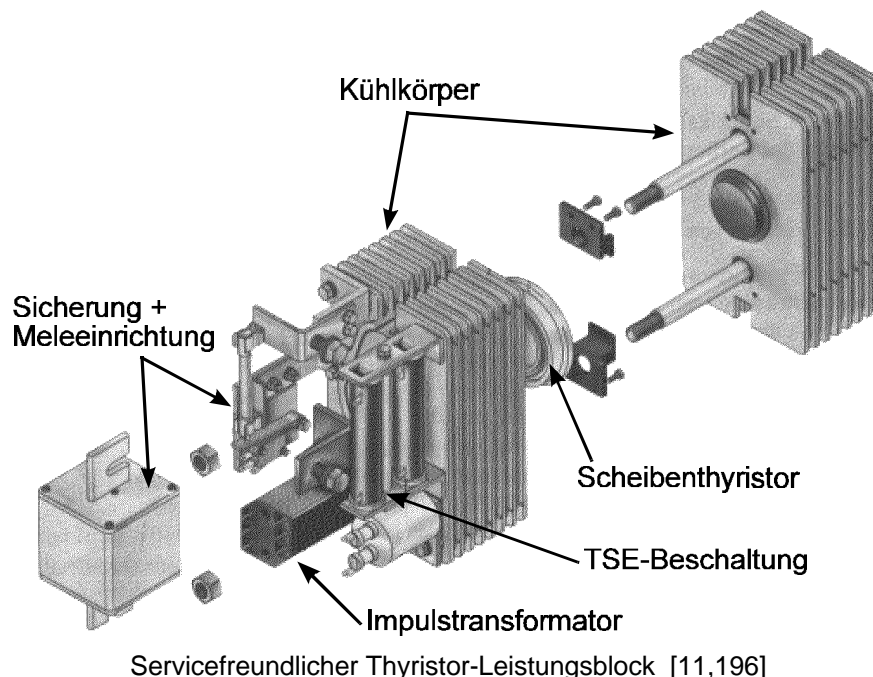
Erst nach der Freierzeit t_q darf wieder eine positive Spannung angelegt werden, ohne daß der Thyristor von selbst wieder durchschaltet.

Das Abreißen des Thyristorstromes erfolgt sehr plötzlich, wodurch gefährliche Selbstinduktions-Spannungen entstehen.

Abhilfe: RC Glied parallel zum Thyristor (gleichzeitig auch Schutz gegen Überspannungsspitzen von Außen)

Einsatzbereich: bis zu 4500 V, 4700 A (Scheibendurchmesser 100 mm !)

}

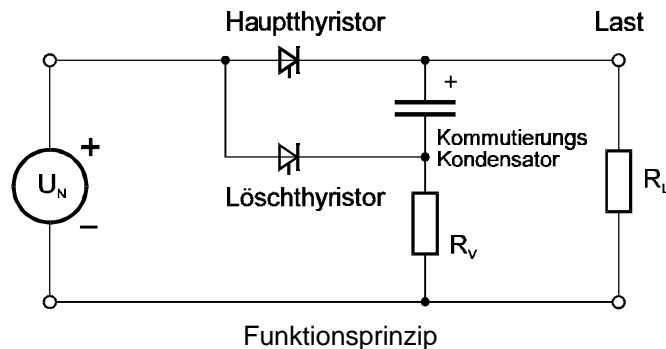


2.5.2 Löschen des Thyristors

Zum Löschen muß der Thyristorstrom kurzzeitig den Haltestrom unterschreiten. Ist dies nicht von selbst gegeben, muß mittels eines Hilfsthryristors und eines Kommutierungskondensators ein entgegengesetzter Strom durch den Thyristor erzeugt werden.

- Zwangskommutierung, fremdgeführter Stromrichter

{7}



Bei praktisch ausgeführten Schaltungen dient ein Schwingkreis zum Umladen des Kommutierungskondensators.

2.5.3 GTO

Gate Turn Off: Abschaltbarer Thyristor

Der zum Abschalten erforderliche negative Strom ist jedoch sehr hoch (1/5 ... 1/3 des Laststroms)
Einsatzbereich: bis zu 5000 V, 3000 A, 1 kHz [2,56]

2.5.4 MCT

MOS Controlled Thyristor

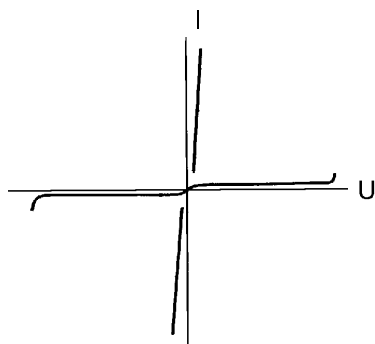
1993 von Harris (derzeit alleiniger Lieferant) herausgebracht. Kann vereinfacht als Thyristor mit MOS-FET Ansteuerung betrachtet werden, der ähnlich dem GTO Thyristor über das Gate sowohl eingeschaltet (z.B. -7V) als auch ausgeschaltet werden kann (z.B. +18V).

Einsatzbereich zur Zeit: bis zu 1000 V, 75 A [9,10]

2.5.5 Sonstige Thyristorarten

- Rückwärtsleitender Thyristor: Thyristor mit antiparalleler Diode
- TRIAC (**TRI** electrode **AC**): Zwei antiparallel geschaltete Thyristoren mit gemeinsamem Gate
- DIAC (**DI** electrode **AC**): Zweipolige Vierschichtdiode für Triac Ansteuerschaltungen
- Photothyristor: Ansteuerung mit Lichtimpuls, Optokoppler

{8}



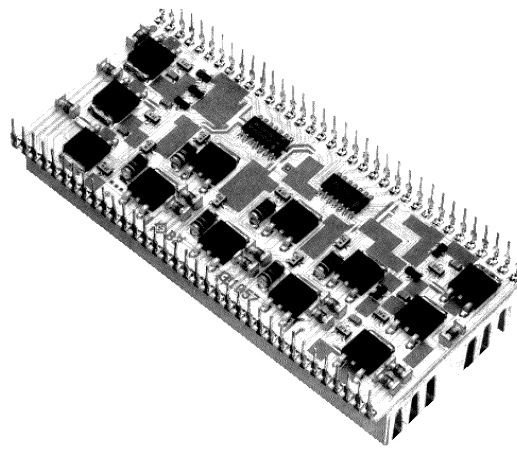
TRIAC: Kennlinie und Schaltzeichen



DIAC: Kennlinie und Schaltzeichen

Verwendung in Wechselstromstellern kleiner Leistung (Dimmer, Haushaltsgeräte)

Einsatzbereich (Triac): 1000 V, 200 A



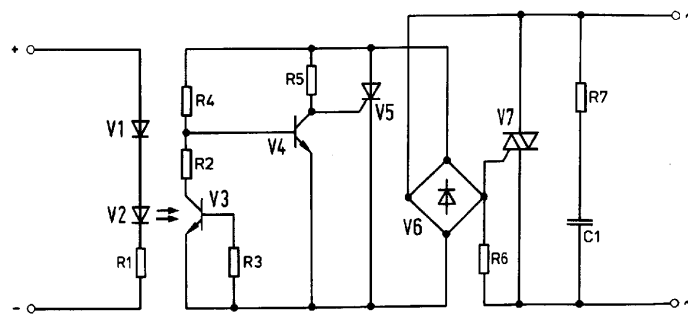
Aufbau einer Hybridschaltung auf Keramiksubstrat

2.7 Elektronisches Lastrelais, Solid State Relais

Baustein zum kontaktlosen Schalten von Netzwechselfspannungen (meist im Nulldurchgang)
Der Steuerkreis ist wie beim elektromechanischen Relais vom Leistungskreis galvanisch getrennt.

Ausführungsbeispiel:

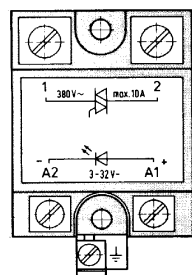
{10}



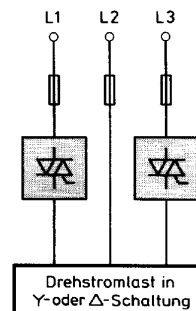
Schaltung eines ELR mit Nullspannungsschalter

Anmerkung: R_2 , R_4 sind so ausgelegt, daß V_3 nur bei geringen Spannungen (=Nulldurchgang) ein Durchsteuern von V_4 verhindern kann.

{10a}



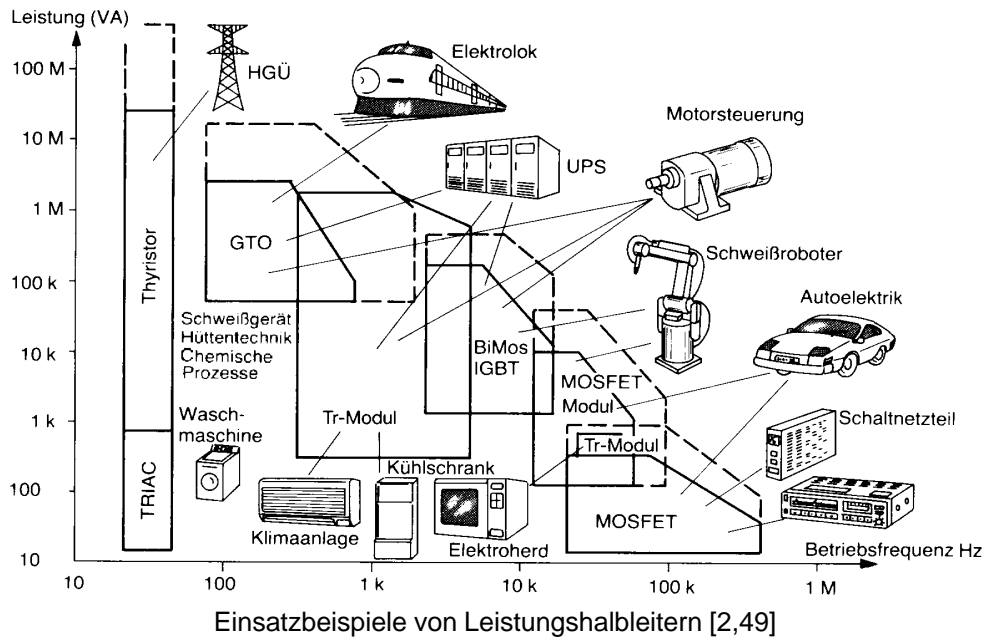
Aufbau



Sparschaltung für Drehstrombetrieb

2.8 Übersicht der Einsatzbereiche

{10b}



3 Wechselstromsteller

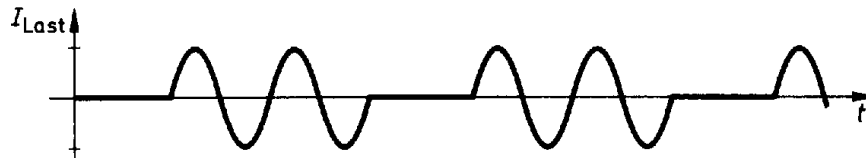
3.1 Vollwellensteuerung

Auch als Schwingungspaketsteuerung bezeichnet.

Es werden immer ganze Sinus-Schwingungen EIN bzw. AUS geschaltet. Die mittlere Leistung ergibt sich aus dem Verhältnis von Einschaltzeit zu Ausschaltzeit. Durch Verwendung von Nullspannungsschaltern (ELR) erreicht man geringe Funkstörungen und Oberwellenbelastung.

