

**ET+A**

# **Leistungselektronik und elektrische Antriebe**

## **Kapitel 1 Einführung**

Adrian Omlin

# Inhaltsverzeichnis Kapitel 1

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Leistungselektronik im Überblick .....</b>	<b>4</b>
1.1.1	Gleichstromsteller.....	6
1.1.2	Ungesteuerter Netzgeführter Gleichrichter.....	7
1.1.3	Gesteuerter Netzgeführter Gleichrichter .....	8
<b>1.2</b>	<b>Antriebe im Überblick .....</b>	<b>8</b>

## Inhalt folgender Kapitel

Die weiteren Kapitel werden im Verlaufe des Semesters in Ilias aufgelegt:

Kapitel 2:	Grundlagen Mechanik, nichtsinusförmige Grössen, magnetische Kreise
Kapitel 3:	Die Gleichstrommaschine Funktionsprinzip, Schaltungsarten, Universalmotor
Kapitel 4:	Gleichstromsteller Abwärtsteller, Aufwärtsteller, praktische Beispiele
Kapitel 5:	Fremdgeführte Stromrichter Diodengleichrichter, Thyristorgleichrichter
Kapitel 6:	Leistungshalbleiter
Kapitel 7	Transformator
Kapitel 8:	Drehfeldmaschinen Zeigertransformation, Drehfeld
Kapitel 9:	Die Synchronmaschine
Kapitel 10:	Die Asynchronmaschine
Kapitel 11:	Selbstgeführte Stromrichter
Kapitel 12:	Umrichter und Antriebskonzepte

# 1 Einführung

Leistungselektronik wird im Wesentlichen zur verlustarmen Energieumwandlung zwischen verschiedenen Formen der elektrischen Energie eingesetzt. Dazu gehören beispielsweise Schaltnetzteile, aber auch Umrichter in modernen Lokomotiven.

Elektrische Antriebe wandeln elektrische Energie in mechanische um bzw. umgekehrt. Um die elektrischen Maschinen drehzahlvariabel zu betreiben, werden sie heutzutage meist über leistungselektronische Geräte gespeist.

Wegen der rasanten Verbesserung der Leistungs-Halbleiter und der Signalprozessoren, die zur Steuerung eingesetzt werden, haben sich die Leistungselektronik und die elektrische Antriebstechnik zu einem volkswirtschaftlich und industriell sehr bedeutenden Fachgebiet entwickelt.

Leistungselektronik und moderne Antriebstechnik sind heute praktisch überall anzutreffen:

- im Haushalt für Beleuchtung, Haushaltgeräte, Speisungen...
- in Industriebetrieben für Lüftungen, Aufzüge, unterbrechungsfreie Stromversorgungen, Walzantriebe, chemische Elektrolyse, Schweissanlagen, Heizung/Kühlung, Pumpen und Kompressoren, Werkzeugmaschinen..
- in Verkehrssystemen wie Eisenbahn, Bus und Tram, für Hochseeschiffe, Strassenfahrzeuge mit reinem Elektroantrieb oder mit Hybridtechnik...
- in der Energieversorgung zur Blindleistungskompensation, optimierten Energieübertragung, für Wind- und Solaranlagen, als Turbinenstarter ...

Ein klassisches Beispiel für ein elektrisches Antriebssystem ist ein modernes Triebfahrzeug:



