

Grundlagen elektrische Antriebe

Bachelor EIT 6. Semester

Kapitel 4a: Leistungselektronik für Gleichstrommaschinen

Prof. Dr.-Ing. A. Kleimaier

Kapitel 1: Einführung – Beispiele, Anwendungsgebiete

Kapitel 2: Grundlagen Magnetischer Kreis

3: Aufbau und Betriebsverhalten der Gleichstrommaschine

4: Gesteuerter Betrieb der Gleichstrommaschine



4a: Leistungselektronik für Gleichstrommaschinen

5: Drehzahl geregelter Gleichstromantrieb: Systemanalyse

6: Elektrofahrzeuge

Kapitel 7: Grundlagen Drehfeldmaschinen

8: Aufbau und Betriebsverhalten der Asynchronmaschine

9: Gesteuerter Betrieb der Asynchronmaschine

10: Betriebsarten und drehzahlvariabler Betrieb der ASM

10a: Leistungselektronik für Drehfeldmaschinen

Kapitel 11: Aufbau und Betriebsverhalten Synchronmaschine

12: Aktuelle Entwicklung: neue Maschinenvarianten

13: Ansteuerung und Systemverhalten BLDC-Motor

Grundverständnis
elektrischer Antrieb

- Gleichstrommaschine
- Steuerung & Regelung
- Gleichrichter, DC-Steller

Drehfeldmaschinen:

- Drehfeldwicklung
- Asynchronmaschine
- Wechselrichtertechnik

Synchronmaschine:

- fremderregte SM
- PMSM, MDM, BLDC-Motor

Inhalt Kapitel 4a : Leistungselektronik für Gleichstrommaschinen

4a.1 Übersicht

4a.2 Netzgeführte Stromrichter

4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

4a.4 Leistungshalbleiter

Hinweis zur Leistungselektronik:

Ansteuerung bzw. Stromregelung der GM → Grundlagenwissen über

- Umrichtertopologien
- Steuergesetze
- Modulationsverfahren (Kap. 5) erforderlich.

Aufgabenstellung:

Die Ankerspannung muss verstellbar sein, um die Drehzahl einer GM einstellen zu können bzw. um den Ankerstrom regeln zu können. Bei Betrieb am Drehstromnetz wird eine Gleichrichterschaltung benötigt.

Klassifizierung für Gleichstromantriebe:

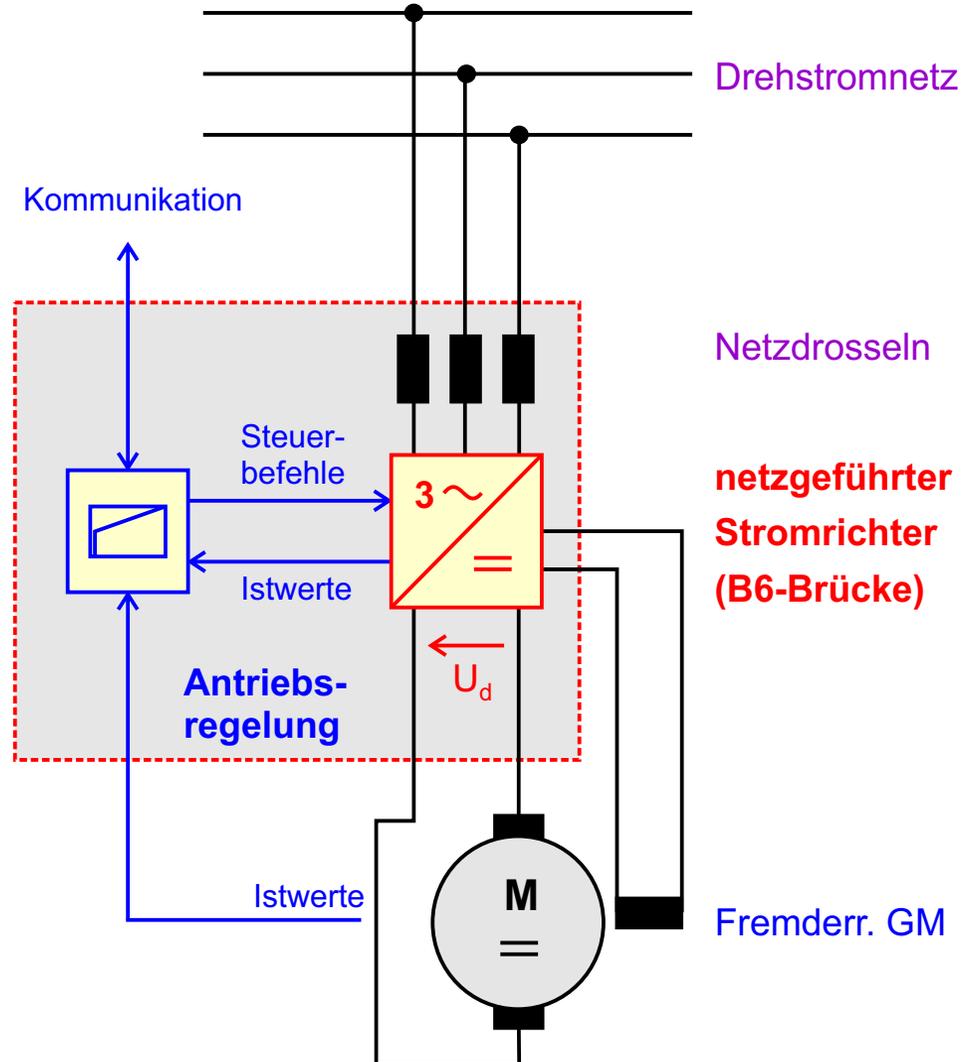
- Drehstromnetz → steuerbarer Gleichrichter → GM: *netzgeführte Stromrichter, z.B. B6c-Brücke*
- Gleichspannungsquelle → Spannung verstellen → GM: *selbstgeführte Stromrichter, z.B. Tiefsetzsteller*