Hauptanwendung bei Heizungen

{11}

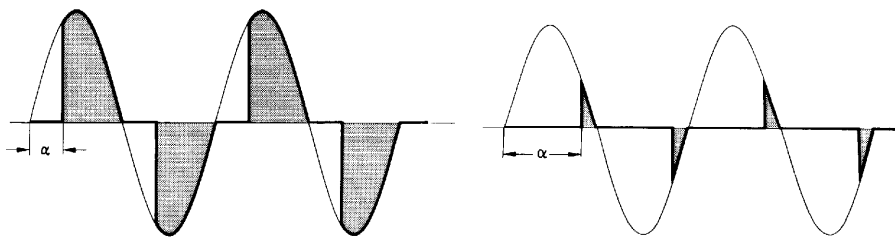


Vollwellensteuerung

3.2 Phasenanschnittsteuerung

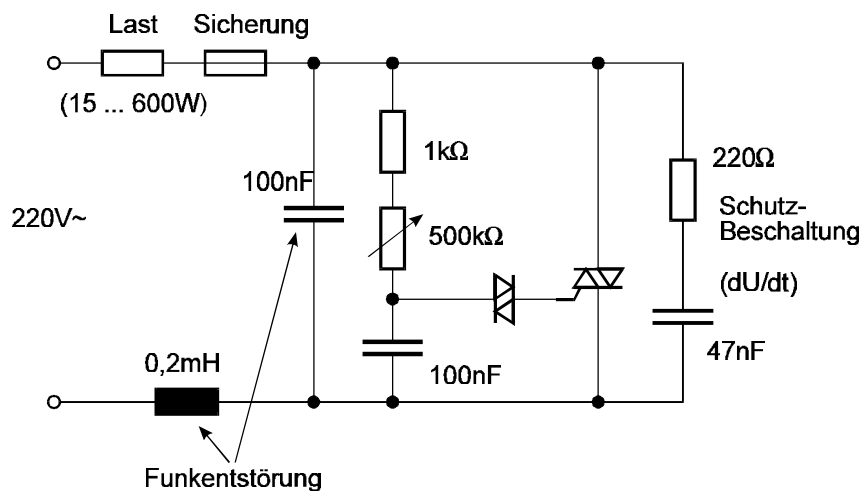
3.2.1 Einphasen - Wechselstromsteller

{11}



Spannungsverlauf bei $\alpha = 60^\circ$ und $\alpha = 150^\circ$

{11b}



Schaltplan eines Glühlampendimmers

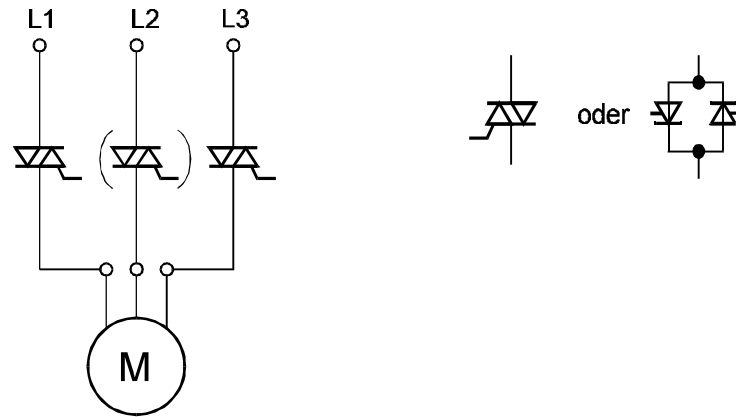
Anwendung:

Helligkeitssteuerung von Glühlampen (Dimmer)

Drehzahlsteuerung von Universalmotoren (Bohrmaschine, Mixer) oder speziellen Asynchronmotoren (Lüfter)

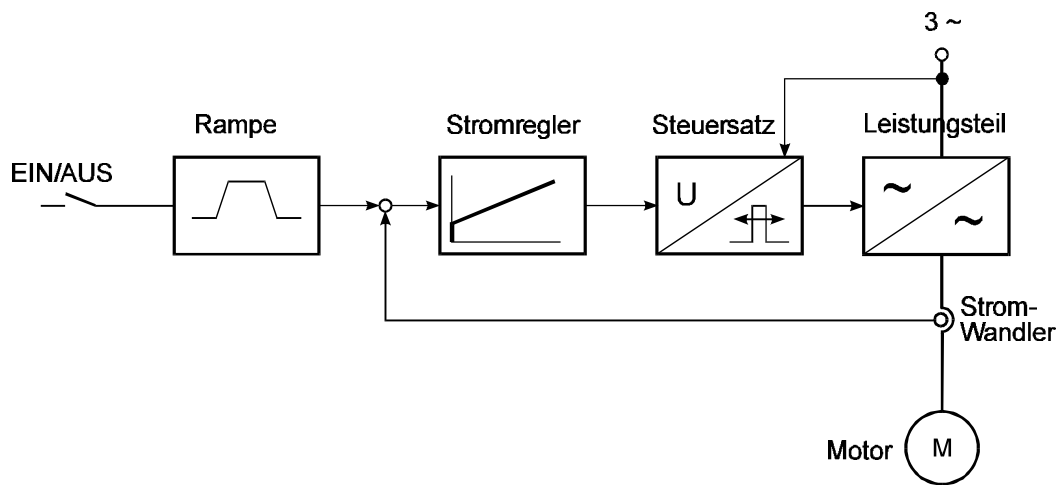
3.2.2 Dreiphasen - Wechselstromsteller

{12}



Leistungsteil des 3~ Wechselstromstellers

{12a}

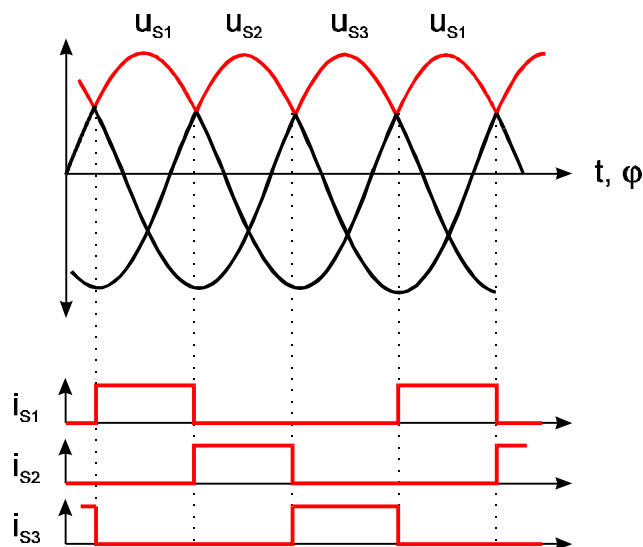
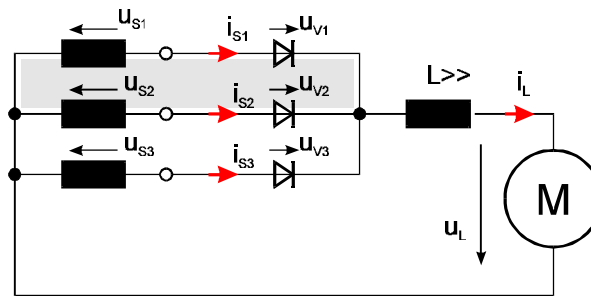


Steuerteil des 3~ Wechselstromstellers als Sanftanlasser

4 Stromrichter für Gleichstrommaschinen

4.1 Ungesteuerter Stromrichter

{13}



4.2 Gesteuerter Stromrichter

4.2.1 Funktionsprinzip

Die Diodengleichrichter der ungesteuerten Schaltung werden durch Thyristoren ersetzt. Bedingung für das Zünden eines Thyristors ist eine Spannung in Durchlaßrichtung am Thyristor.

z.B. für Thyristor 2:

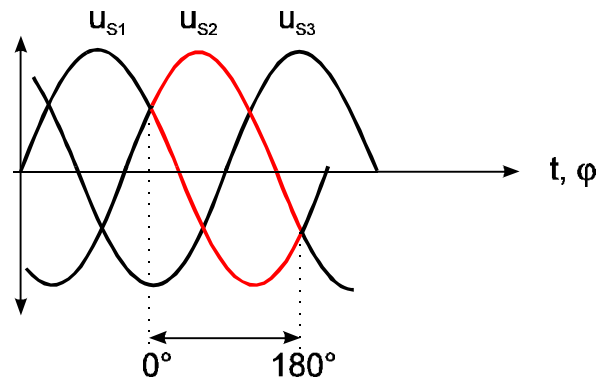
$$u_{S2} - u_{S1} + \underbrace{u_{V1}}_{\Rightarrow 0} - u_{V2} = 0 \quad (\text{Thyristor 1 leitet, Thyristor 2 sperrt})$$

$$u_{V2} = u_{S2} - u_{S1} \geq 0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{u_{S2} \geq u_{S1}} \quad \text{Zündbedingung für Thyristor 2}$$

Aus dieser Bedingung ergibt sich ein möglicher Steuerwinkel von 0 ... 180°

Der Übergang des Stromes von einem Transistor auf den anderen erfolgt durch die Höhe der jeweiligen Netzspannung, daher die folgenden Benennungen:

- **Netzgeführter Stromrichter, fremdgeführter Stromrichter, natürliche Kommutierung**



Durch die Wahl des Steuerwinkels kann die Ausgangsspannung verändert werden:

$$U_{L\alpha} = U_L \cdot \cos \alpha$$

Gleichrichterbetrieb: 0 ... 90°

Wechselrichterbetrieb: 90° ... 120°

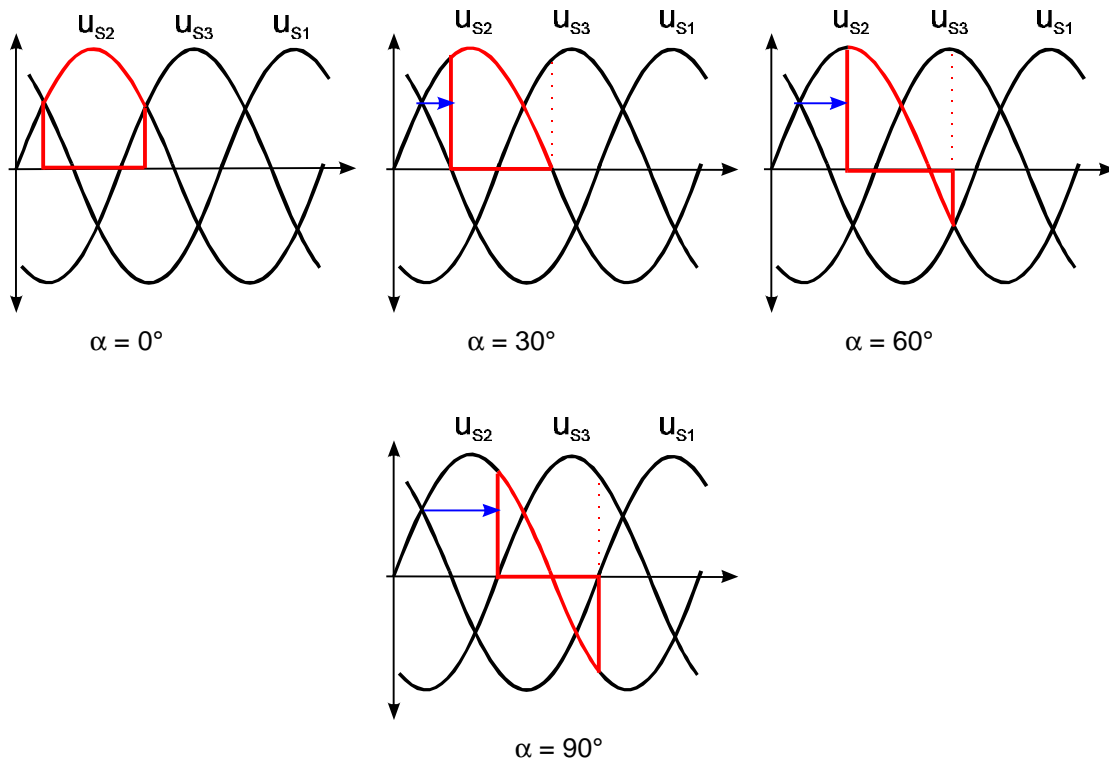
Das bedeutet:

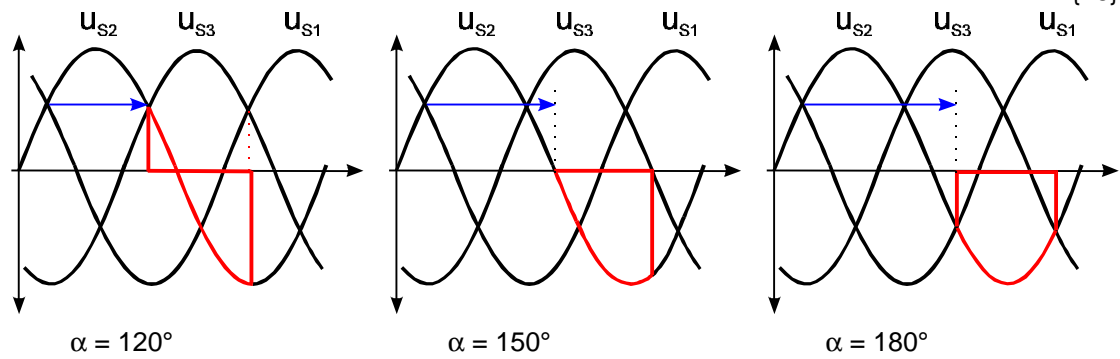
Bei $\alpha > 90^\circ$ wird die Ausgangsspannung negativ.

Da die Stromflußrichtung gleich bleibt (Thyristor = Diode), ändert sich auch die Energieflußrichtung !