BLS Lokomotive Re 465 mit GTO-Umrichter und Asynchronmotoren, 6.5 MW

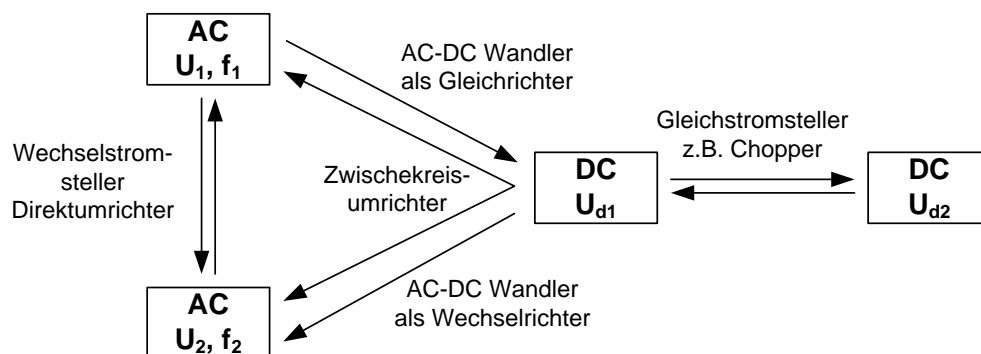
## Ziele:

Der Unterricht und die vorliegenden Unterlagen haben zum Ziel, einen Überblick über das Fachgebiet zu geben. Behandelt werden die Grundsaltungen der Leistungselektronik und die Grundtypen der elektrischen Maschinen mit ihren jeweiligen Eigenschaften. Um nicht nur an der Oberfläche zu bleiben, werden einzelne Themen genauer untersucht.

## 1.1 Leistungselektronik im Überblick

Stromrichter sind leistungselektronische Geräte zur Energieumwandlung zwischen verschiedenen Formen der elektrischen Energie. Sie werden überall dort eingesetzt, wo zwischen der Speisung und einem Verbraucher eine Umformung der Stromart, der Spannung oder der Frequenz erforderlich ist.

Die Rechtecke im untenstehenden Bild sind Energiequellen oder –senken. AC bezeichnet dabei Wechselgrößen (Alternativ Current), DC bezeichnet Gleichgrößen (Direct Current).



Die gebräuchlichsten Bezeichnungen beziehen sich auf die Umformungsart

Gleichrichter:	Wechselstrom ( $U, f$ )	→	Gleichstrom ( $U_d$ )
Wechselrichter:	Gleichstrom ( $U_d$ )	→	Wechselstrom ( $U, f$ )
Gleichstromsteller:	Gleichstrom ( $U_{d1}$ )	→	Gleichstrom ( $U_{d2}$ )
Wechselstromsteller:	Wechselstrom ( $U_1, f_1$ )	→	Wechselstrom ( $U_2, f_2$ )
Umrichter:	Wechselstrom ( $U_1, f_1$ )	→	Wechselstrom ( $U_2, f_2$ )

Bevor leistungsfähige Halbleiter zur Verfügung standen, wurden anstelle von leistungselektronischen Stromrichtern rotierende Umformer eingesetzt. Sie bestehen aus Maschinengruppen. Ein Gleichrichter kann z.B. mit einem Gleichstromgenerator, der mechanisch mit einer Drehfeldmaschine gekoppelt ist, realisiert werden. Auch wurden in der Mitte des letzten Jahrhunderts Quecksilberdampfgleichrichter und Kontaktgleichrichter gebaut. Diese sind praktisch gänzlich verschwunden.

Ungesteuerte Gleichrichter wandeln lediglich die Stromart, besitzen aber ein festes Übersetzungsverhältnis und ermöglichen den Leistungsfluss nur in einer Richtung. Gesteuerte Gleichrichter sowie alle anderen Arten von Stromrichtern sind stetig steuerbar und gestatten bei entsprechender Ausführung auch die Umkehr des Leistungsflusses. Sie eignen sich deshalb sehr gut als elektrisches Stellglied in Regelkreisen.

Stromrichter werden für Leistungen bis über 100 MW gebaut. Deshalb ist es wesentlich, dass sämtliche Schaltungen nahezu verlustfrei arbeiten (Wirkungsgrad, Abwärme). Ein Betrieb nach der Art von Leistungsverstärkern in der Analogtechnik kommt deshalb nicht in Frage.