Eigenes Fachgebiet innerhalb der Elektrotechnik

Vorlesung dazu: Leistungselektronik, Ba EIT 7. Semester

4a.2 Netzgeführte Stromrichter

Stromregelter Antrieb am Drehstromnetz



400V-Drehstromnetz: $U_{d,max} = 540V$

GM im Motorbetrieb:
Gleichrichter mit verstellbarer
Ausgangsspannung U_d

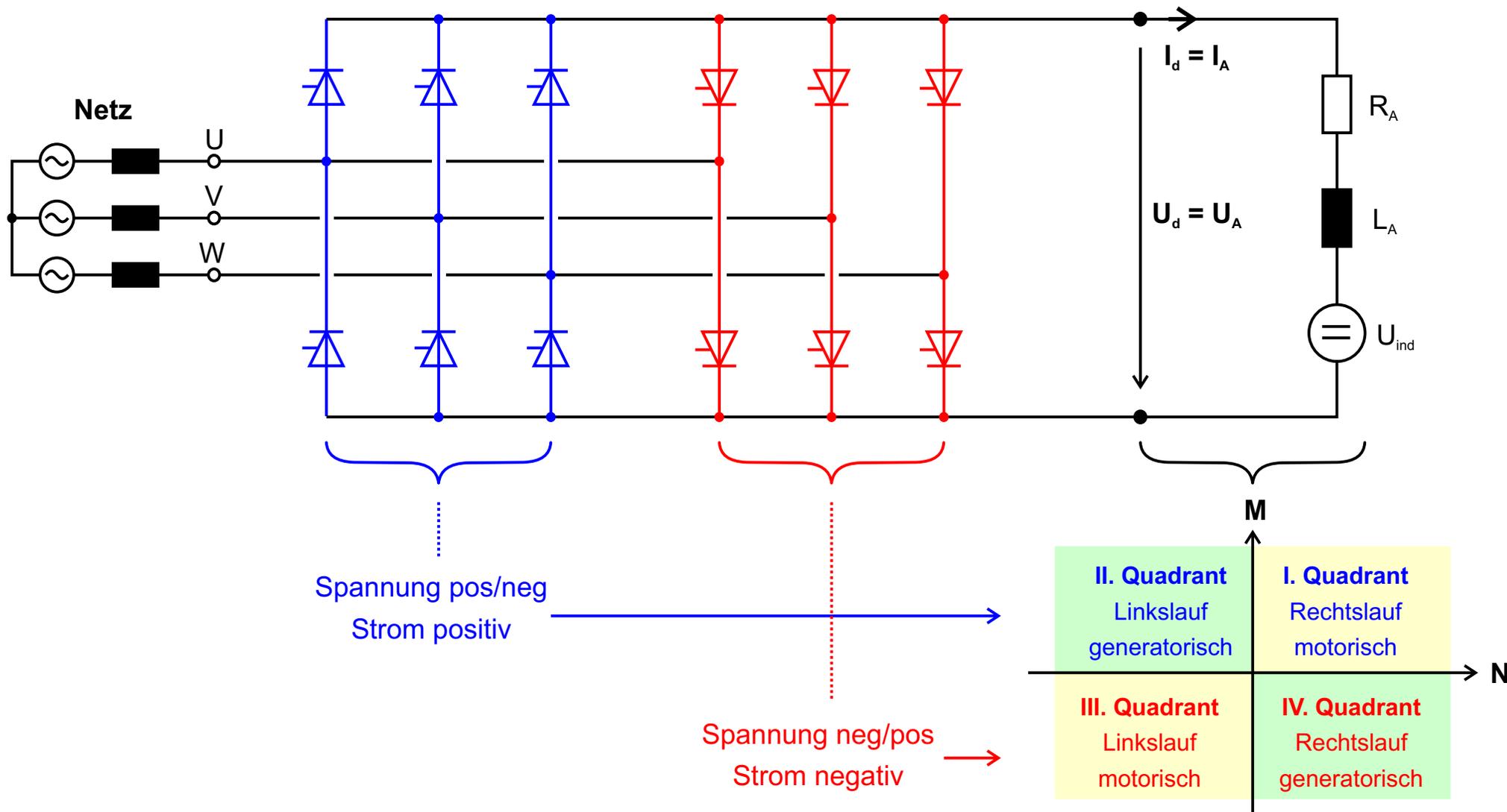
GM im Generatorbetrieb:
Wechselrichter mit variabler
Eingangsspannung U_d