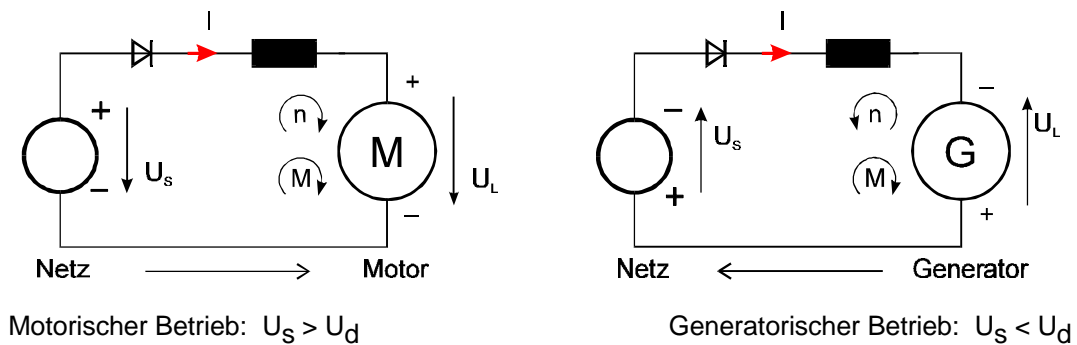
Der Gleichstrommotor ist in den Generatorbetrieb übergegangen und liefert Energie in das Netz zurück !

Beispiel: Heben und Senken einer Last





Vereinfachte Betrachtung der Energieflußrichtung (Momentbetrachtung):



Verbraucherzählpeilsystem:

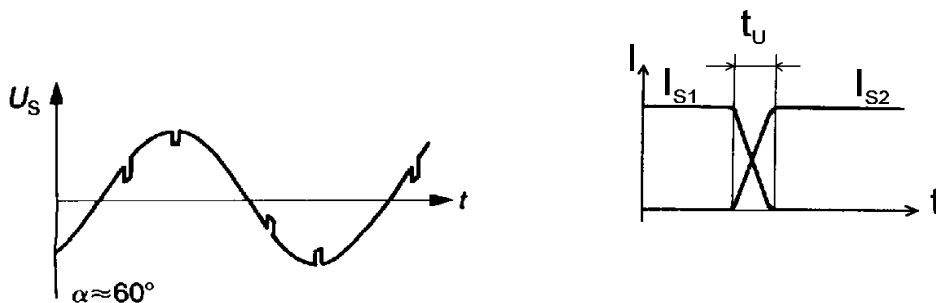
Wenn Strom- und Spannungsrichtung gleich sind ergibt sich eine positive Leistung.

Positive Leistung = verbrauchte Leistung

Wird der Steuerwinkel der Thyristoren während des Betriebes so geregelt, daß der Strom konstant gehalten wird, so folgt der Stromrichterausgang der Lastspannung (Motor / Generator) entsprechend nach !

Netzurückwirkungen:

Beim Zünden des Folgethyristors werden zwei Strangspannungen kurzgeschlossen. Erst wenn der Folgethyristor den Strom übernommen hat und der davor liegende Thyristor sperrt, ist der Kurzschluß aufgehoben. Die Folge sind Kommutierungseinbrüche auf der Netzspannung, die durch Netzdrosseln vermindert werden können.



Netzurückwirkung einer vollgesteuerten Brücke (Lit. 2, 112)

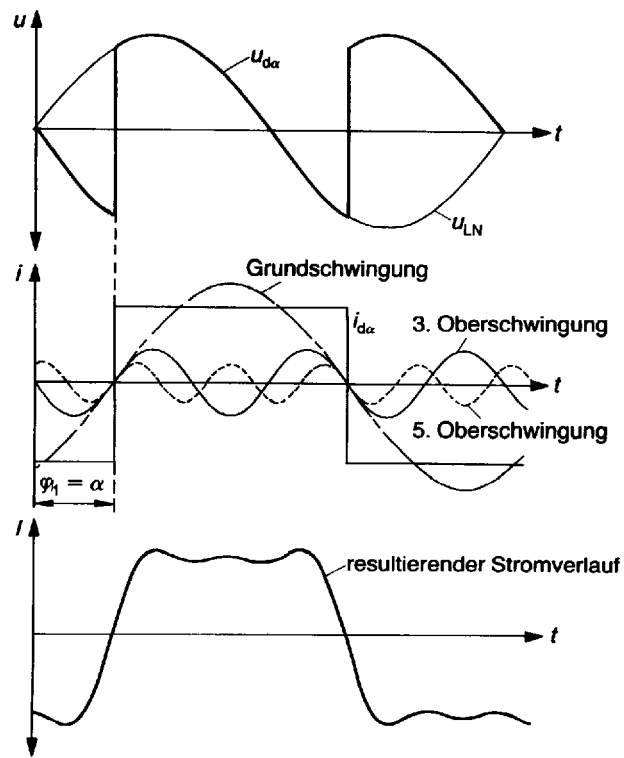
Stromübergang (= Kommutierung) von Thyristor 1 auf Thyristor 2 (t_U = Überlappungszeit)

Blindleistungsbetrachtung:

Bei einem gesteuerten Gleichrichter kann auch bei reiner Ohmscher Belastung eine Blindleistungskomponente auftreten:

Der durch die Diode fließende (rechteckförmige) Strom wird in Grund- und Oberschwingungen zerlegt. Daraus wird die Phasenverschiebung zwischen der Spannung und der Grundwelle des Stromes erkennbar.

{14b}



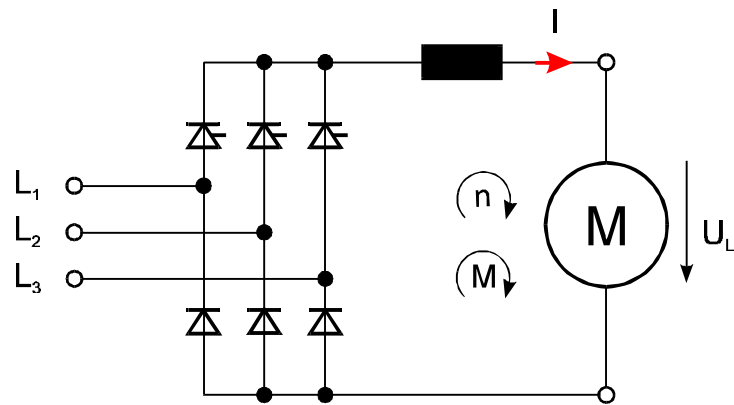
Blindleistung beim gesteuerten Gleichrichter [11,223]

4.2.2 Leistungsteil

1-Q Betrieb:

Strom- und Spannungsrichtung konstant

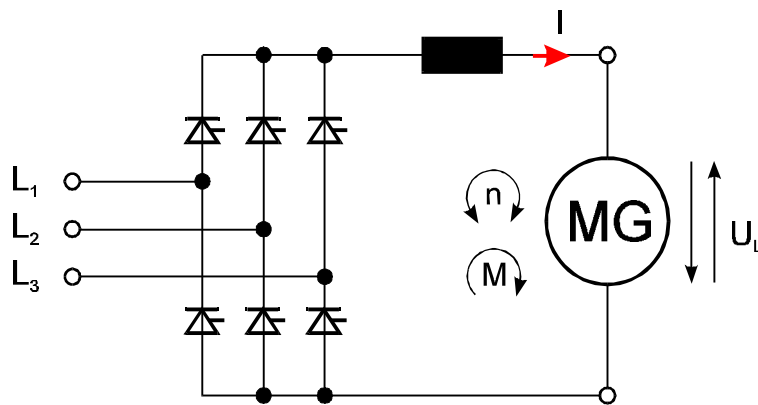
{17}



Halbgesteuerte Brücke

2-Q Betrieb:

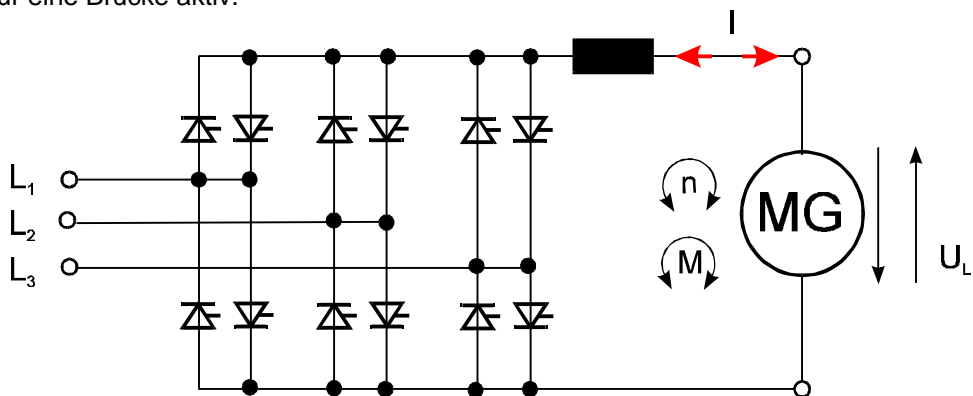
Stromrichtung konstant, Spannung umpolbar



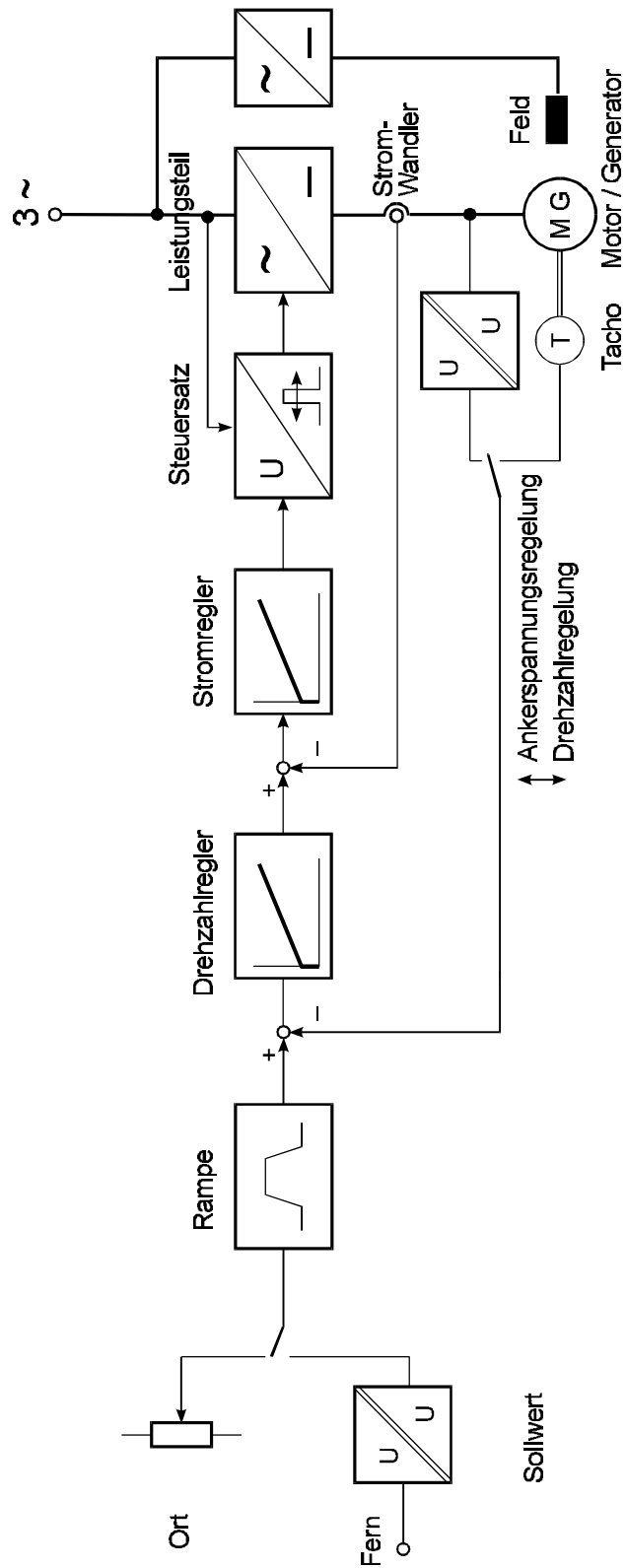
Vollgesteuerte Brücke

4-Q Betrieb:

Die Stromrichtung ist durch eine zusätzliche antiparallele Brücke umkehrbar. Je nach Stromflußrichtung ist immer nur eine Brücke aktiv.



Ist keine rasche und übergangslose Umkehrung der Drehrichtung gefordert, dann ist es einfacher nur die Ankerwicklung oder die Feldwicklung mittels Schütz umzuschalten.



Steuerteil eines Stromrichters für Gleichstrommotoren

Feldregelung:

Normalerweise wird das Feld konstant gehalten und nur der Ankerkreis geregelt. Sollen höhere Drehzahlen erreicht werden, als es die verfügbare Ankerspannung zuläßt, so kann auch das Feld reduziert werden (Feldschwächung). Dies hat allerdings auch eine Reduktion des verfügbaren Moments zur Folge. Zu beachten ist auch die mechanische Höchstdrehzahl, um den Rotor nicht zu zerstören (Fliehkraftwirkung auf die Wicklungen, Lagerauslegung).