Die verwendeten Halbleiter arbeiten nur in den beiden Betriebszuständen „ganz leitend“ und „ganz sperrend“. Sie arbeiten also wie Schalter. Vorgänge in Stromrichtern werden deshalb als Abfolge von Schaltungsvorgängen betrachtet. Über diese kann der Mittelwert der Ausgangsgrösse beeinflusst werden. Dies kann entweder über ein „Zerhacken“ der Eingangsgrösse erfolgen (Chopper) oder über ein „Anschnneiden“ (Phasenanschnittsteuerung). Im ersten Fall gibt der Stromrichter selbst den Takt vor (selbstgeführter Stromrichter), im zweiten wird der Takt von aussen, z.B. durch die Netzfrequenz vorgegeben (fremdgeführte Stromrichter).

Die verwendeten Bauelemente sind Dioden, Thyristoren und Leistungstransistoren. Nachfolgend sind zur Einführung einige Grundprinzipien sowie die zugehörigen Anwendungsgebiete zusammengestellt.

### 1.1.1 Gleichstromsteller

Der Gleichstromsteller basiert auf dem 'Zerhacken' und wird deshalb oft auch als Chopper bezeichnet. Das Grundprinzip geht aus folgender Abbildung hervor:

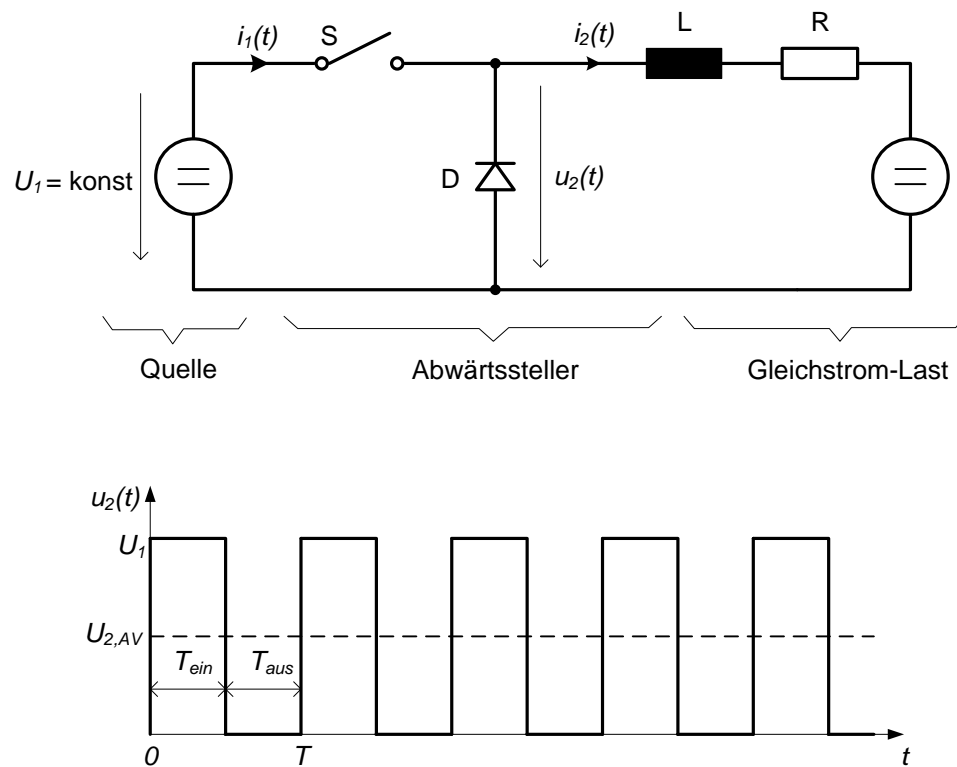


Abb. 1-1: Gleichstromsteller.