Bild: A. Kleimaier, Stromrichter im Labor el. Antriebe

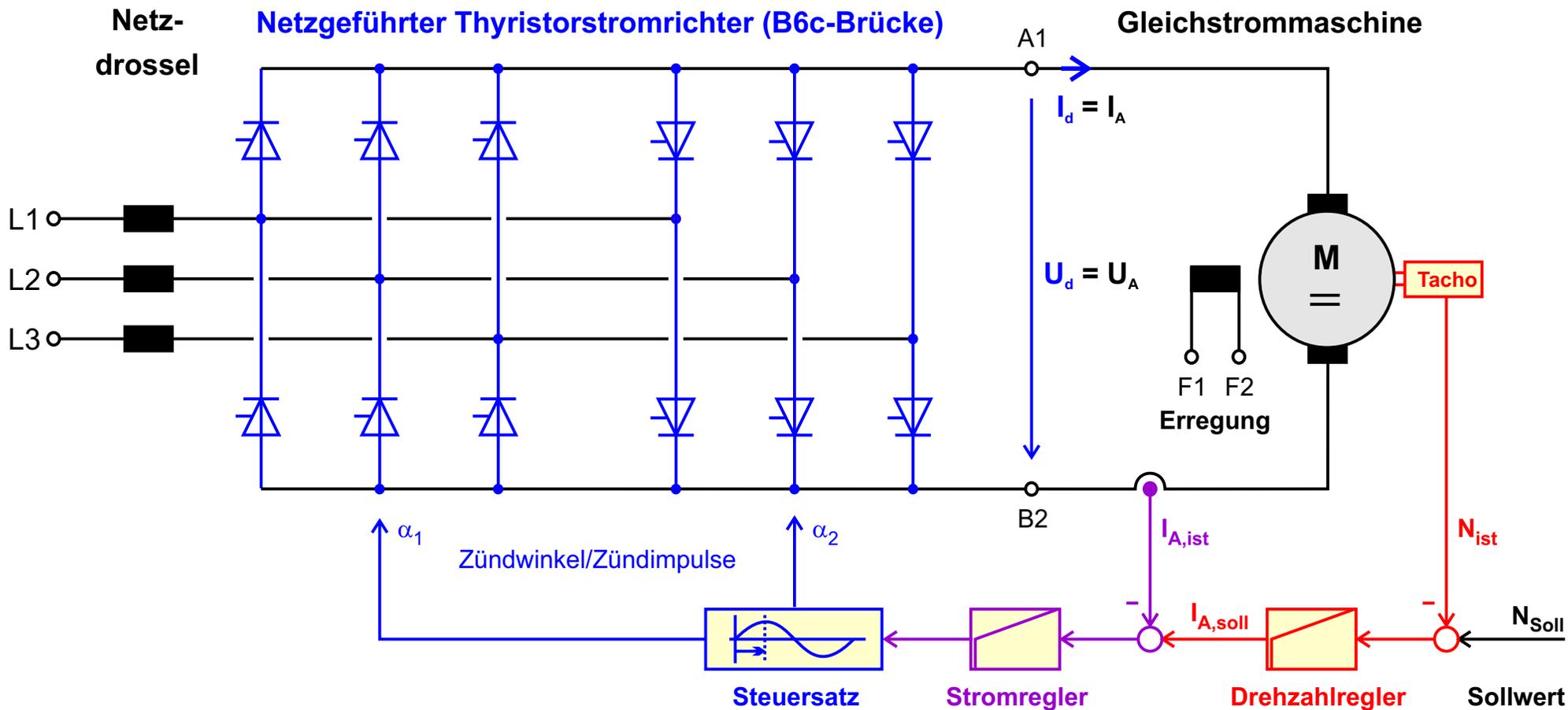
4a.2 Netzgeführte Stromrichter

Standard: Netzgeführter Thyristorumrichter mit 2 B6c-Brücken



4a.2 Netzgeführte Stromrichter

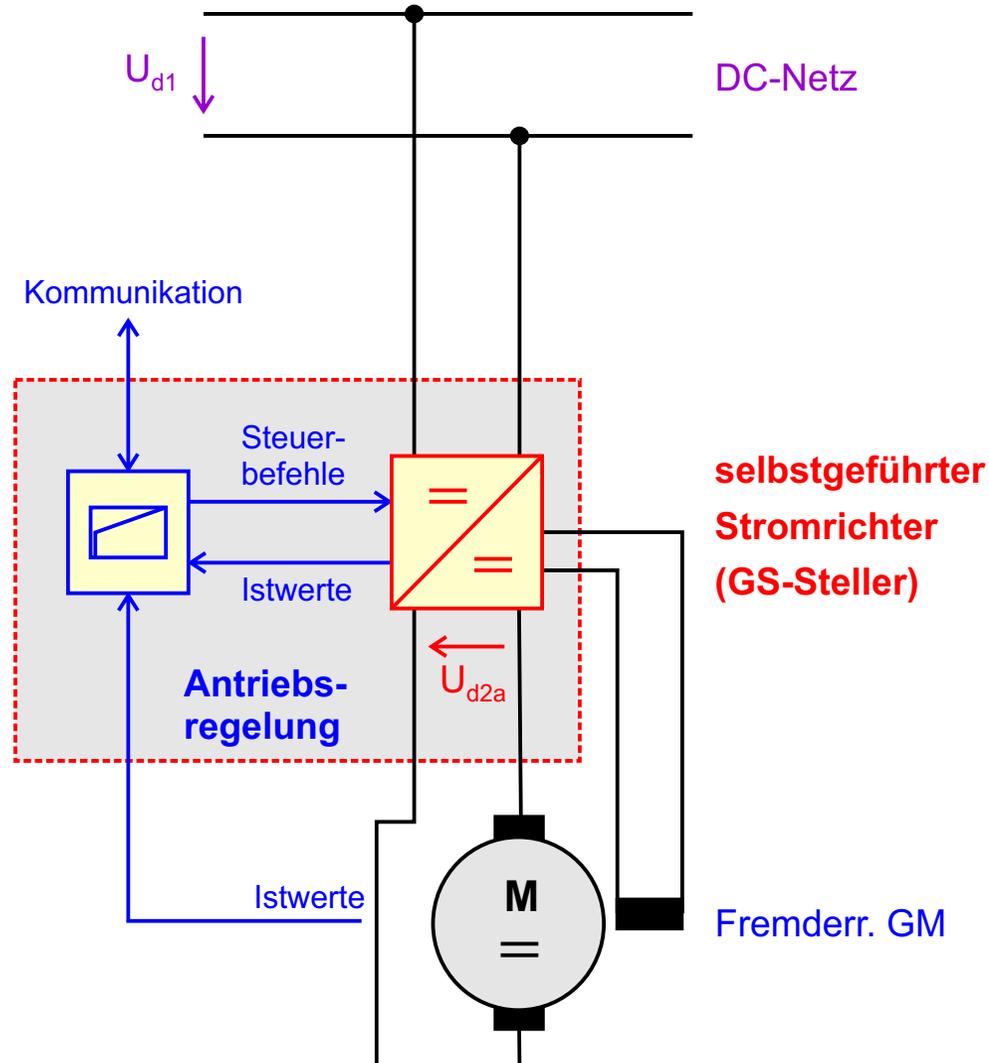
Drehzahl geregelter Gleichstromantrieb



Standardgeräte: Stromregelung (Drehmoment) mit überlagertem Regelkreis für Ausgangsspannung U_d oder Drehzahl N . Mehr dazu in Kapitel 5.