Kurzschluß- und Überlastungsschutz:

Durch die unterlagerte Stromregelung ist der Stromrichter im Allgemeinen auch gegen Kurzschluß geschützt. Wird die Strombegrenzung auf den Motornennstrom eingestellt (für kurze Zeiten sind meist höhere Werte erlaubt: Anfahren, Beschleunigen, Bremsen) so ist auch der Motor weitgehend gegen Überlastung geschützt.

Regelkonzepte:

- Echte Drehzahlregelung mit analogem oder digitalem Geber
- Ankerspannungsregelung ($U_A = \text{konstant}$) ev. mit I.R Kompensation
- Momentenregelung ($I_A = \text{konstant}$)

Drehzahlsollwert:

"Ort" oder "Manuell":

- **Potentiometer**
- Tastatur (bei digitalen Reglern)
- Höher/Tiefer Tasten (mit Motorpotentiometer oder bei digitalen Reglern)

"Fern" oder "Auto":

- Potentiometer
- Höher/Tiefer Tasten (mit Motorpotentiometer)
- Spannung **0 ... 10 V**
- Strom **0 ... 20 mA, 4 ... 20 mA**
- Digital (seriell) über **Feldbus**

Die Drehrichtung kann durch die Polarität des Steuersignals oder durch ein eigenes Richtungssignal (z.B. Steuerkontakt) angegeben werden.

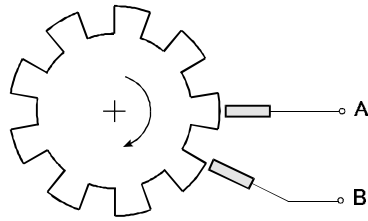
Durch die Rampenfunktion (Sollwertintegrator) wird ein zu schnelles Beschleunigen und Bremsen begrenzt.

Reglersperre:

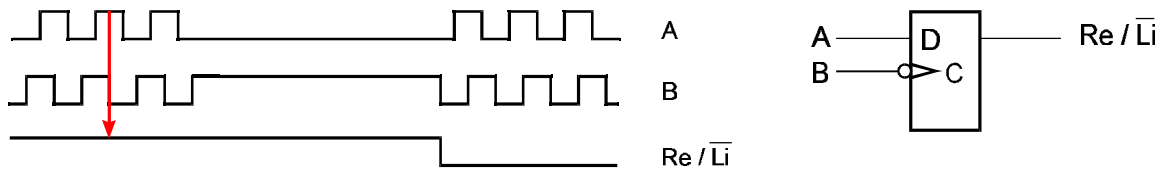
Zusatzeingang (meist als Kontakt) zum Sperren des Reglers, d.h. Stillsetzen des Antriebs. Dabei bleibt jedoch die ganze Elektronik unter Spannung.

Drehzahlistwert:

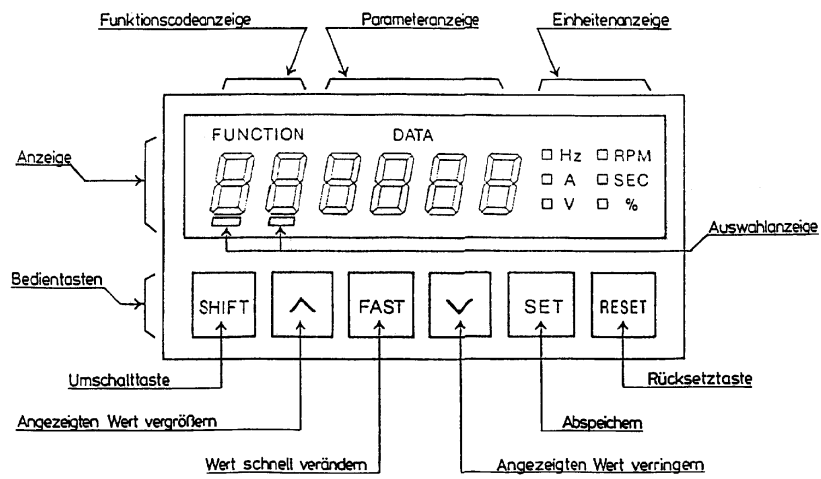
- Gleichspannungstachogenerator (typisch 60V / 1000 1/min)
- Wechselfeldstachogenerator mit Gleichrichter (Achtung bei Drehrichtungsumkehr !)
- Impulsgeber mit nachgeschaltetem f-U Wandler oder Digitalregler



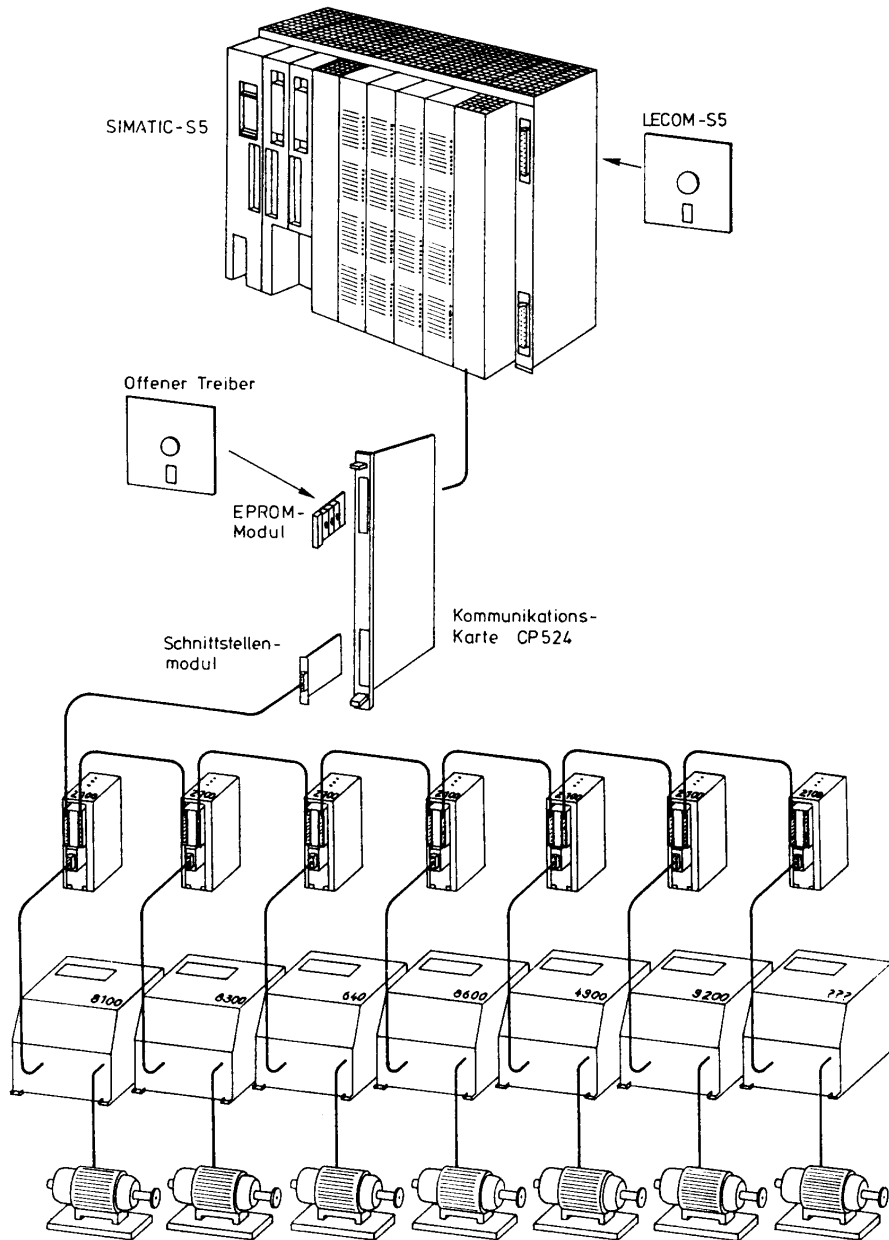
Digitaler Impulsgeber mit Drehrichtungserkennung



Impulsdigramm und Drehrichtungserkennung



Beispiel einer digitalen Bedienkonsole [Lenze]

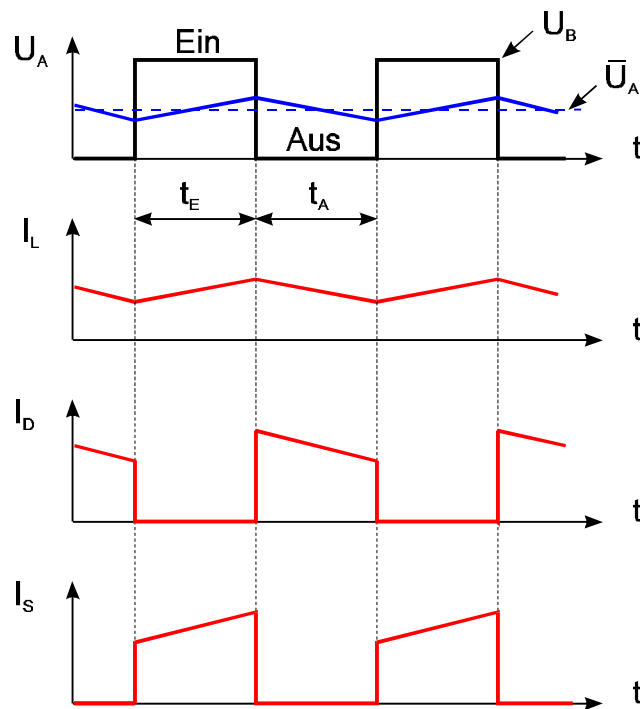
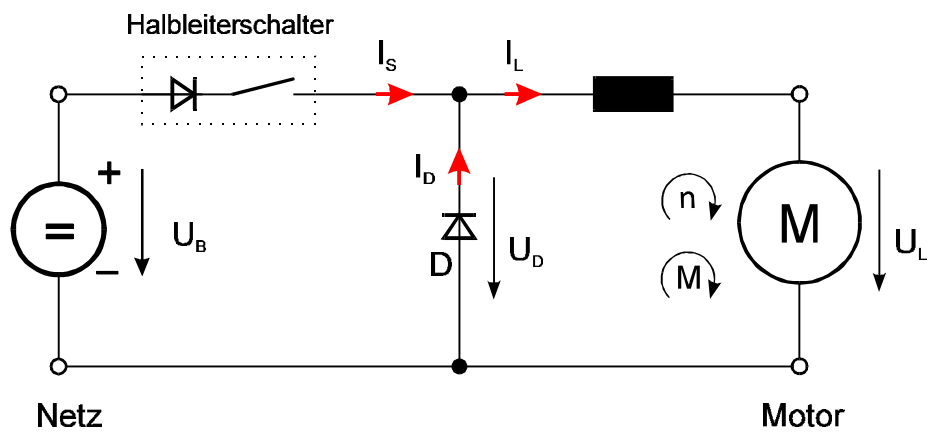


Beispiel einer digitalen Steuerung über einen Feldbus:
Kopplung SMATIC S5 mit LENZE Antriebsreglern (System LEMOC)

