

Vorlesung Elektrische Maschinen und Stromrichter

WS 2019/20

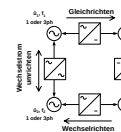
Elektrotechnisches Institut (ETI) – Leistungselektronische Systeme



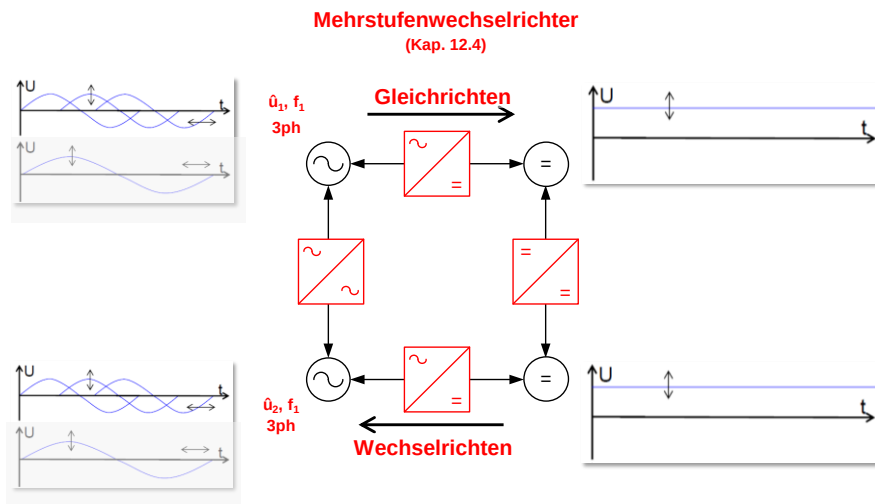
www.kit.edu

Vorlesungsinhalte

- Kapitel 1: Vorbemerkung
- Kapitel 2: Einleitung
- Kapitel 3: Magnetische Kräfte und Induktion
- Kapitel 4: Gleichstrommaschine
- Kapitel 5: Schrittmotor
- Kapitel 6: Drehstromsynchronmaschine
- Kapitel 7: Asynchronmaschine
- Kapitel 8: Transformator
- Kapitel 9: Leistungshalbleiter
- Kapitel 10: Stromrichter
- Kapitel 11: Netzgeführte Stromrichter
- Kapitel 12: Selbstgeführte Stromrichter**
- Kapitel 13: Elektrische Antriebe



12.4 Mehrstufenwechselrichter



12.4 Mehrstufenwechselrichter

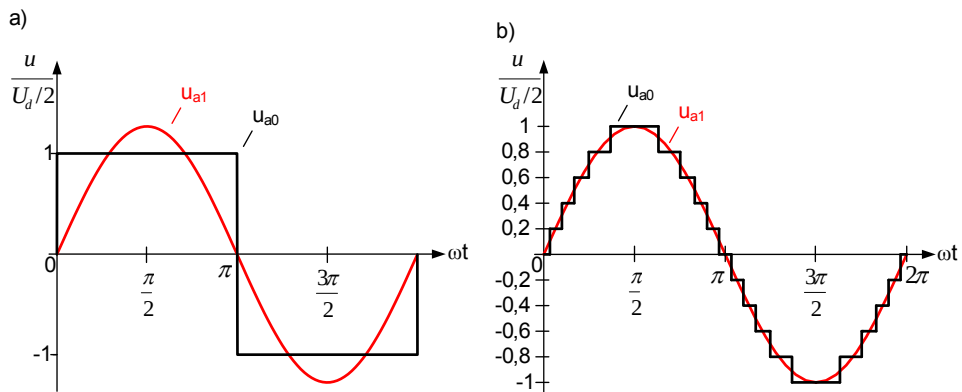


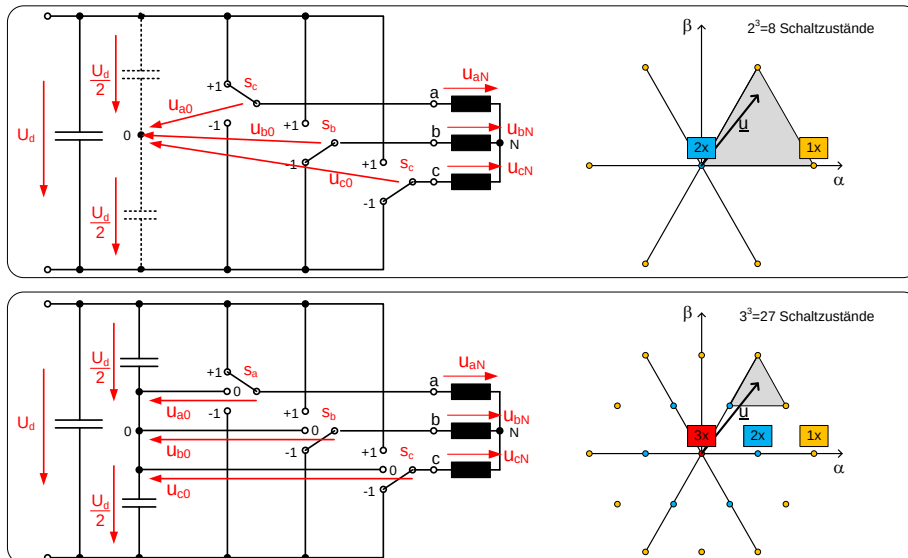
Abbildung 102:

Kurvenform der Zweigspannung u_{a0} bei Blocktaktung mit dem Zeitverlauf der Grundschiwingung u_{a1}

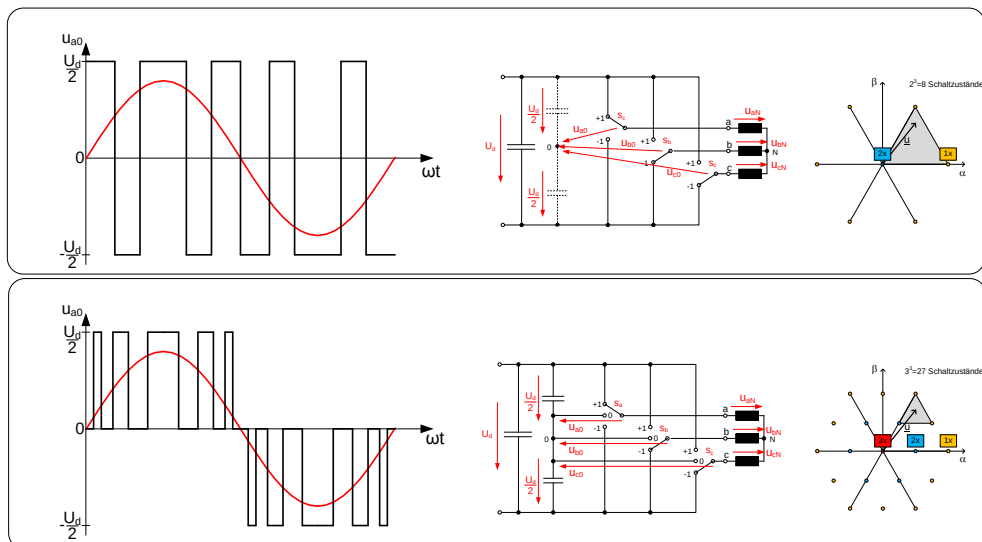
a) Zweistufenwechselrichter (Selbstgeführte Drehstrombrückenschaltung)

b) Elfstufenwechselrichter

12.4 Mehrstufenwechselrichter



12.4 Mehrstufenwechselrichter



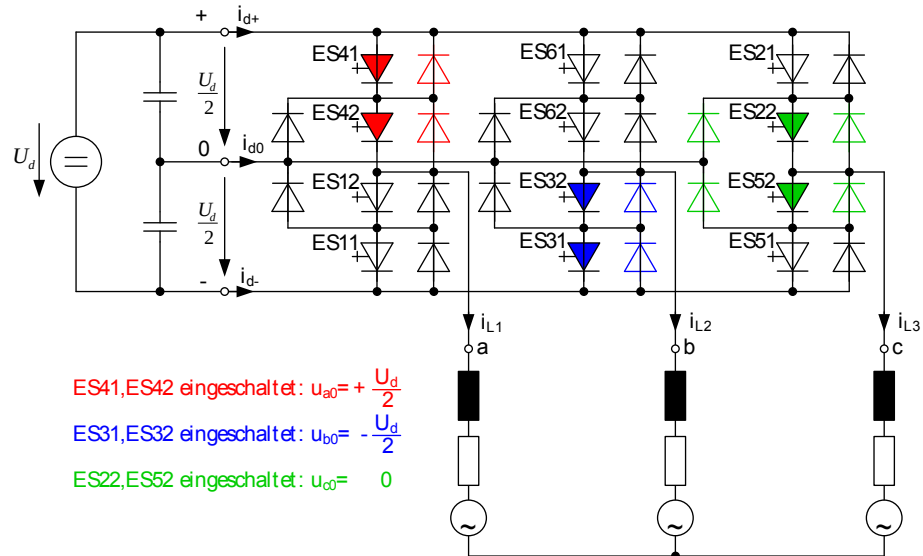
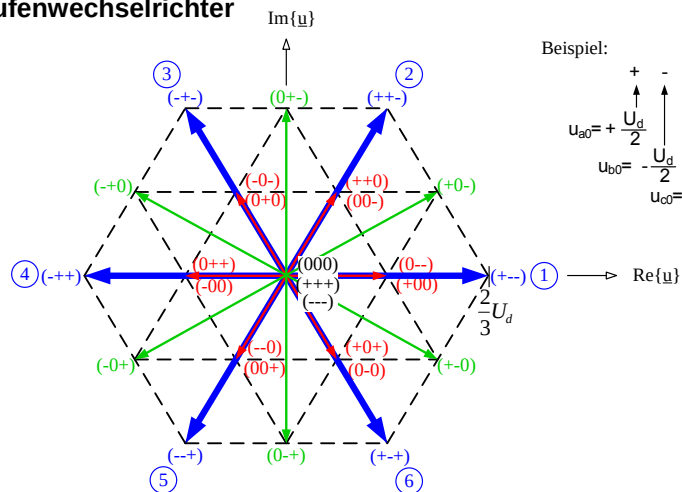