4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

Stromgeregelter Antrieb an Gleichspannungsquelle



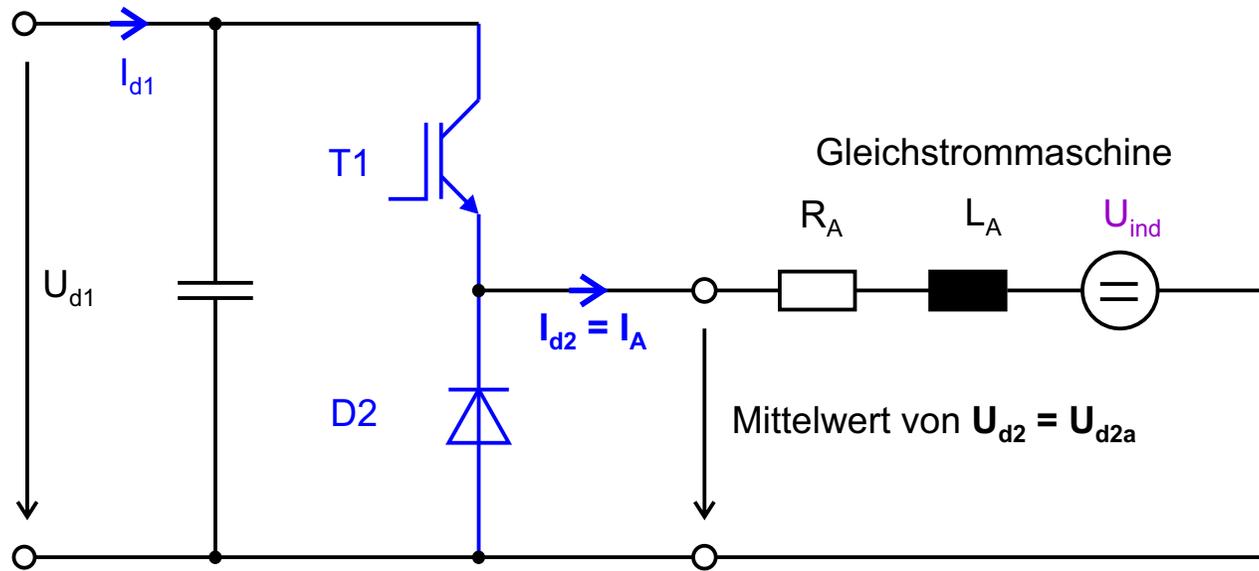
prinzipiell: $U_{d1} \geq U_{d2a}$

GM im Motorbetrieb:
Tiefsetzer mit verstellbarer
Ausgangsspannung U_{d2a}

GM im Generatorbetrieb:
Hochsetzer mit variabler
Eingangsspannung U_{d2a}

4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

Tiefsetzsteller



Eingangsspannung: U_{d1}

Ausgangsspannung: U_{d2a}

$$U_{d1} \geq U_{d2a}$$

$$\text{Aussteuergrad } a = \frac{T_{\text{Ein}}}{T_T}$$

$$a = 0..1$$

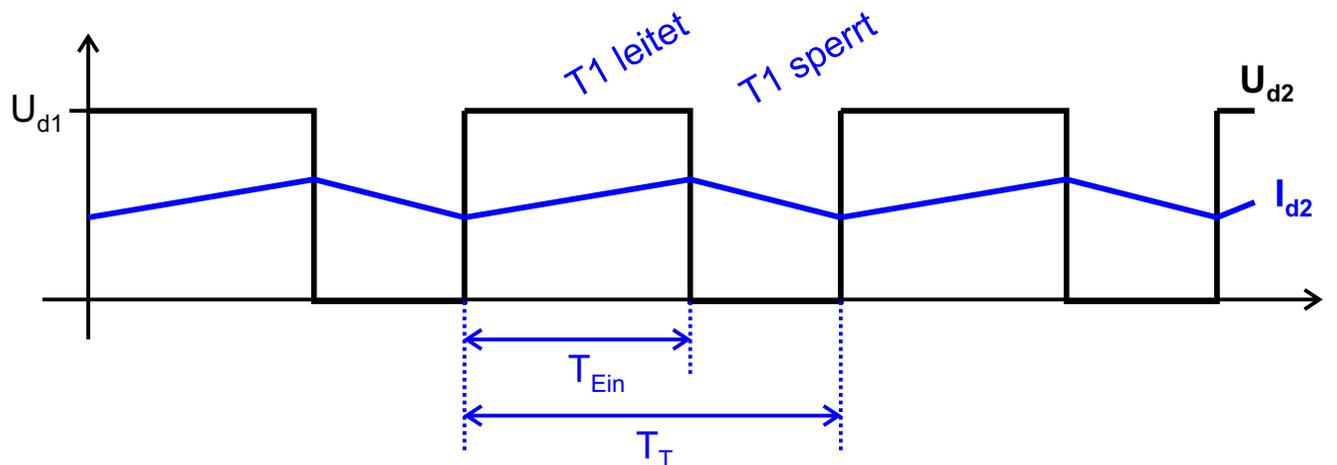
$$U_{d2a} = a \cdot U_{d1}$$