5 Gleichstromsteller

5.1 5.1. Funktionsprinzip

{20}

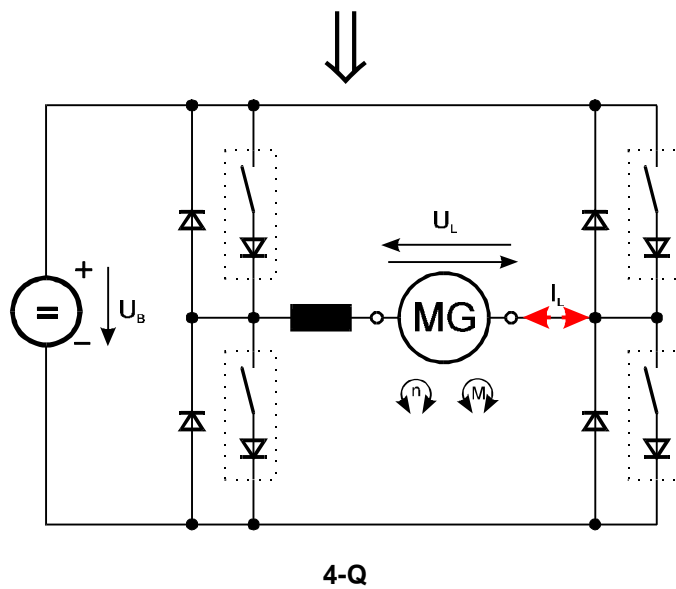
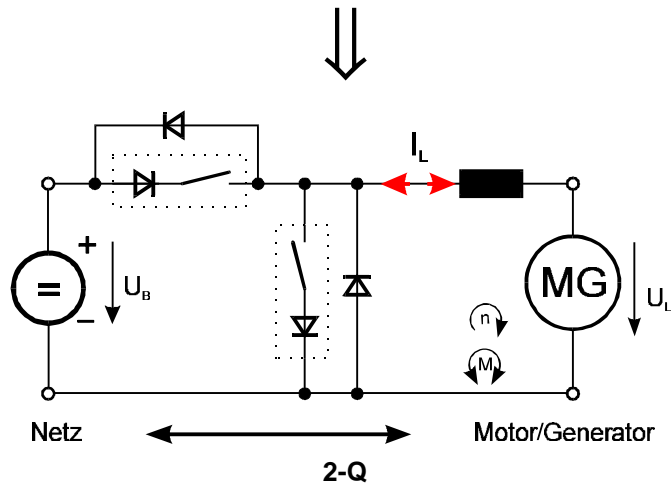
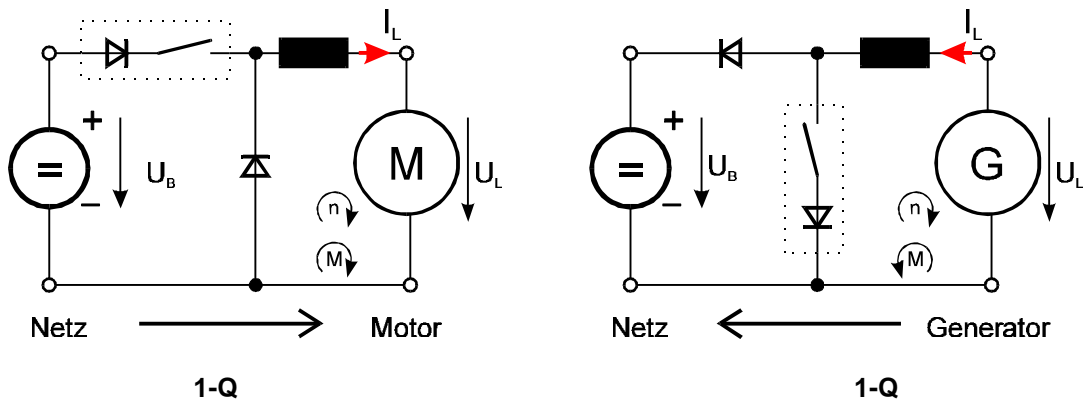


Mittlere Ausgangsspannung:
$$\bar{U}_L = U_B \cdot \frac{t_E}{t_E + t_A}$$

Strom und Spannung haben konstante Richtung.
Mit dieser Schaltung ist also nur 1-Q Betrieb möglich.

5.2 5.2. Leistungsteil

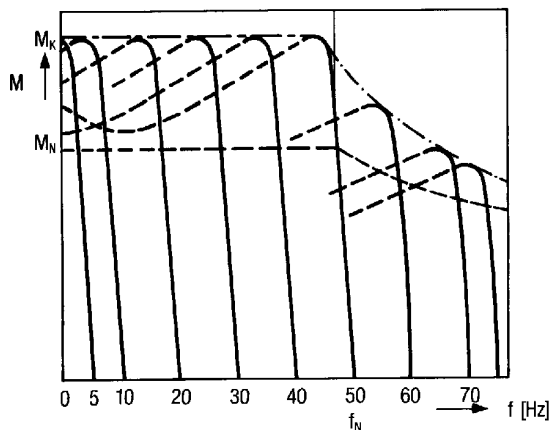
{21}



6 Frequenzumrichter für Asynchronmaschinen

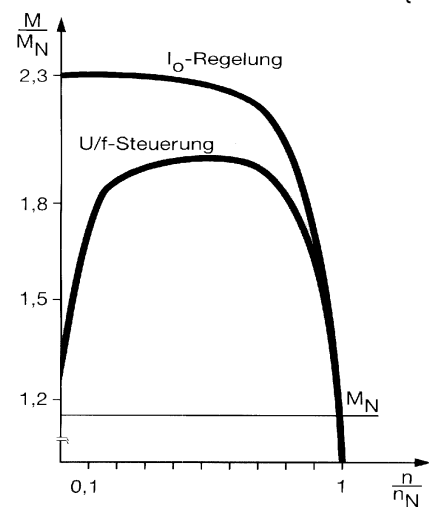
6.1 Funktion

{22}



Motorkennlinien bei verschiedenen Frequenzen

{22a}



M-n Kennlinie je nach Regelkonzept

Die Drehzahländerung der Asynchronmaschine erfolgt über eine Änderung der Drehfeldfrequenz f_s . Damit der magnetische Fluß konstant bleibt, muß zugleich auch die Motorspannung angepaßt werden.

$$n_s = \frac{f_s}{p} \cdot 60 \quad (1/\text{min}) \quad U = c \cdot \Phi_s \cdot f_s \quad (\text{V})$$

Dies kann über eine einstellbare Funktion erfolgen (U-f Kennlinie), die den jeweiligen Gegebenheiten angepaßt werden kann.

Eine andere (rechenintensive) Möglichkeit besteht darin, die Drehzahl sowie Motorstrom und Motorspannung nach Betrag und Phase zu messen und auszuwerten (Modellbildung, Vektorregelung). Damit kann eine in allen Betriebszuständen optimale Regelung erzielt werden. Man spricht von feldorientierter oder Vektorregelung. Damit kommt man dem Regelverhalten der Gleichstrommaschine schon deutlich näher.

Bei Frequenzumrichterbetrieb können mit der ASM auch höhere Drehzahlen als die Nenndrehzahlen erzielt werden (Netzfrequenz > 50 Hz). Da die Motorspannung meist nicht weiter gesteigert werden kann (maximal 380 V), nimmt das Feld und damit das verfügbare Drehmoment entsprechend ab. Dabei bleibt die abgegebene Leistung in etwa konstant. Man spricht von Feldschwächbetrieb.

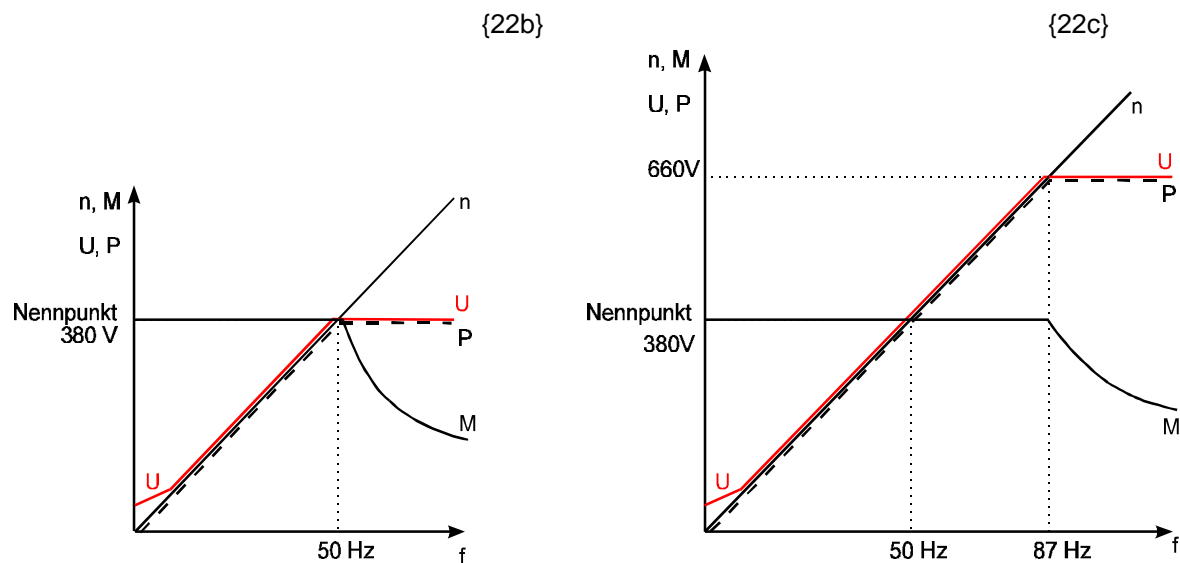
Stehen 660 V Netzspannung zur Verfügung, so kann man einen 380V / 50 Hz ASM bis zu einer

Drehfeldfrequenz von $f = 50 \cdot \frac{660}{380} \approx 87\text{Hz}$ ohne Momentenabfall betreiben. Das bedeutet eine

"kostenlose" Leistungssteigerung von über 70%. Es ist lediglich die Isolationsqualität des Motors zu beachten. Der Motorstrom und damit auch die thermische Belastung bleiben gleich.

Das gleiche Prinzip ist auch bei 380 V Netzspannung anwendbar, wenn Motoren mit 220/380 V (Δ/Y) verwendet werden (meist bei kleineren Baugrößen).

M-n Kennlinien am Beispiel eines Motors mit 380/660 V (ΔY) bei Betrieb mit Frequenzumrichter am 380V Netz (Δ) bzw. am 660V Netz (ebenfalls Δ !):



Anmerkungen:

Es ist zu beachten, daß je nach Umrichterprinzip (in erster Linie abhängig von der Kurvenform) der Motor bei Umrichterbetrieb nicht mit der vollen Nennleistung betrieben werden darf. Der Reduktionsfaktor ("0" ... 5 ... 15%) ist vom Umrichterhersteller zu erfragen.

Es werden auch speziell für den Umrichterbetrieb optimierte Motoren angeboten. Bei diesen sind die Oberwellenverluste gegenüber Standardmotoren deutlich reduziert (verringerte Stromverdrängung). Beim Anlassen im direkten Netzbetrieb zeigen diese Motoren jedoch höhere Anfahrströme.

Bei niederen Drehzahlen (etwa ab $0,5 \cdot n_N$) tritt infolge verminderter Kühlung eine Leistungsreduktion auf. Dies kann entweder durch Reduktion des Lastmoments ausgeglichen werden (Lüfter, Pumpen) oder durch Einsatz eines Fremdlüfters.

Bei sehr niedrigen Frequenzen (einige Hz) treten oft noch zusätzliche systembedingte Drehmomentenreduktionen auf (herstellerabhängig).

Meist sind die Frequenzumrichter so ausgelegt, daß sie kurzzeitig (zum Anfahren) einen erhöhten Strom liefern können ($1,4 \dots 2 \cdot I_N$). Dies ist jedoch bedeutend weniger, als im direkten Netzbetrieb üblich.

Regelkonzepte:

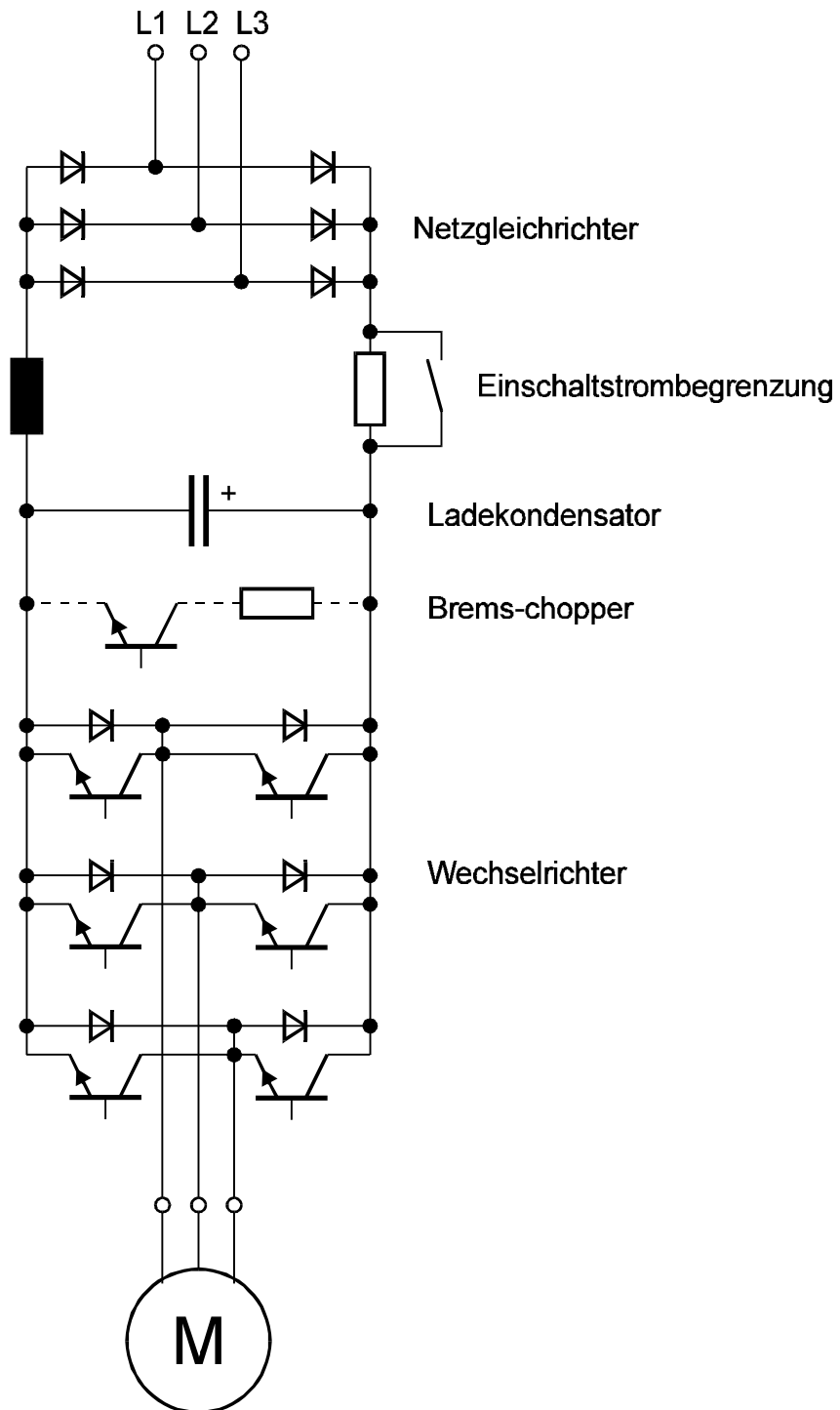
Hier gelten sinngemäß die gleichen Prinzipien wie bei der Gleichstrommaschine beschrieben.