Abbildung 103:
Prinzipschaltbild des Neutral Point Clamped Inverters mit ohm'schinduktiver Last mit Gegenspannung

12.4 Mehrstufenwechselrichter

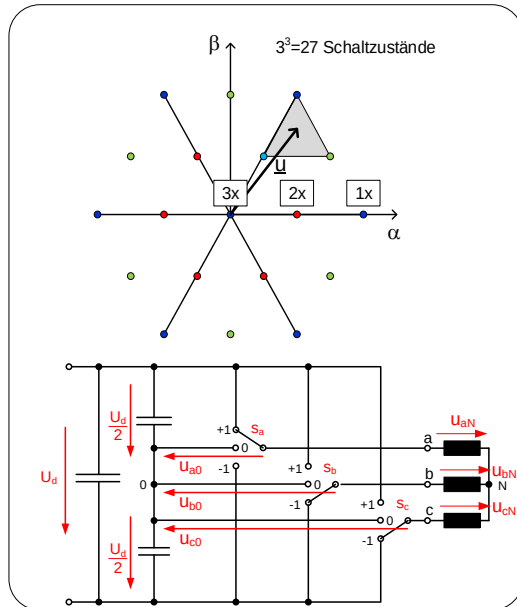


blau: Raumzeiger bei Betrieb wie eine selbstgeführte Drehstrombrückenschaltung
rot: zusätzliche Raumzeiger halber Länge
grün: gleichaktfreie zusätzliche Raumzeiger

Abbildung 104:
Raumzeiger der Ausgangsspannung eines Neutral Point Clamped Inverters in Abhängigkeit vom Schaltzustand

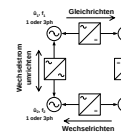
12.4 Mehrstufenwechselrichter

Nr.	Schaltfunktion			Leiterspannungen			Sternspannungen			Gleichtaktspannung	Raumzeiger		
	S_a	S_b	S_c	U_{a0} U_{a1}	U_{b0} U_{b1}	U_{c0} U_{c1}	U_{u0} U_{u1}	U_{v0} U_{v1}	U_{w0} U_{w1}	U_{u0} U_{u1}	U_{v0} U_{v1}	U_{w0} U_{w1}	α
1	1	-1	-1	1	0	-1	2/3	-1/3	-1/3	-1/6	2/3	0	0°
2	1	1	-1	0	1	-1	1/3	1/3	-2/3	1/6	+1/3	-1/3	60°
3	-1	1	-1	-1	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1/6	-1/3	2/3	120°
4	-1	1	1	-1	0	1	-2/3	1/3	1/3	1/6	-2/3	0	180°
5	-1	-1	1	0	-1	1	-1/3	-1/3	2/3	-1/6	-1/3	2/3	240°
6	1	-1	1	1	-1	0	1/3	-2/3	1/3	1/6	+1/3	-1/3	300°
7	1	0	-1	1/2	1/2	-1	1/2	0	-1/2	0	+1/2	-1/2	30°
8	0	1	-1	-1/2	1	-1/2	0	1/2	-1/2	0	0	+1/2	90°
9	-1	1	-1	-1	1/2	1/2	-1/2	1/2	0	0	-1/2	-1/2	150°
10	-1	0	1	-1/2	-1/2	1	-1/2	0	1/2	0	-1/2	-1/2	210°
11	0	-1	1	1/2	-1	-1/2	0	-1/2	1/2	0	0	-1/2	270°
12	1	-1	1	1	-1/2	-1/2	1/2	-1/2	0	0	+1/2	-1/2	330°
13	1	0	0	1/2	0	-1/2	1/3	-1/6	-1/6	+1/3	0	1/3	0°
14	0	-1	-1	1/2	0	-1/2	1/3	-1/6	-1/6	-1/3	0	1/3	60°
15	1	1	0	0	1/2	-1/2	1/6	1/6	-1/3	+1/6	-1/3	0	60°
16	0	0	-1	0	1/2	-1/2	1/6	1/6	-1/3	-1/6	-1/3	0	120°
17	0	1	0	-1/2	1/2	0	-1/6	1/3	-1/6	-1/6	-1/3	0	120°
18	-1	0	-1	-1/2	1/2	0	-1/6	1/3	-1/6	-1/3	-1/6	0	180°
19	0	1	1	-1/2	0	1/2	-1/3	1/6	1/6	1/3	0	1/3	180°
20	-1	0	0	-1/2	0	1/2	-1/3	1/6	1/6	-1/6	-1/3	0	180°
21	0	0	1	0	-1/2	1/2	-1/6	1/3	1/6	-1/6	-1/3	0	240°
22	-1	-1	0	0	-1/2	1/2	-1/6	1/3	1/6	-1/3	-1/6	0	240°
23	1	0	1	1/2	-1/2	0	1/6	-1/3	1/6	1/3	0	1/3	300°
24	0	-1	0	1/2	-1/2	0	1/6	-1/3	1/6	-1/6	-1/3	0	300°
25	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
27	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