$$\text{Schaltfrequenz } f_T = \frac{1}{T_T}$$

einige kHz .. einige 10kHz

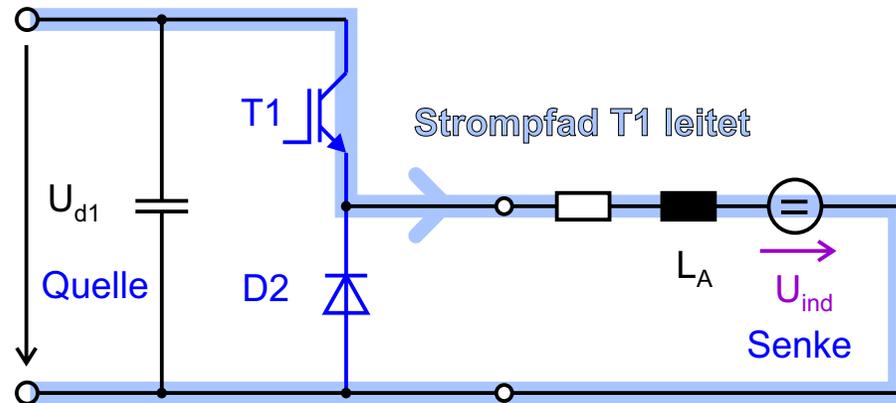
Ausgangstrom I_{d2}

wird an L_A glättet



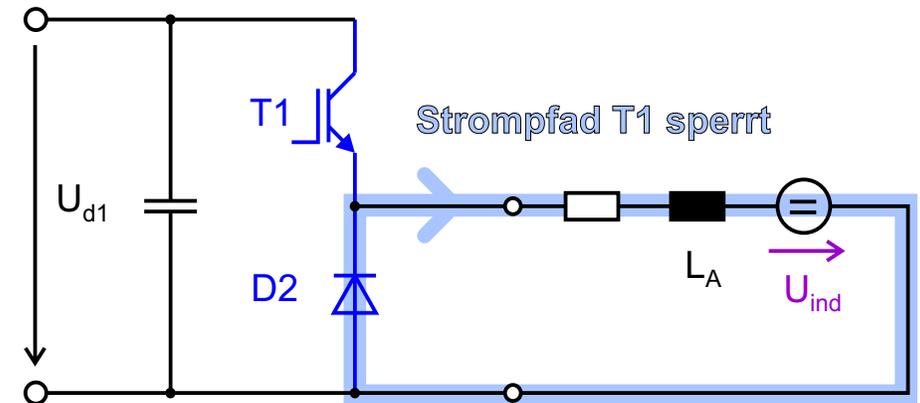
4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

Tiefsetzsteller



Zustand 1: Transistor T1 ist eingeschaltet

Die Spannungsquelle U_{d1} treibt den Strom durch T1 in die Maschinenwicklung. Da U_{d1} (Quelle) größer als U_{ind} (Senke) ist, beginnt der Strom zu steigen. Die Induktivität L_A begrenzt diesen Stromanstieg mit ihrer induzierten Gegenspannung. Da T1 immer nur kurzzeitig ein- und dann wieder ausgeschaltet wird, entsteht kein Überstrom.