Bei geringen Anforderungen wird der ASM ohne Tachogenerator betrieben. Zur Verbesserung der Drehzahlstabilität kann man eine sogenannte Schlupfkompensation vorsehen: Dabei wird der Drehzahlsollwert lastabhängig erhöht (Störgrößenaufschaltung). Damit läßt sich eine Drehzahlkonstanz von ca. 1% erreichen.

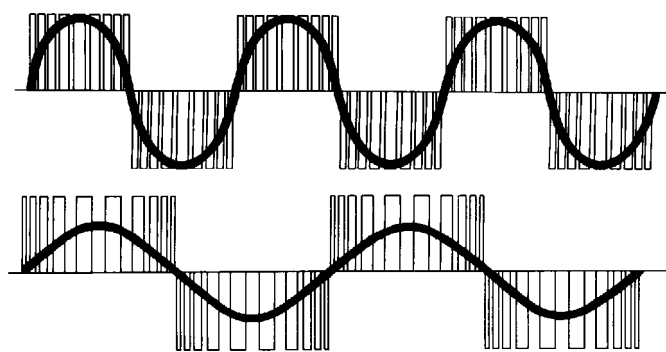
6.2 Spannungszwischenkreisumrichter

6.2.1 Leistungsteil

{23}

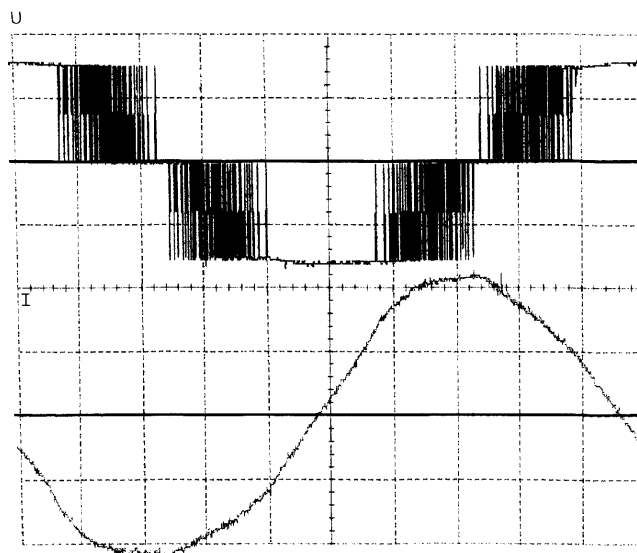


Leistungsteil eines U-Umrichters



Prinzip der Pulsweitenmodulation (ohmsche Last)

{24a}

Kurvenformen eines Umrichters mit 20 kHz Taktfrequenz (LENZE 640)
(induktive Last)Funktion:

Durch entsprechende Steuerung der Impulsbreiten des Wechselrichters kann man recht saubere Sinusförmige Ströme erzielen: **Sinusbewertete Pulsweitenmodulation** (PWM).

Bei guter Annäherung an die Sinusform entstehen nur geringe Zusatzverluste im Motor.

Dazu sind jedoch hohe Schaltfrequenzen erforderlich, zusätzlich sollte man zur Geräuschminderung mit der Schaltfrequenz oberhalb der Hörgrenze liegen.

Die Funktion des Umrichters ist unabhängig von der Last, d.h. der Umrichter kann ohne Umstellung mit Motorenennleistungen von 10% (ev. kleiner) bis 100% der Umrichternennleistung betrieben werden. Das ermöglicht einfachen Parallelbetrieb mehrerer Motoren.

Aufbau:

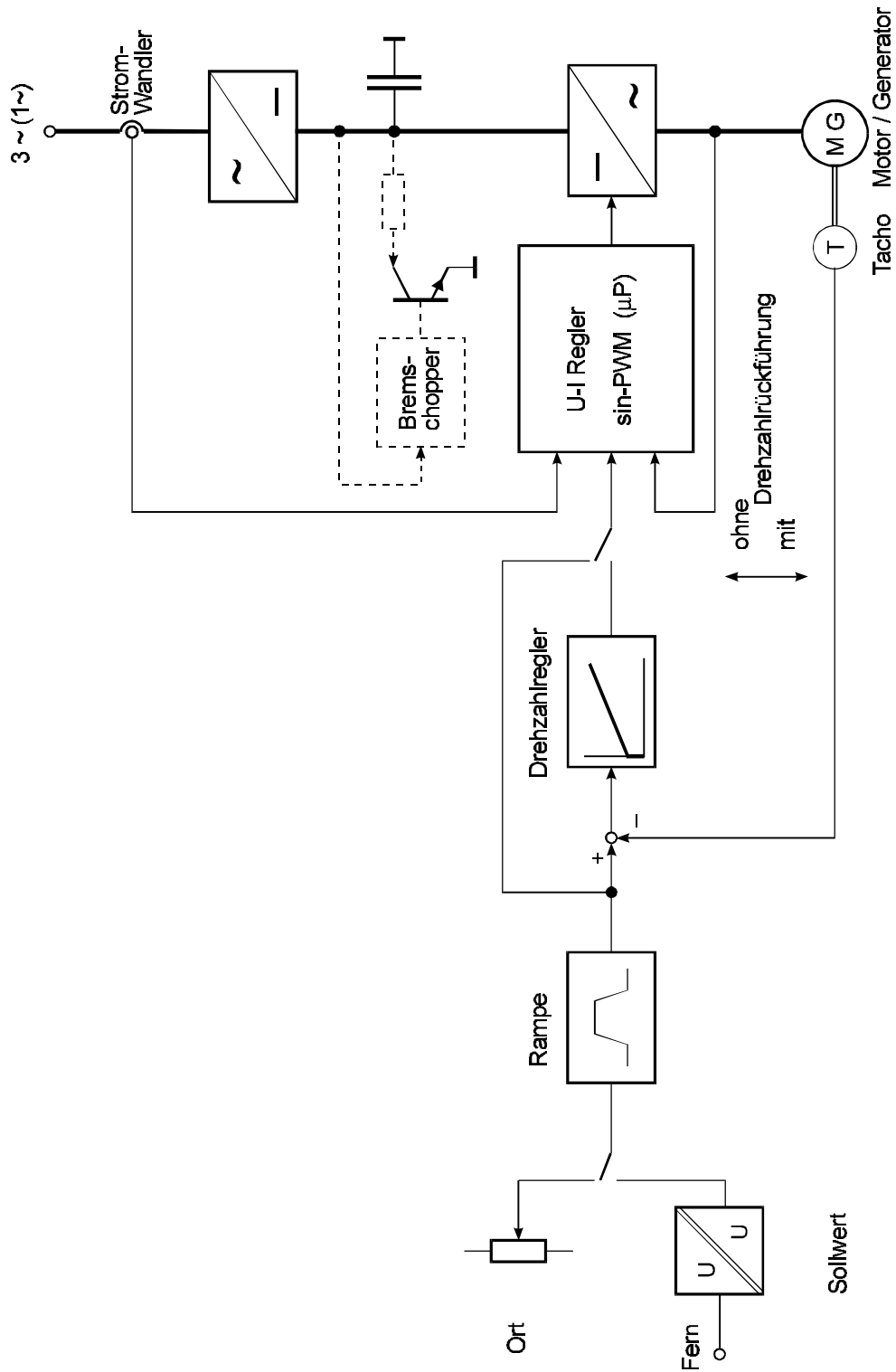
Bei Motorenennleistungen bis etwa 2,2 kW kann der Umrichter auch am einphasigen 220 V Netz betrieben werden, wenn die Motorspannung in Dreieckschaltung 220 V beträgt.

Über den ungesteuerten Netzgleichrichter kann keine Energie in das Netz geliefert werden. Es muß daher beim Bremsen ein Widerstand vorgesehen werden, um die Bremsenergie aufzunehmen. Dieser wird bei Erreichen der maximalen Spannung am Zwischenkreiskondensator zu diesem parallelgeschaltet und bei Unterschreiten wieder abgeschaltet: Brems-Chopper. Der Bremswiderstand kann je nach erforderlicher Bremsleistung und Häufigkeit meist deutlich schwächer als der Antriebsmotor ausgelegt werden oder auch ganz entfallen.

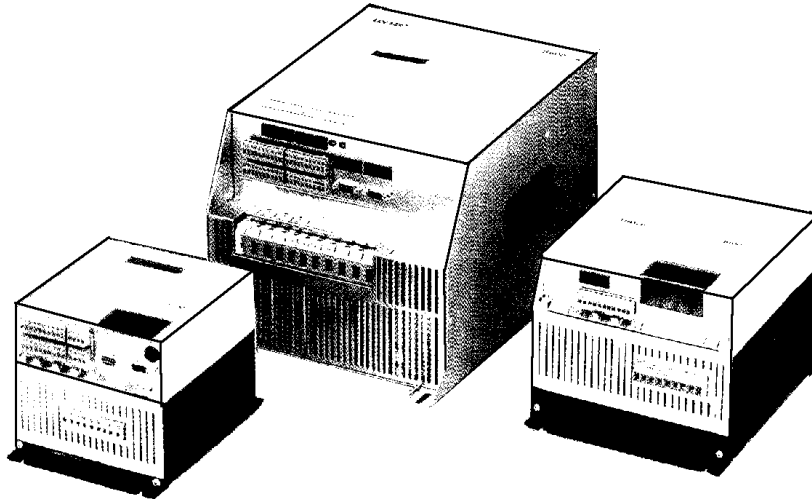
Durch den ungesteuerten Netzgleichrichter ist der $\cos\phi \approx 1$

Gesteuerte Netzgleichrichter sind aufwendig und werden daher nur selten eingesetzt.

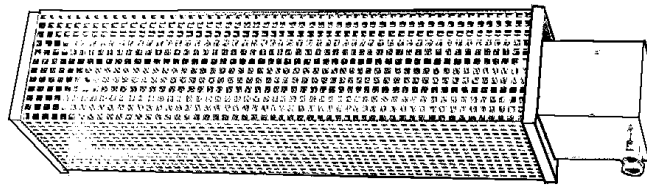
Als Schaltelemente im Wechselrichterkreis werden im mittleren Leistungsbereich hauptsächlich IGBT verwendet.