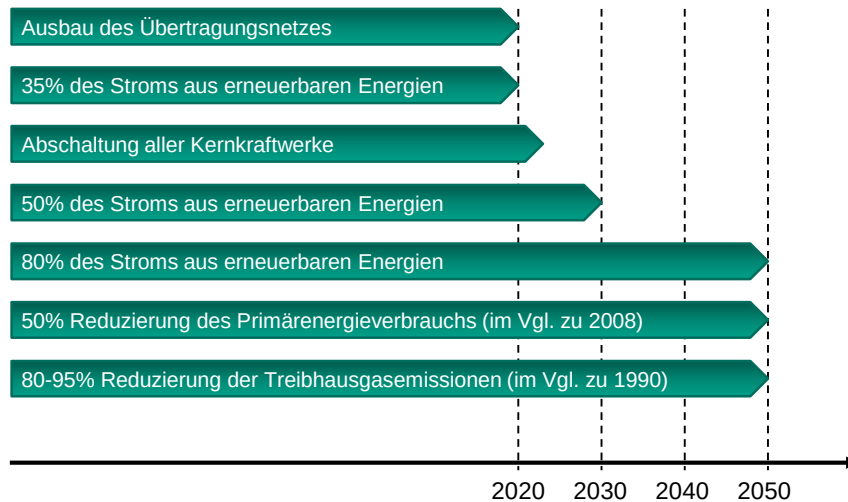


Vorlesungsinhalte

- Kapitel 1: Vorbemerkung
- Kapitel 2: Einleitung
- Kapitel 3: Magnetische Kräfte und Induktion
- Kapitel 4: Gleichstrommaschine
- Kapitel 5: Schrittmotor
- Kapitel 6: Drehstromsynchronmaschine
- Kapitel 7: Asynchronmaschine
- Kapitel 8: Transformator
- Kapitel 9: Leistungshalbleiter
- Kapitel 10: Stromrichter
- Kapitel 11: Netzgeführte Stromrichter
- Kapitel 12: Selbstgeführte Stromrichter
- Kapitel 13: Elektrische Antriebe



13 Elektrische Antriebe – Ziele der Energiewende in Deutschland



13 Elektrische Antriebe – Ziele der Energiewende in Deutschland

■ Wesentliche Elemente der Energiewende sind

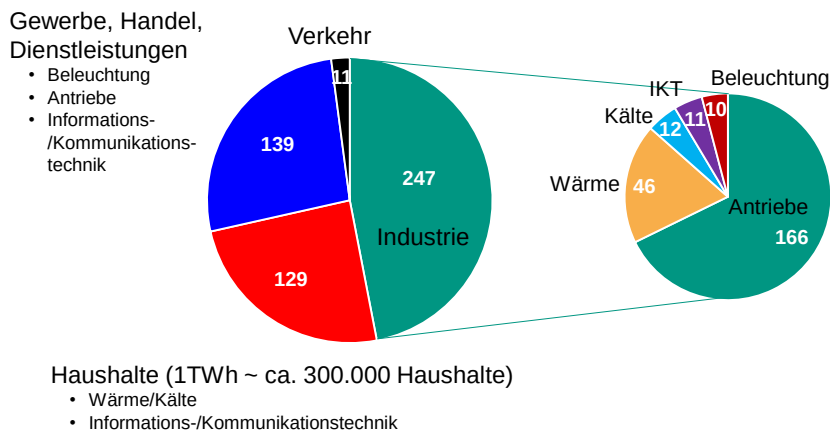
Energieeffizienz	Energieeinsparmaßnahmen	Ausbau der erneuerbaren Energien
• Rationellere Verwendung von Energie • Optimierte Prozesse bei der Wandlung, dem Transport und der Speicherung von Energie	• Vermeidung von Energieverbrauch • Erfordern keine Investitionen • Erreichbar durch individuelle Verhaltensänderungen • Sofort umsetzbar	• Wind, Sonne, Bioenergie, Wasserkraft, Erdwärme, Meeresenergie • Integration in das Stromnetz • Speicherung

13 Elektrische Antriebe – Ziele der Energiewende in Deutschland

- Wo sind wir u.a. bereits gut unterwegs
 - Ausbau von Wind, Sonne, Bioenergie, Wasserkraft inkl. effiziente Anbindung in das Stromnetz
 - Effiziente Beleuchtungstechnologien
 - Wärmedämmung
- Wo sind teilweise noch große Potenziale
 - Einsatz energieeffizienter Motoren im Industrie- und Haushaltsbereich
 - Effizientere Prozessführung in der Industrie
 - Energiespeicherung
 - Elektromobilität
 - **Einsatz von elektrisch statt mechanisch geregelten Antrieben**
 - Effizientere Energieverteilung