Wenn der Schalter eingeschaltet ist, liegt die Eingangsspannung  $U_1$  über der sperrenden Diode und es gilt  $u_2 = U_1$ . Während der übrigen Zeit ist  $u_2 = 0$ . Die Freilaufdiode ist notwendig, weil der Strom durch die Induktivität nicht plötzlich null werden kann. Sie übernimmt den Strom, wenn der Schalter ausgeschaltet ist. Durch die Wahl des Tastverhältnisses  $T_{\text{ein}}/T$  kann der Mittelwert der Ausgangsspannung  $U_{2,AV}$  der Spannung  $u_2$  eingestellt werden.

$$U_{2,AV} = \frac{T_{\text{ein}}}{T} \cdot U_1$$

DC-Steller werden unter anderem eingesetzt in Gleichstrombahnen, Trams, zur Speisung von Gleichstrommotoren aus einem Gleichspannungsnetz, in Netzgeräten etc.

In dieser Schaltung muss der Halbleiterschalter sowohl ein- als auch abschaltbar sein. Ausserdem wird der Takt durch die Ansteuerung der Schaltung selbst vorgegeben. Man spricht daher von einer selbstgeführten oder zwangskommutierten Schaltung. Da Spannung mal Strom Leistung ergibt und die Verluste in einer Schaltung möglichst tief sein sollen, werden die Halbleiter in der Leistungselektronik wie Schalter

betrieben: bei offenem Schalter fließt kein Strom und die Verluste im Halbleiter sind null. Bei geschlossenem Schalter fließt Strom, aber die Spannung ist (nahezu) null. So entstehen zumindest theoretisch keine Verluste. In der Realität ist natürlich der Spannungsabfall über dem Halbleiter im eingeschalteten Zustand nicht ganz null und es entstehen Leitverluste. Auch beim Schalten der Halbleiter entstehen Verluste. Durch korrekte Auslegung muss sichergestellt werden, dass der Halbleiter in keinem Betriebszustand unzulässig erwärmt wird.

### 1.1.2 Ungesteuerter Netzgeführter Gleichrichter

Untenstehendes Bild zeigt eine Gleichrichterschaltung mit einphasiger Speisung. Von den beiden Diodenpaaren D1/D3 und D2/D4 übernimmt jeweils dasjenige die Stromführung, an welchem der höhere Momentanwert der Wechselspannungen  $u_N$  anliegt. Auf diese Weise wird der Last eine wellige Gleichspannung zugeführt. Der Gleichspannungsmittelwert  $U_d$  steht zur speisenden Spannung  $u_N$  in einem festen Verhältnis (unter Vernachlässigung von Spannungsabfällen), da keine direkte Einflussmöglichkeit auf den Halbleiter möglich ist. Man spricht deshalb von ungesteuertem Gleichrichter.

Gleichrichter lassen sich überall einsetzen, wo aus Wechselspannung eine Gleichspannung gemacht werden soll: Netzgeräte, Speisung von Gleichstrombahnen, Elektrolyseanlagen. Bei grösseren Leistungen werden fast durchwegs dreiphasige Anlagen verwendet.