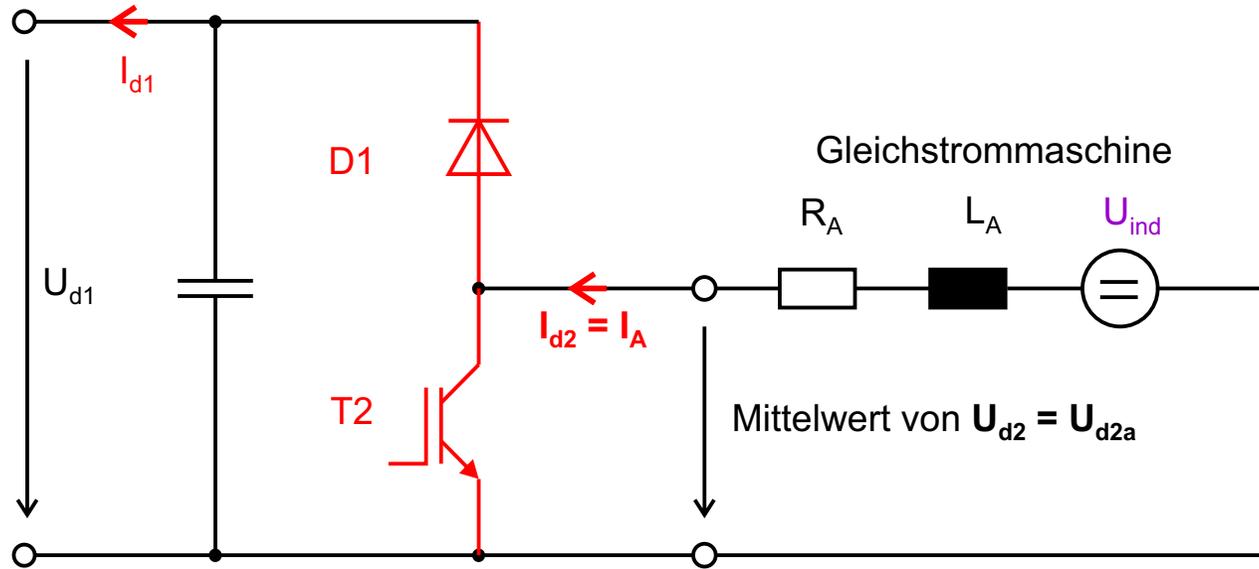


Zustand 2: Transistor T1 ist ausgeschaltet

Nun fließt der Strom über den Freilaufzweig, der durch die Diode D2 zur Verfügung gestellt wird. Wenn T1 ausgeschaltet wird, kommutiert der Strom automatisch auf den alternativen Strompfad über D2 (sonst: Lichtbogen!). Die Spannungsquelle U_{ind} ist dadurch quasi kurzgeschlossen, jedoch begrenzt auch hier wieder L_A den Stromabfall, so dass der Strom erstmal positiv bleibt. (Eigentlich würde U_{ind} ja dafür sorgen, dass der Strom negativ wird. Das würde auch passieren, wenn T1 dauerhaft ausgeschaltet bleiben würde)

4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

Hochsetzsteller

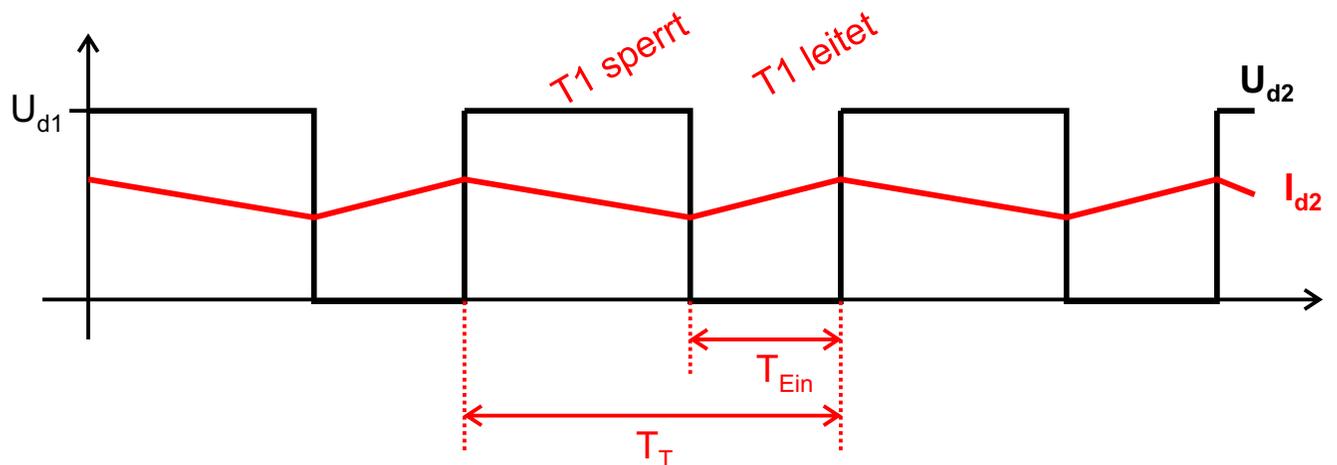


Eingangsspannung: U_{d2a}

Ausgangsspannung: U_{d1}

$$U_{d1} \geq U_{d2a}$$

Energie fließt von der kleineren Spannung U_{ind} gegen den Potentialhub zur größeren Spannung U_{d1}

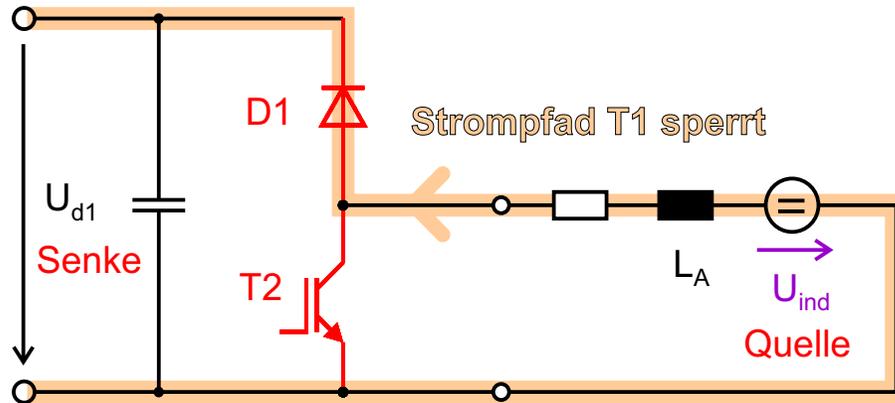


Potentialhub wird an L_A erzeugt, wenn T1 sperrt:

$$U_L = L_A \cdot \frac{dI_A}{dt}$$

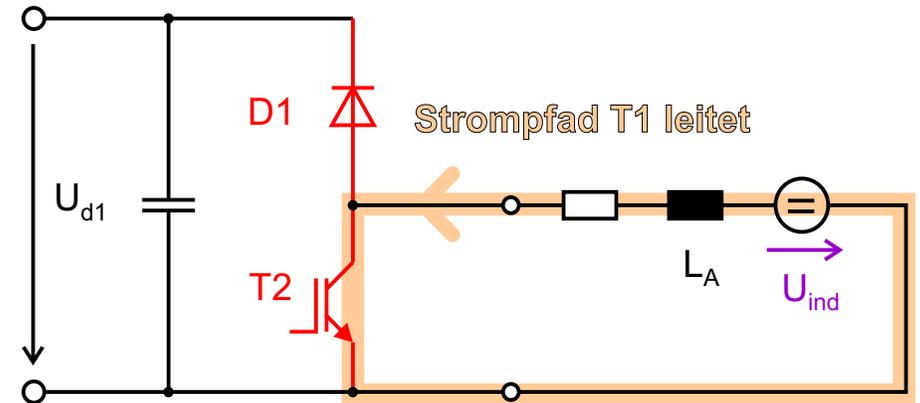
4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