13 Elektrische Antriebe – Ziele der Energiewende in Deutschland

- **Nettostromverbrauch 2016 in Dtl.: 525 TWh**
ca. 21% Anteil am gesamten Endenergieverbrauch (Endenergie: 37% Kraftstoffe, 25% Gas, 21% Strom, 5% Kohle, 5% Fernwärme)

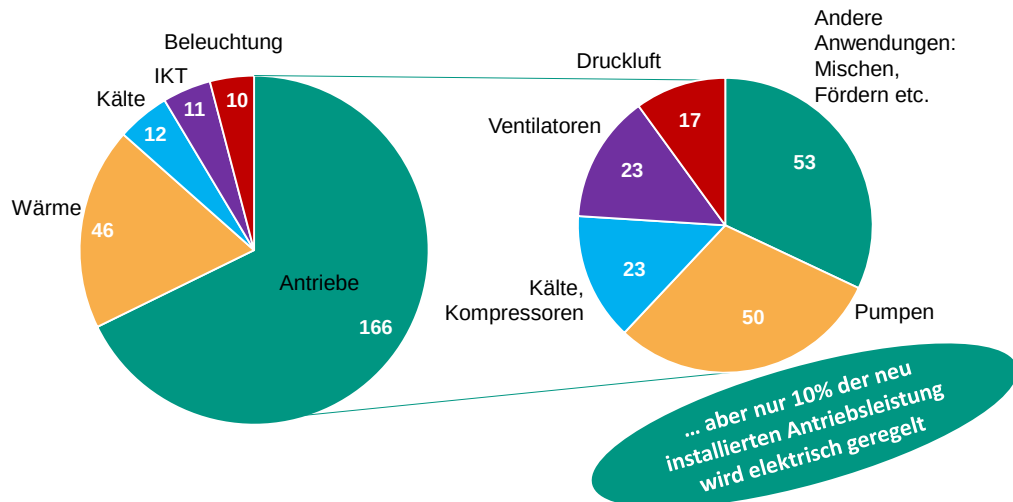


alle Angaben in TWh

Quelle: Energiedaten Gesamtausgabe BMWi, AG Energiebilanzen e.V.

13 Elektrische Antriebe – Ziele der Energiewende in Deutschland

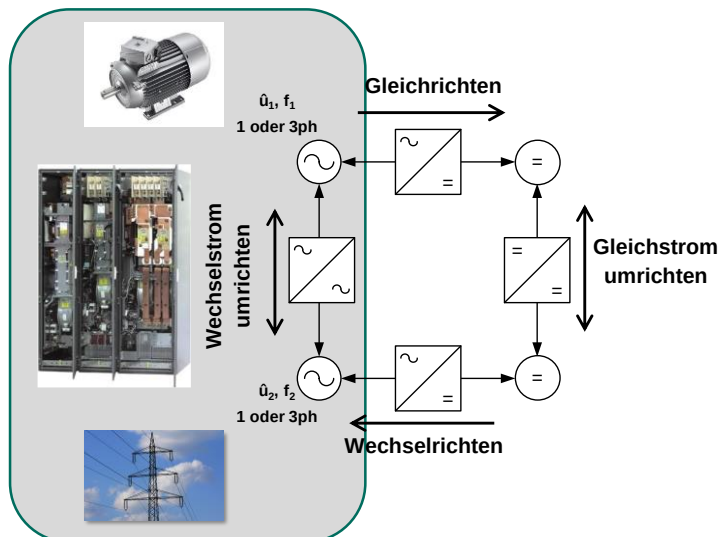
■ Haupt-Energieverbraucher in der Industrie in Deutschland (in TWh, 2016)



alle Angaben in TWh

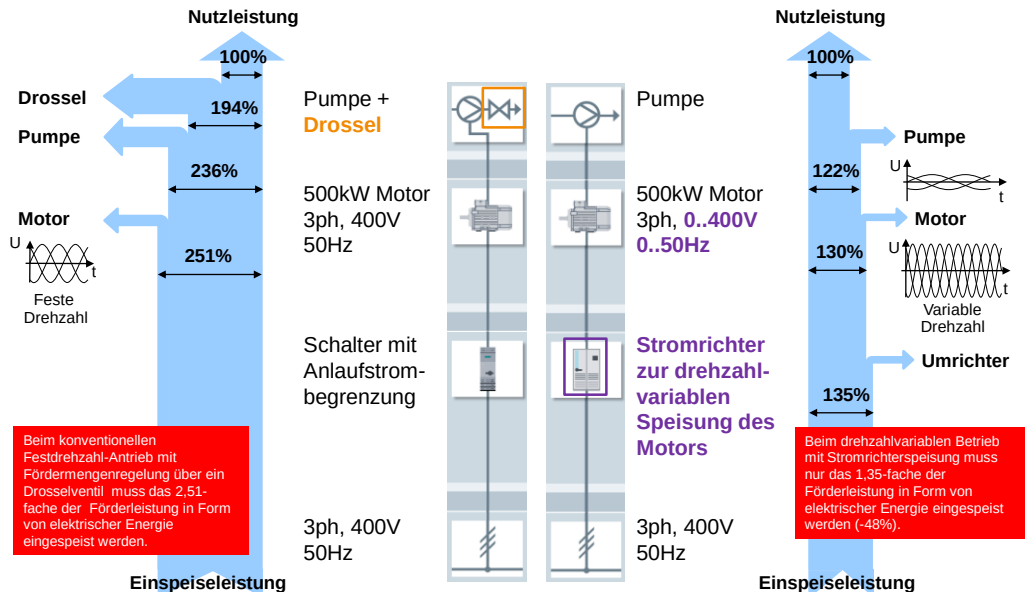
Quelle: Rationelle Energiegewinnung in der Industrie, Fraunhofer Institut System und Innovationsforschung Karlsruhe; Siemens