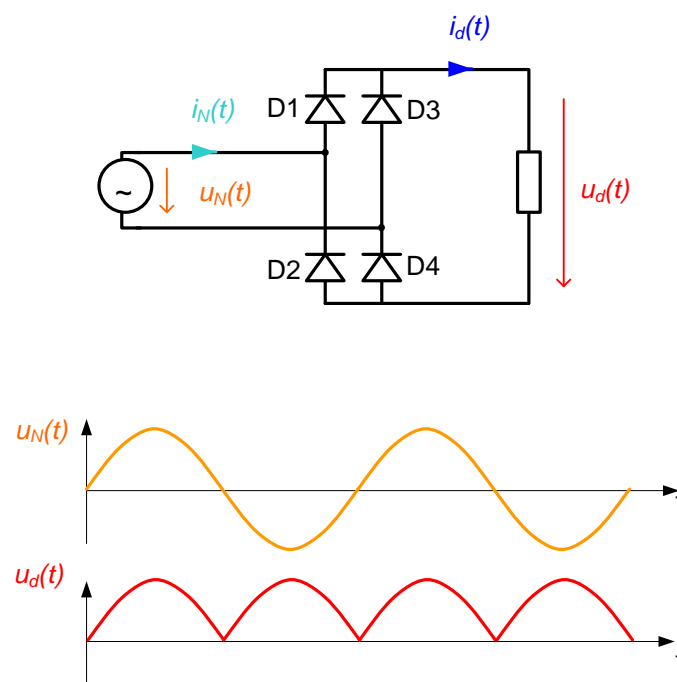


Abb. 1-2: Ungesteuerter Gleichrichter mit Dioden.

Da die Netzspannung die Schaltzeitpunkte der Halbleiter vorgibt, spricht man von Fremd- bzw. Netzgeführten Schaltungen.

### 1.1.3 Gesteuerter Netzgeführter Gleichrichter

Werden anstelle der Dioden Thyristoren eingesetzt, erhält man einen gesteuerten Gleichrichter. Der Thyristor kann über den Gate-Anschluss ein-, aber nicht ausgeschaltet werden. Einmal eingeschaltet, verhält er sich wie eine Diode.

Die Thyristoren sperren solange, bis sie gezündet werden. Einmal gezündet, leitet das betreffende Thyristorpaar bis zum nächsten Nulldurchgang des Stromes. Im hier gezeigten Fall einer Widerstandslast entspricht das dem Nulldurchgang der Spannung. In der nächsten Halbwelle wiederholt sich der Vorgang beim anderen Thyristorpaar. Die Zündung erfolgt im stationären Zustand bei allen Halbperioden immer bei der gleichen Phasenlage („Phasenanschnittsteuerung“), welche den Mittelwert der Ausgangsspannung bestimmt. Als Ausgangsspannung erhält man „angeschnittene“ Sinushalbwellen. Durch die Wahl des Zündwinkels lässt sich der Mittelwert der Ausgangsspannung stetig variieren. So lässt sich eine variable Gleichspannung erzeugen.

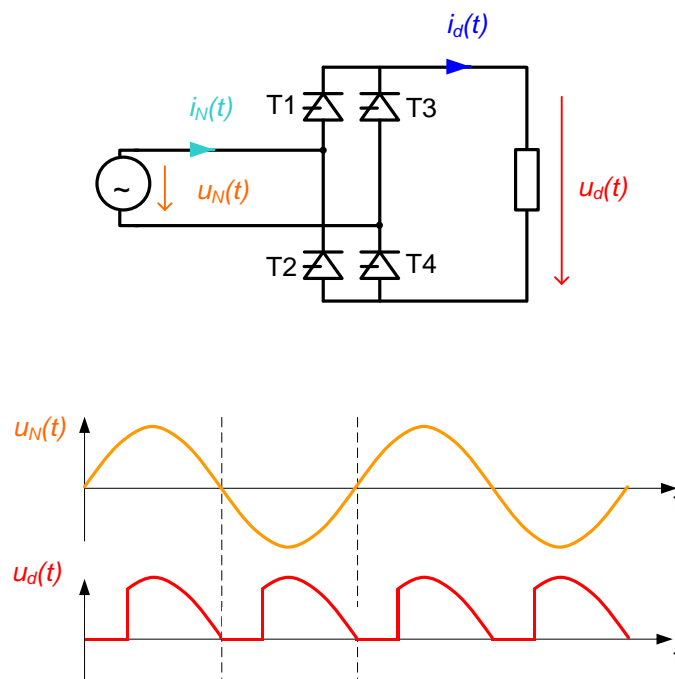


Abb. 1-3: Gesteuerter Gleichrichter mit Thyristoren.

Da auch hier die Schaltfrequenz der Halbleiter durch das Netz vorgegeben ist, gehört auch der gesteuerte Gleichrichter in die Familie der Netzgeführten Schaltungen.