Steuerteil eines U-Umrichters



Frequenzumrichter / Stromrichter in Kompaktbauweise (komplett)



Lastwiderstand des Bremschoppers

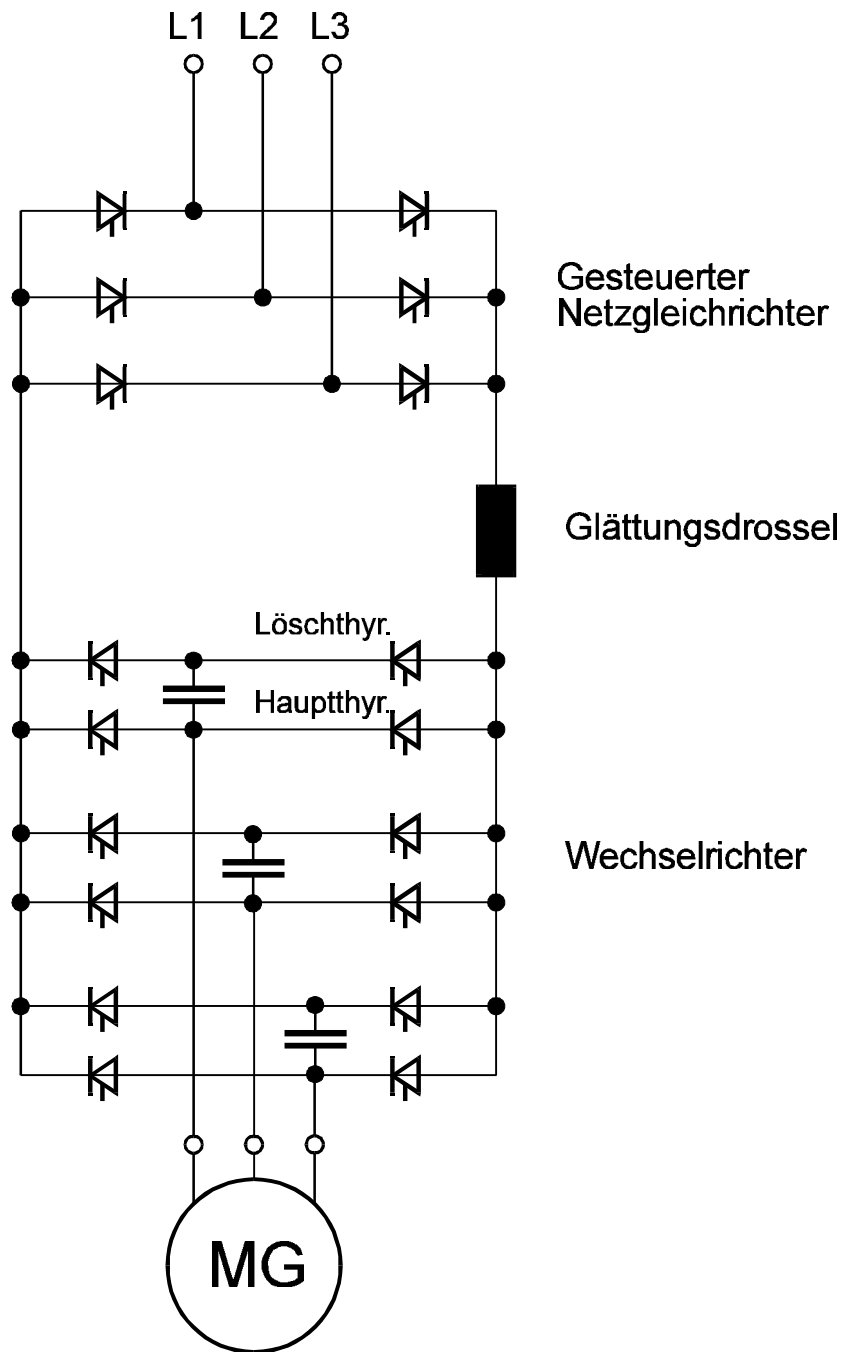
Anwendungsbeispiel: Lokomotive 1014

4-Q U-Umrichter mit Frequenzthyristoren, Vektorregelung, Ölgekühlt
4 Asynchronmotoren mit je 850 / 750 kW bei einer Drehzahl von 1500 / 3600 U/min, Luftgekühlt
Betrieb mit $16 \frac{2}{3}$ Hz und 50 Hz (grenzüberschreitender Einsatz)
Schleuder- und Gleitschutz

6.3 Stromzwischenkreisumrichter

6.3.1 Leistungsteil

{26}



Leistungsteil eines I-Umrichters

Funktion und Aufbau:

Der I-Umrichter ist immer aus **zwei gesteuerten Brücken** aufgebaut:

Die **netzseitige** Brücke steuert die Größe des Stroms durch die Zwischenkreisdrossel und damit die Größe der Motorspannung. Diese Brücke kann durch Spannungsumkehr Energie in das Netz zurückspeisen, der I-Umrichter ist daher von ohne Zusatzmaßnahmen ein 4-Q Umrichter. In Bezug auf Netzurückwirkungen ergibt sich das gleiche Verhalten wie beim Stromrichter für Gleichstrommotoren. In

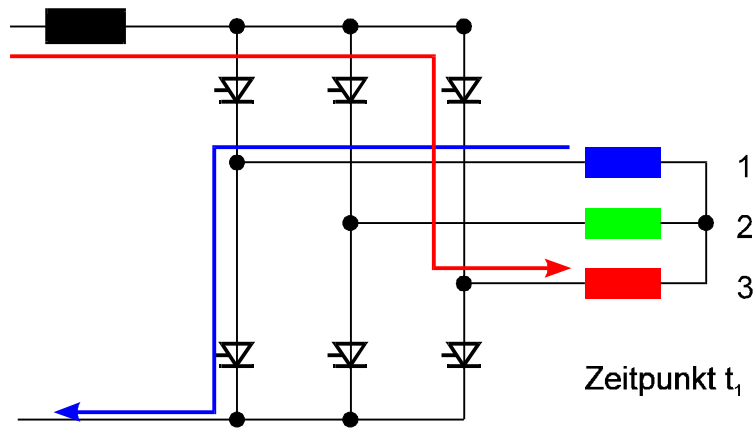
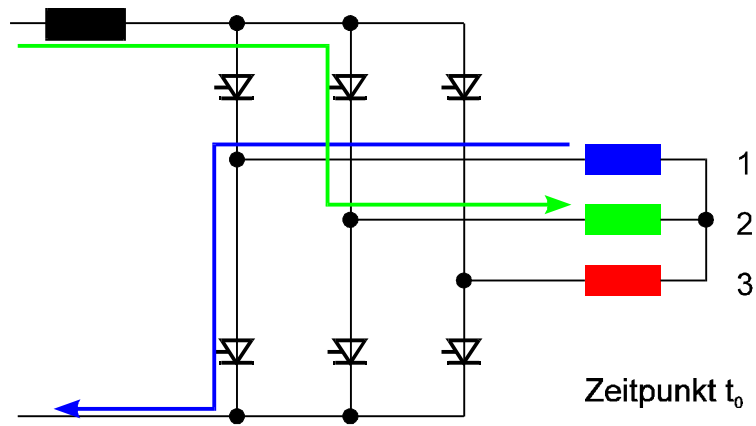
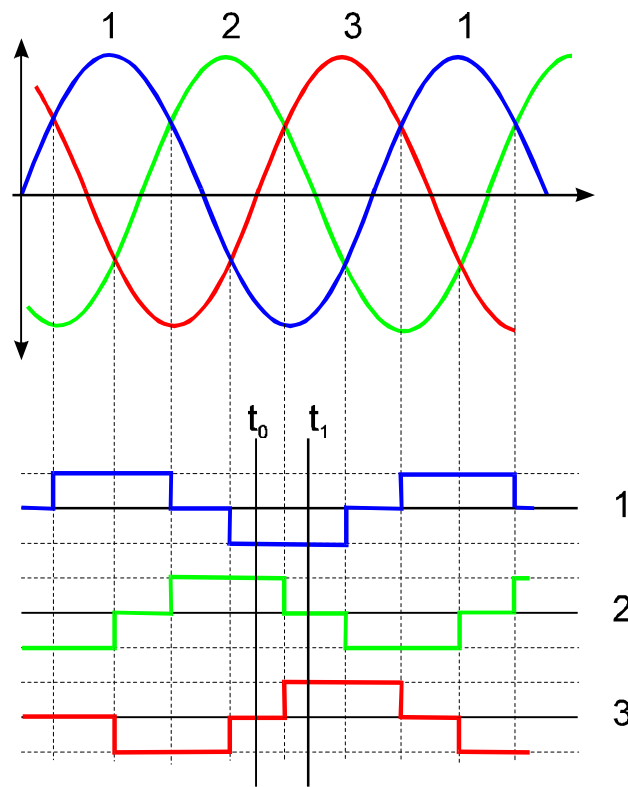
Die **motorseitige** Brücke schaltet den Strom der Zwischenkreisdrossel in entsprechender Reihenfolge auf die einzelnen Motorphasen und steuert damit die Frequenz des Drehfeldes. Da die Thyristorströme nicht "von selbst" durch Null gehen, müssen die Thyristoren durch eigene Löschthyristoren zwangsweise abgeschaltet werden.

Betriebsverhalten:

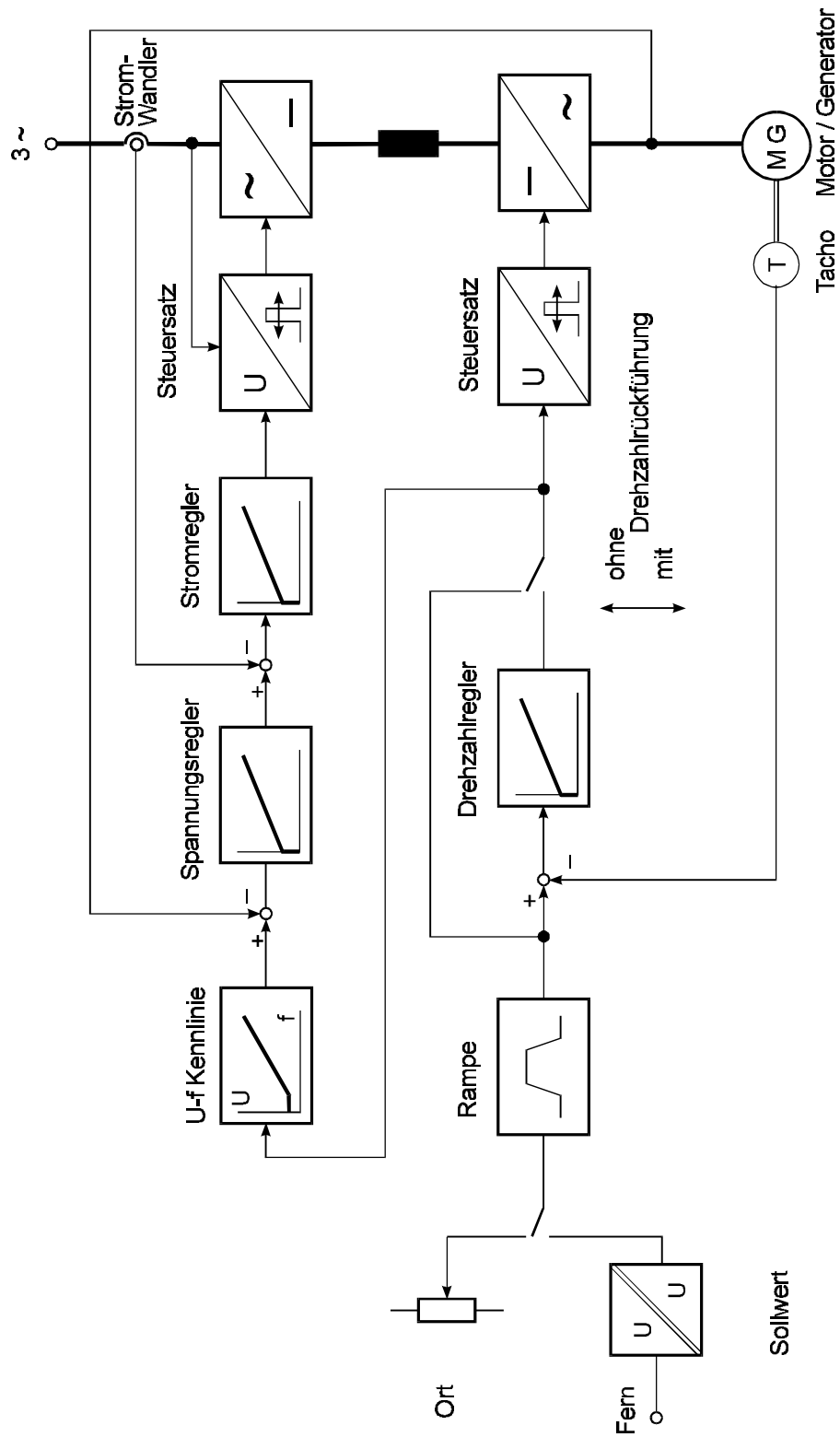
In Folge des eingepprägten Stromes ist ein Mehrmotorenbetrieb nur beschränkt möglich. Der Umrichter sollte möglichst der Motorleistung entsprechen.

Der I-Umrichter ist im Vergleich zum U-Umrichter wesentlich träger im Regelverhalten, dafür aber einfach und robust und durch die Verwendung von Thyristoren bis zu sehr hohen Leistungen einsetzbar.

Er wird daher bevorzugt bei höheren Leistungen (ab ca. 100 kW) eingesetzt und wenn 4Q Betrieb gefordert ist.