Hochsetzsteller



Zustand 1: Transistor T1 ist ausgeschaltet

Die Spannungsquelle U_{ind} (Quelle) treibt den Strom mit Hilfe der Induktivität L_A , die mit ihrer gespeicherten Energie $\frac{1}{2} \cdot L I^2$ bzw. ihrer Gegenspannung den Stromfluss aufrecht erhalten will (sonst: Lichtbogen!), gegen die Potentialdifferenz "nach oben" in die Spannungsquelle U_{d1} (Senke). Auch hier ist wieder der Freilaufzweig mit D1 der Ersatzstrompfad für den Fall, dass T2 ausgeschaltet wird.

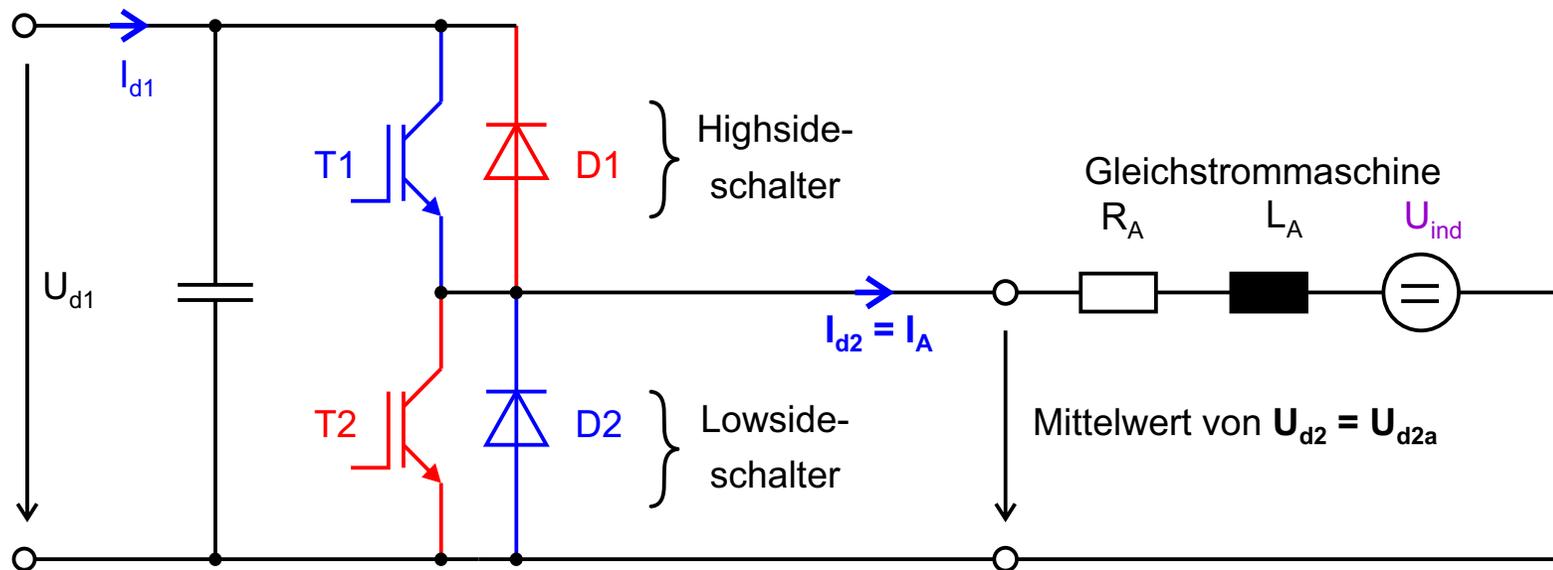


Zustand 2: Transistor T1 ist eingeschaltet

Nun wird die Spannungsquelle U_{ind} durch T2 aktiv kurzgeschlossen. Das klingt gefährlich, ist es aber nicht, solange T2 nur kurzzeitig eingeschaltet wird. Denn die Induktivität L_A begrenzt wieder den Stromanstieg und wird als Energiespeicher mit $\frac{1}{2} \cdot L I^2$ aufgeladen.