Anwendungen: Betrieb von Gleichstrommotoren, Gleichstromerregung des Polrades bei Synchronmaschinen, Speisung grosser Magnete.

## 1.2 Antriebe im Überblick

Durch die rasante Verbesserung von Halbleiterbauelementen werden leistungselektronische Geräte immer mehr auch zur Speisung von elektrischen Maschinen ein-



gesetzt. Solche Antriebssysteme haben gegenüber direkt am Netz betriebenen Motoren den Vorteil, dass sich die Ausgangsparameter über den ganzen Betriebsbereich kontinuierlich, genau und verlustarm regeln lassen. Wie die Leistungselektronik an sich, sind auch elektrische Antriebssysteme ein Entwicklungs- und Wachstumsgebiet, da heute erst ca. 10 bis 20% der Antriebe drehzahlvariabel sind.

Eine einstell- oder regelbare Drehzahl wird oft zur Verkleinerung des Energieverbrauchs verwendet. Wird beispielsweise ein grosser Lüfter mit der jeweils notwendigen und nicht immer mit der maximalen Drehzahl betrieben, hat das eine deutliche Energieeinsparung zur Folge.

Der wichtigste Trend der letzten Jahre war der Systemgedanke. Nicht einzelne Komponenten stehen im Vordergrund, sondern das System „Elektrischer Antrieb“. Die Komponenten müssen in ein System eingebunden werden. Die neuen Kompaktantriebe (Umrichter, Maschine und Getriebe als Einheit) bestätigen diesen Trend.

Mit dem in Kapitel 1.1.3 kurz vorgestellten gesteuerten Gleichrichter lässt sich beispielsweise ein Gleichstrommotor mit veränderlicher Spannung und damit mit veränderlicher Drehzahl betreiben. Da ein Gleichstrommotor einen Kollektor und Bürsten hat, die mechanischer Abnutzung unterliegen, wird er immer mehr durch Drehfeldmaschinen verdrängt. Folgender Graph veranschaulicht die Entwicklung.

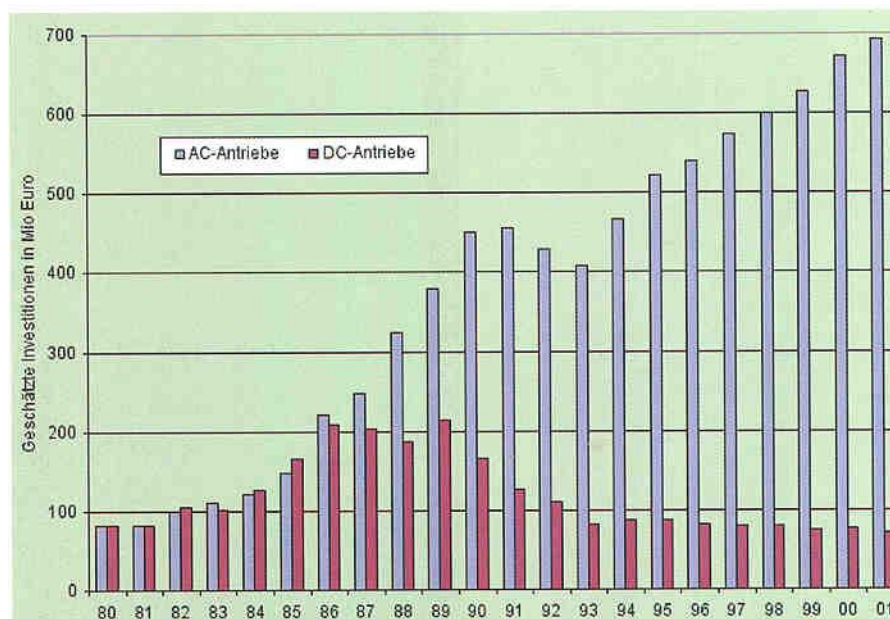


Abb. 1-4: Entwicklung von AC- und DC-Antrieben.