13 Elektrische Antriebe – Steigerung der Energieeffizienz

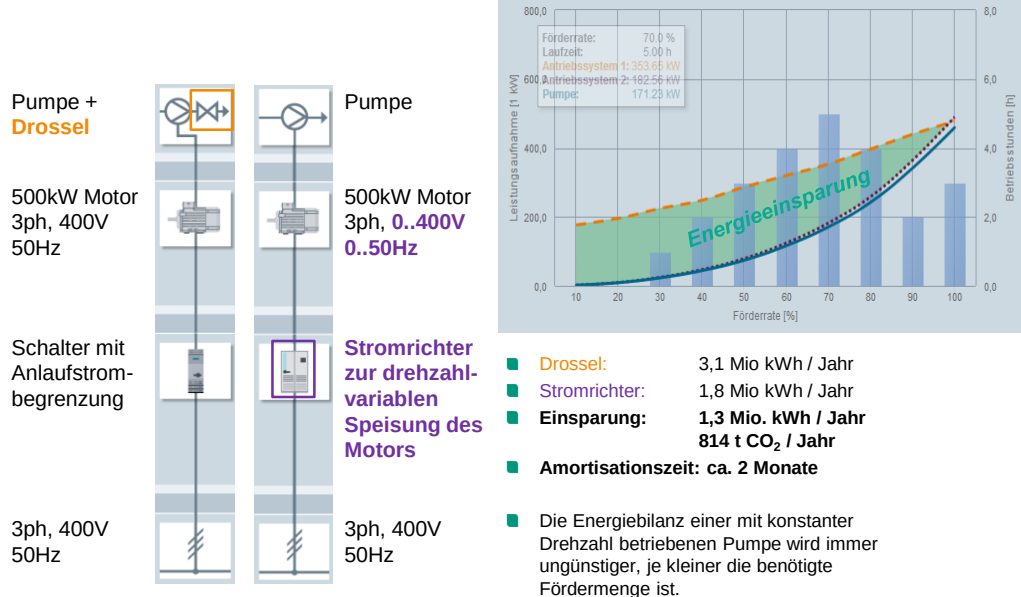


Quelle: Siemens

13 Elektrische Antriebe – Steigerung der Energieeffizienz



13 Elektrische Antriebe – Steigerung der Energieeffizienz



13 Elektrische Antriebe

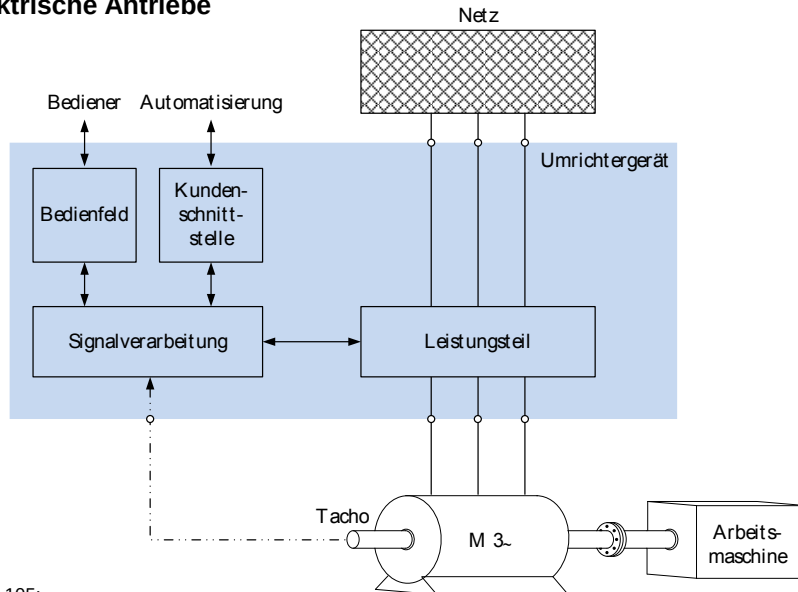


Abbildung 105:
Umrichtergerät zwischen Netz und Motor

13 Elektrische Antriebe

Legende:

HLG: Hochlaufgeber ($\frac{dn}{dt}$ -Begrenzung)
SF: Spannungs-Frequenz-Kennliniengenerator
RZM: Raumzeigermodulator
T: Treiberschaltung mit Potentialtrennung
I: Integrierglied
AW: Auswerteschaltung für Spannungs- und Frequenzgriff
 n^* : Drehzahlsollwert

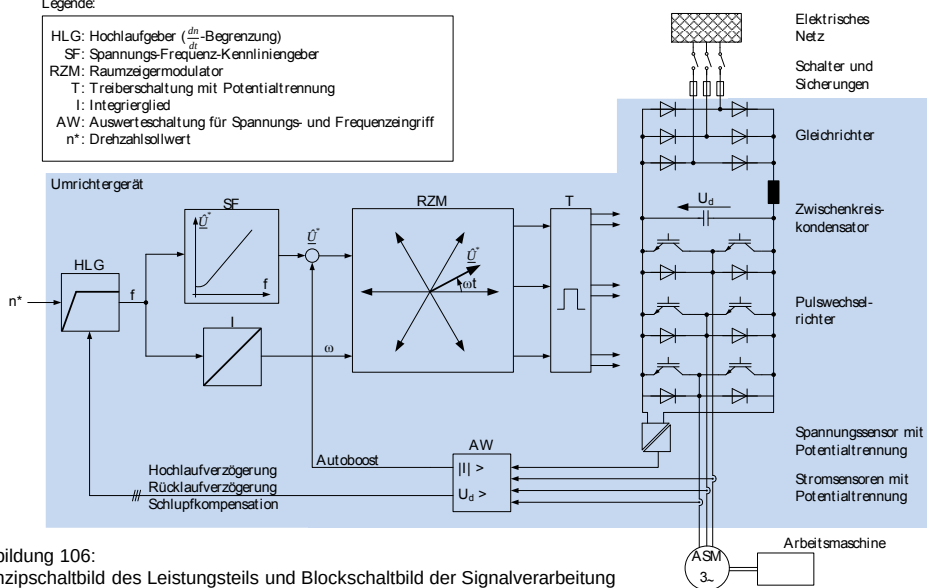


Abbildung 106:
Prinzipschaltbild des Leistungsteils und Blockschaltbild der Signalverarbeitung
eines Antriebssystems mit Frequenzsteuerung

13 Elektrische Antriebe

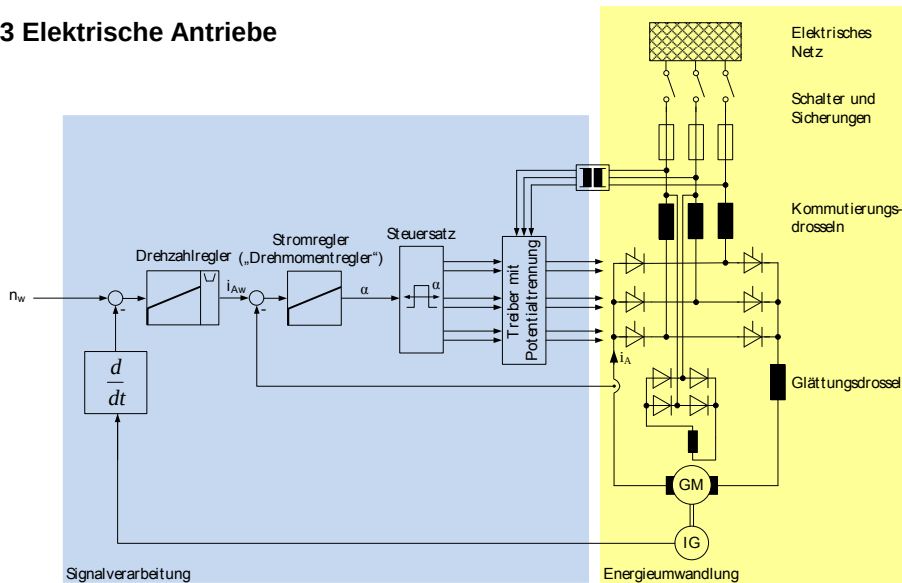
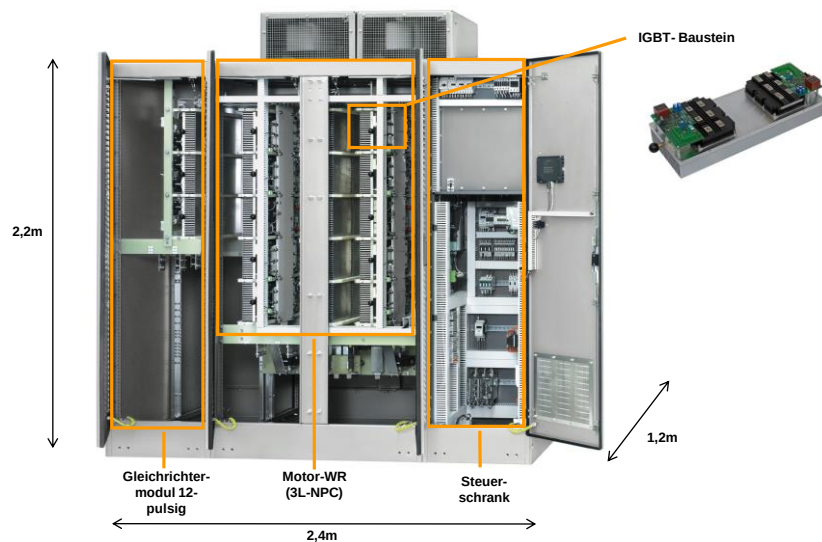