4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

Tiefsetzer + Hochsetzer = Halbbrücke für 2-Quadrantenbetrieb



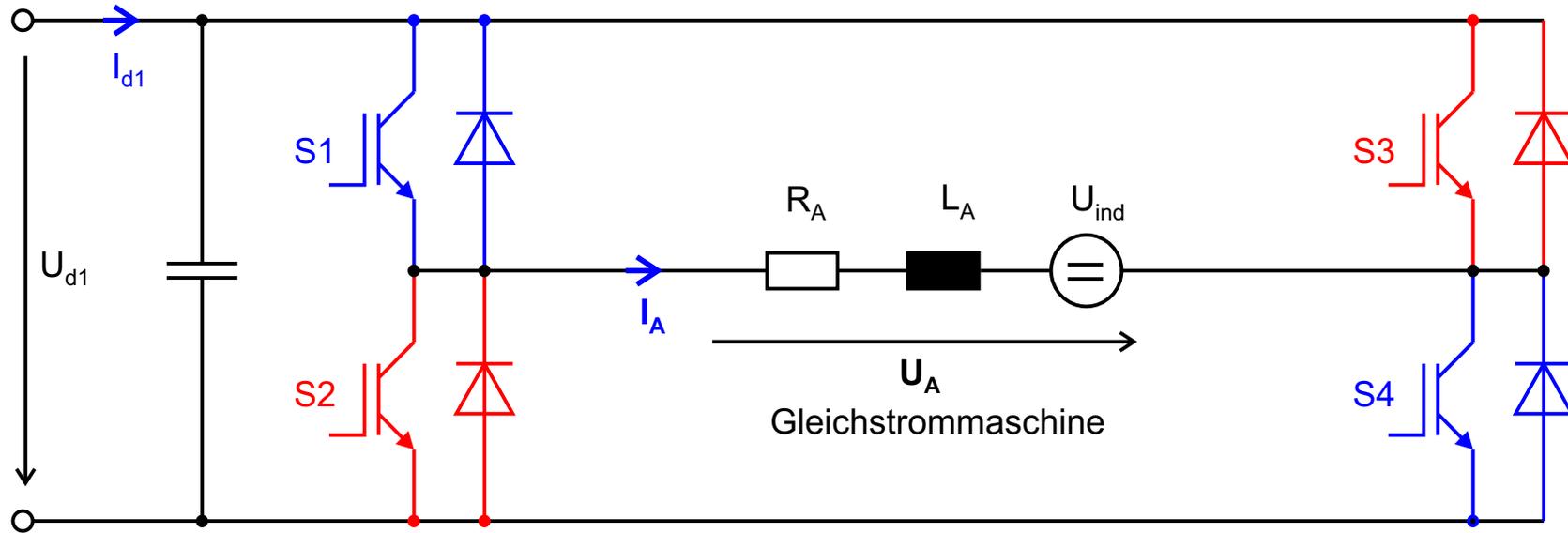
- T1 und T2 werden alternierend geschaltet \Rightarrow Strom fließt immer im gerade eingeschalteten Zweig
- Die Stromrichtung stellt sich in Abhängigkeit von Aussteuergrad und Drehzahl ein:
- $U_{d2a} = a \cdot U_{d1}$ und $U_{ind} \sim N$

$U_{d2a} > U_{ind} \Rightarrow I_{d2}$ positiv, Tiefsetzbetrieb \Rightarrow GM im Motorbetrieb

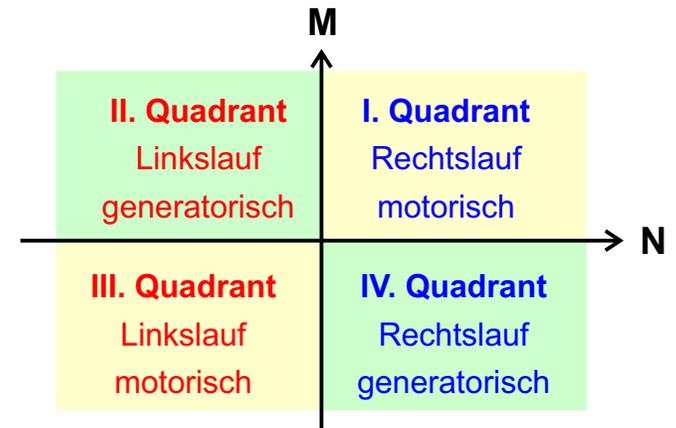
$U_{d2a} < U_{ind} \Rightarrow I_{d2}$ negativ, Hochsetzbetrieb \Rightarrow GM im Generatorbetrieb

4a.3 Selbstgeführte Stromrichter

2 Halbbrücken = H-Brücke für 4-Quadrantenbetrieb



S1	S2	S3	S4	Resultierende Spannung
ein	aus	aus	ein	$U_A = +U_{d1}$ pos. Diagonale
aus	ein	aus	ein	$U_A = 0$ Freilauf
aus	ein	ein	aus	$U_A = -U_{d1}$ neg. Diagonale
ein	aus	ein	aus	$U_A = 0$ Freilauf



4a.4 Leistungshalbleiter

Netzgeführte Stromrichter:



Leistungsdiode
Vorwärtsbetrieb: leitet
Rückwärtsbetrieb: sperrt

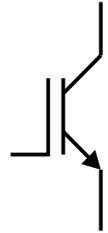


Thyristor
kann auch im Vorwärtsbetrieb sperren
und verhält sich nach dem Einschalten
("Zünden") wie eine Diode

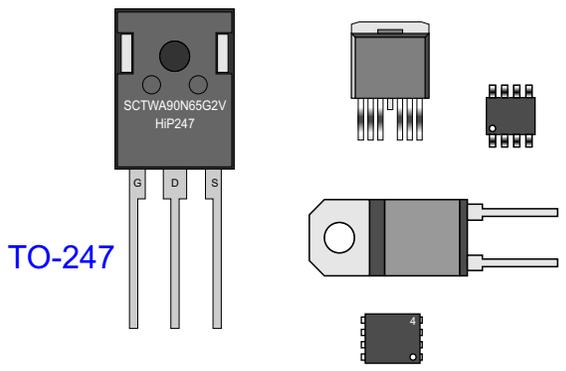
Selbstgeführte Stromrichter:



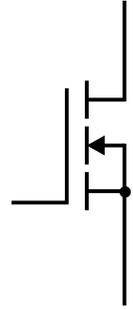
Leistungsdiode
wird als Freilaufdiode verwendet
daher auch: "Inversdiode"



IGBT
Insulated Gate Bipolar Transistor
kann aktiv ein- und ausgeschaltet werden



Bauformen gehäuseter Einzeltransistoren
und Dioden: "diskrete Bauelemente".
Leistungsmodule für größere Ströme
siehe Kapitel 10a.



MOSFET
Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
kann aktiv ein- und ausgeschaltet werden
Varianten: Silizium Mosfet, SiC-Mosfet