Stromverläufe beim I-Umrichter



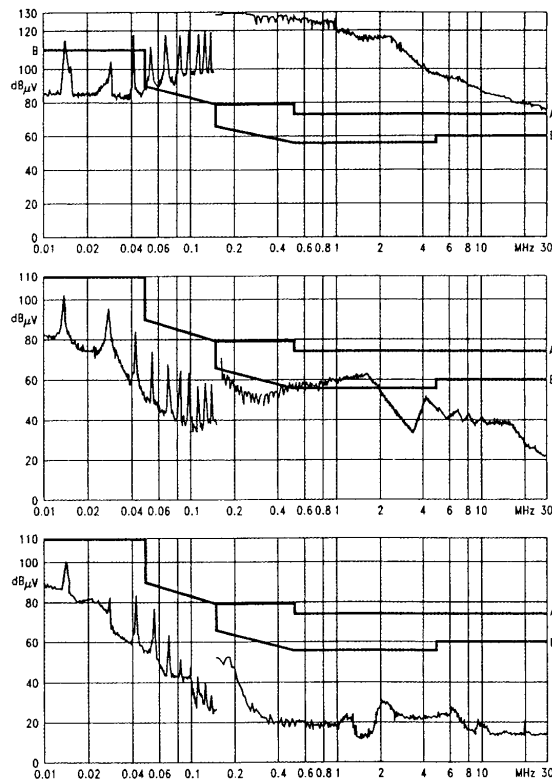
Steuerteil eines I-Umrichters

7 EMV

Die hohen Taktfrequenzen und die entsprechend steilen Schaltvorgänge, verbunden mit hohen Stromstärken verursachen ein breites Störspektrum sowohl auf den Motorleitungen als auch am Netzanschluß. Diese stellen für die steuerungstechnische Umgebung (Sensorik, Rechner, Steuerungen) einen erheblichen Risikofaktor dar. Zudem kommen EMV Vorschriften, in denen die maximalen Störpegel festgelegt sind.

Grundsätzlich wird man Zuleitungen zu Umrichtern und Motoren möglichst in eigenen Trassen verlegen. Darüber hinaus machen die hohen Störpegel und die EMV Vorschriften entsprechende Filterung und auch Abschirmung erforderlich.

}

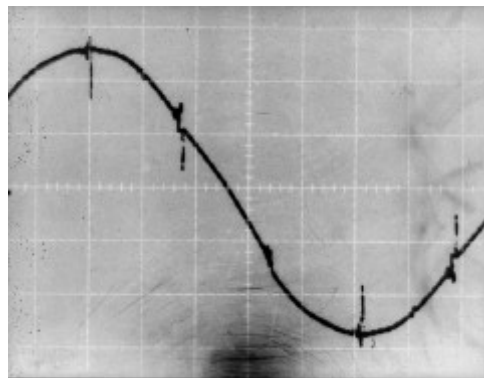


Störspektrum eines 5,5 kVA Frequenzumrichters mit 20 m Motorzuleitung [RS 1/97]

Oben: ohne Filterung

Mitte: Nach Klasse A (Industrie) gefiltert

Unten: Nach Klasse B (Büro und Wohngebiete) gefiltert
(nach DIN EN 50081-1 bzw. -2)



Oszillogramm der Netzspannung in einem Büro, wenn am gleichen Netz (ca. 1 MVA) ein 200 kW Motor über einen I-Umrichter betrieben wird (GG). Diese Spannungsform verursachte Bildstörungen an PC's.

8 Entwicklungstendenzen

Umstellung von analoger auf digitale Technologie:

Sowohl in Bezug auf die Bedienoberfläche als auch die Regelfunktionen wird die Analogtechnik zunehmend von der Digitaltechnik abgelöst.

Der Ersatz analoger durch digitale Technologie bringt aber auch neue Funktionen mit sich:

- Einfache Vernetzung durch standardmäßige Anbindung an Feldbussysteme
- Realisierung autonomer Regelsysteme durch Integration von SPS Funktionen
- Verbesserte Dynamik und Anpassung an spezielle Gegebenheiten

Die "Digitalisierung" der Bedienoberfläche bringt allerdings zumindest bei Einzelantrieben nicht nur Vorteile mit sich. Aus Einsparungsgründen ist oft nur ein spartanisches Siebensegmentdisplay in Verbindung mit einigen Funktionstasten vorgesehen. Die Bedienung und Parametrierung ist meist sehr herstellerspezifisch mit kodierte Funktions- und Fehlermeldungen. Die Bedienungsanleitung sollte also griffbereit sein.

Bei Anlagen mit mehreren Antrieben kommen die Vorteile der Digitalisierung voll zum Tragen: Bei Austausch eines defekten Gerätes erfolgt die Parametrierung in Sekundenschnelle durch die im Leitsystem abgelegten Daten, wodurch die Stillstandszeit minimiert wird und keine Prozeßkenntnisse erforderlich sind.

Durch den Einsatz schneller Mikrokontroller und Signalprozessoren lassen sich neue und effizientere Regelalgorithmen realisieren, wodurch die Regeleigenschaften (Dynamik) der Motoren deutlich verbessert werden. So erobert z.B. der robuste Asynchronmotor immer mehr Einsatzbereiche, die früher dem Gleichstrommotor vorbehalten waren.

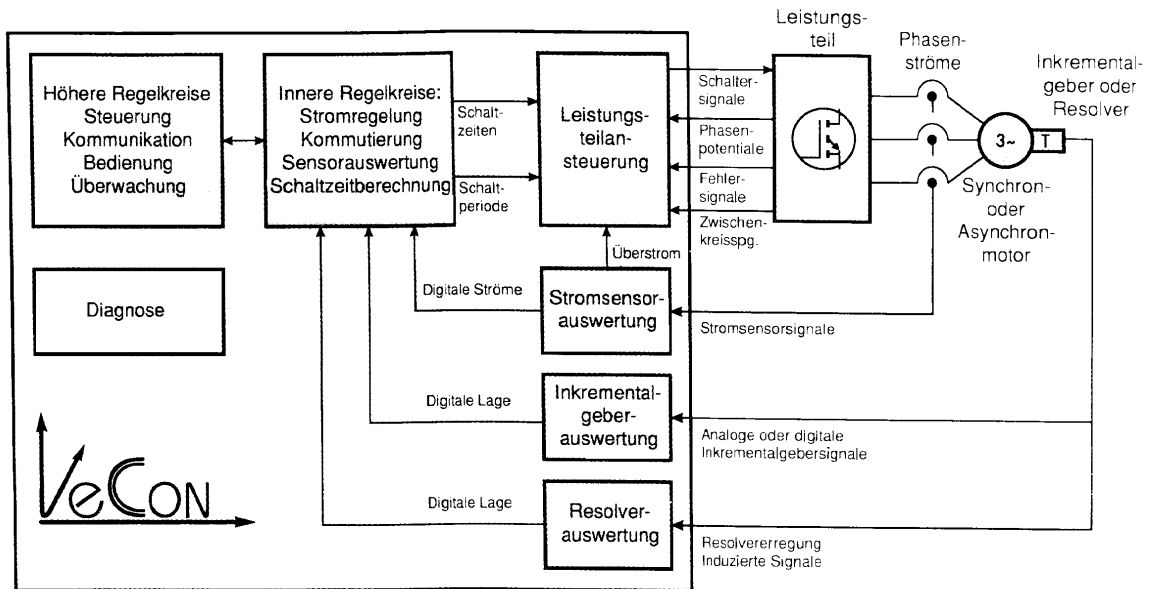
Zusätzlich wird in Zukunft immer mehr Intelligenz in den Umrichter verlagert, wodurch autonome dezentrale Regelsysteme mit integrierten SPS Funktionen entstehen.

Durch die Weiterentwicklung der Leistungshalbleiter, spezielle anwendungsspezifische integrierte Schaltungen sowie die SMD Technik werden die Umrichter trotz verbesserter Leistungsdaten immer wirtschaftlicher. Dadurch werden immer mehr Anwendungsbereiche für geregelte Antriebe erschlossen.

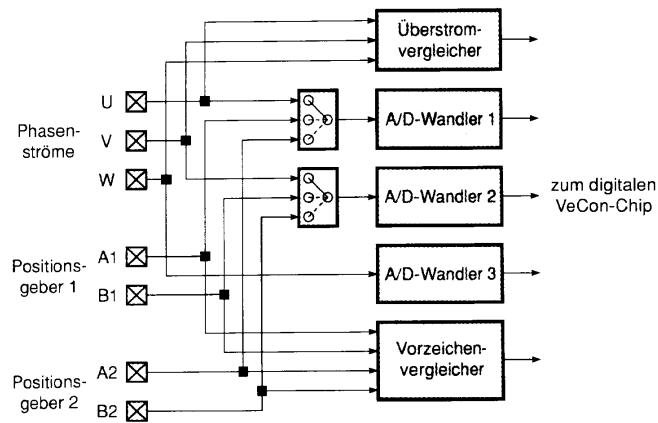
VECON

Zusammenschluß von 40 Firmen im Vecon Projekt, um alle Funktionen eines digital geregelten Antriebes in zwei integrierten Bausteinen zusammenzufassen:

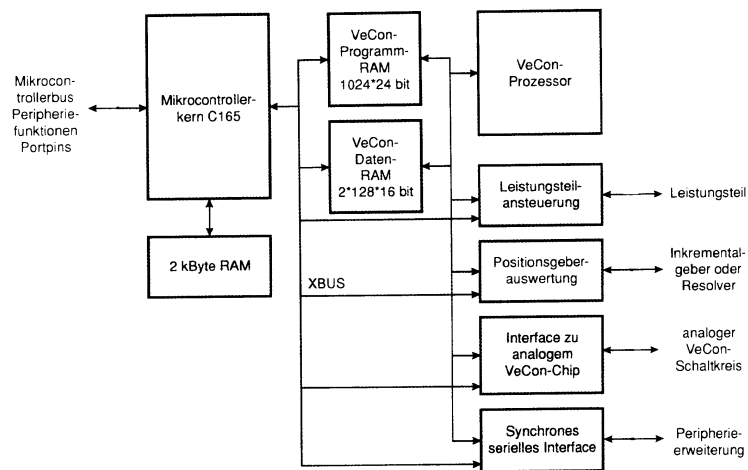
ABB, AEG, Bosch, Berger-Lahr, Danfoss, KEB, Lenze, Lust, Mannesmann, Reliance, Siemens, SEW, Schindler, Thyssen ...



Drehstrom - Antriebssystem



Der analoge Vecon Chip



Der digitale Vecon Chip

Elektronik 21/1996:

Danfoss VLT5000 Serie: 0,75 ... 500 kW

Drehzahlverstellbereich ohne Rückführung: 1:100

Losbrechmoment: 180 %

Haltemoment bei Drehzahl 0: 160 % (mit Rückführung)

Vektorregelung mit arbeitspunktabhängiger Energieoptimierung (5 % Energieeinsparung)

Automatische Motoranpassung bei Stillstand des Motors

Profibus



Asynchronmotor mit integriertem Frequenzumrichter [Danfoss, 11/97]

In Deutschland werden 1996 ca. 4,5 Mio. ASM im Bereich 60 W ... 400 kW installiert, davon drehzahl geregelt:

bis 7,5 kW: 3,5 % bis 400 kW: ca. 14 %

Anbieter: Allen Bradley, Mitsubishi, Yaskawa, Fuji, Danfoss, Siemens, ABB, Toshiba, Hitachi

9 Literaturhinweise

- [1] **Werner Böhm:** Elektrische Antriebe
Vogel, 1989
- [2] **Peter F.Brosch:** Moderne Stromrichterantriebe
Kamprath Reihe, Vogel, 1992
- [3] **Klaus Bystron:** Leistungselektronik
Studienbücher, Hanser, 1979
- [4] **Werner Lücking:** Kurzgefaßte Einführung in die Stromrichterschaltungstechnik Bd. 1
Technische Rundschau, Hallwag 1983
- [5] **Heribert Joachim:** Leistungselektronik, Ein Leitfadens für Einsteiger
Klöckner - Möller
- [6] **Reinhold Paul:** Handbuch der Informationstechnik und Elektronik, Band 6, Teil I+II
Diskrete Halbleiterbauelemente
Hüthig, 1989
- [7] **Dzieia, Künstler, Rabens:** Elektronik IV A, Leistungselektronik, Lehrbuch
HPI Fachbuchreihe, Pflaum, 1990
- [8] **Kiel, Schumacher:** Der Servocontroller in einem Chip (Vecon)
Elektronik 8/1994
- [9] **Achim Scharf:** IGBTs bekommen Konkurrenz durch MCTs
Elektronik 23/1994
- [10] **Bodo Arlt:** MCT im Vergleich mit Mosfet und IGBT
Elektronik 25/1995
- [11] **Boy, Bruckert, Wessels:** Elektrische Steuerungs- und Antriebstechnik
Vogel 1992