Abbildung 107: Prinzipschaltbild des Leistungsteils und Blockschaltbild der Signalverarbeitung eines Gleichstromantriebs mit Drehzahlregelung und unterlagerter Ankerstrom-(=Drehmoment-)Regelung

13 Elektrische Antriebe



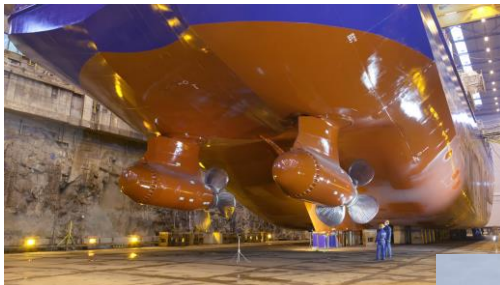
13 Elektrische Antriebe



3L-NPC Umrichter: 4,16kV, 600A, 4,3MVA, luftgekühlt (Siemens SINAMICS GM150)

Quelle: Siemens

13 Elektrische Antriebe

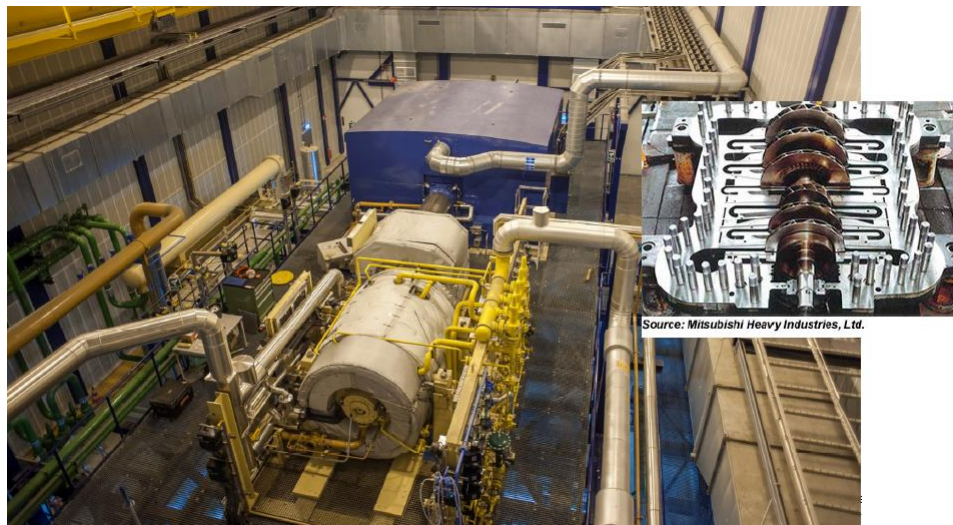


13 Elektrische Antriebe



Gaskompressoren NAM Nederlande:
z.B. 3x40MW pro Station

13 Elektrische Antriebe

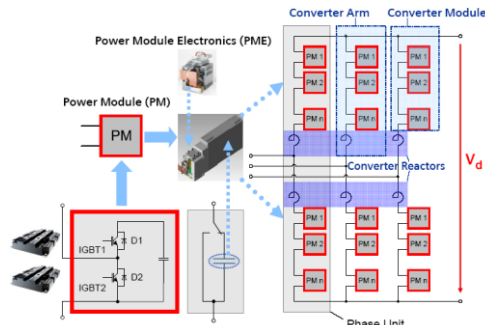


Energieübertragung (HGÜ, engl.: HVDC)

- Punkt-zu-Punkt-Übertragung von elektrischer Energie über große Distanzen

- Kriterien:

- Skalierbare Spannung, d.h. Leistung
- Wirkungsgrad
- Hohe Verfügbarkeit
- Netzrückwirkungen



- Selbstgeführte Hochspannungs-Gleichstromübertragung (Beispiel: Sylwin1):

- DC-Nennspannung: $U=640 \text{ kV}$

- DC-Nennstrom: $I=1350 \text{ A}$

- $P_{\text{nenn}}=865 \text{ MW}$

- Topologie

- Modular Multilevel Converter (MMC) mit ca. 2000 Zellen pro Stromrichter (mit 4,5kV-IGBT-Modulen)

Quelle: Siemens

13 Elektrische Antriebe

