

Leistungselektronik bei der Ansteuerung einer Drehstrommaschine

von

Folker Renken

Vorlesung

Leistungselektronik

Autor:

Prof. Dr. Folker Renken

Jade Hochschule Wilhelmshaven Oldenburg Elsfleth

Studienort: Wilhelmshaven

Fachbereich Ingenieurwissenschaften

Automobil- und Leistungselektronik

Friedrich-Paffrath-Str. 101

26389 Wilhelmshaven

Tel.: +49 4421 985-2265

E-Mail: folker.renken@jade-hs.de

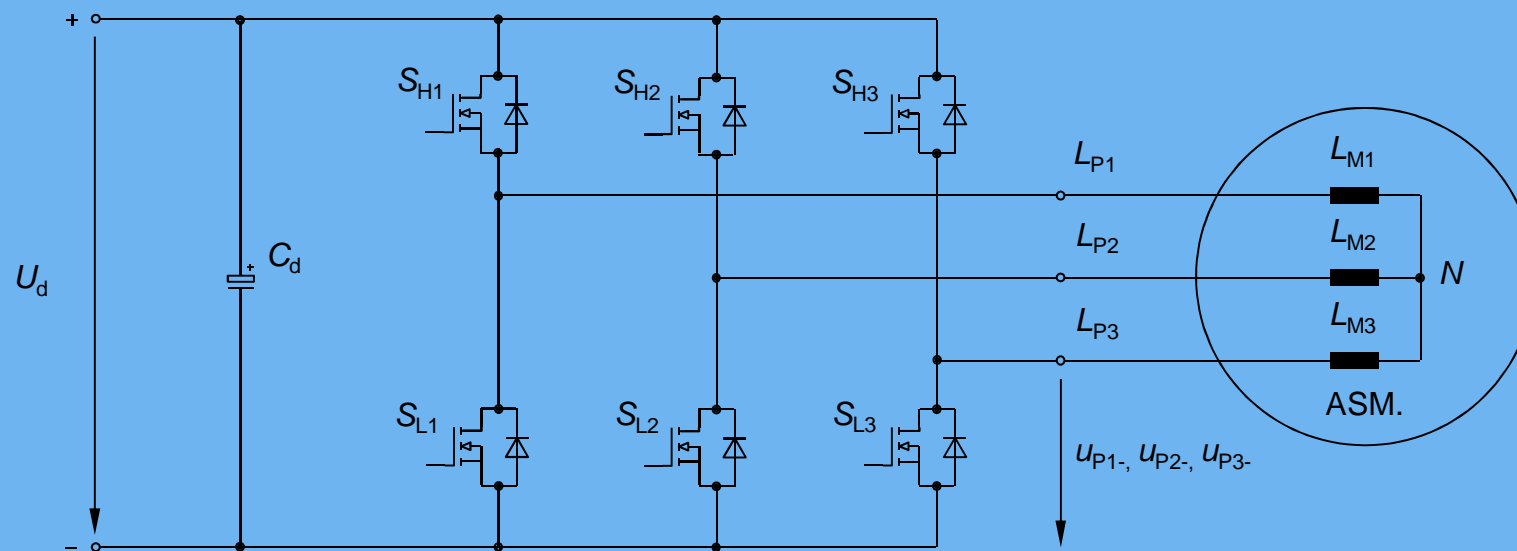


**Automotive &
Power Electronics**

1. DC/AC Konverter
2. Modulation mit Sinussignal
3. Analyse der modulierten Größen
4. Modulation mit Gleichtaktsignal
5. Konverter-Bauteilbelastung
6. Ansteuerung einer Drehstrommaschine

1. DC/AC Konverter

Der DC/AC-Konverter eines Antriebssystems regelt den Energieaustausch zwischen Bordnetz und elektrischer Maschine

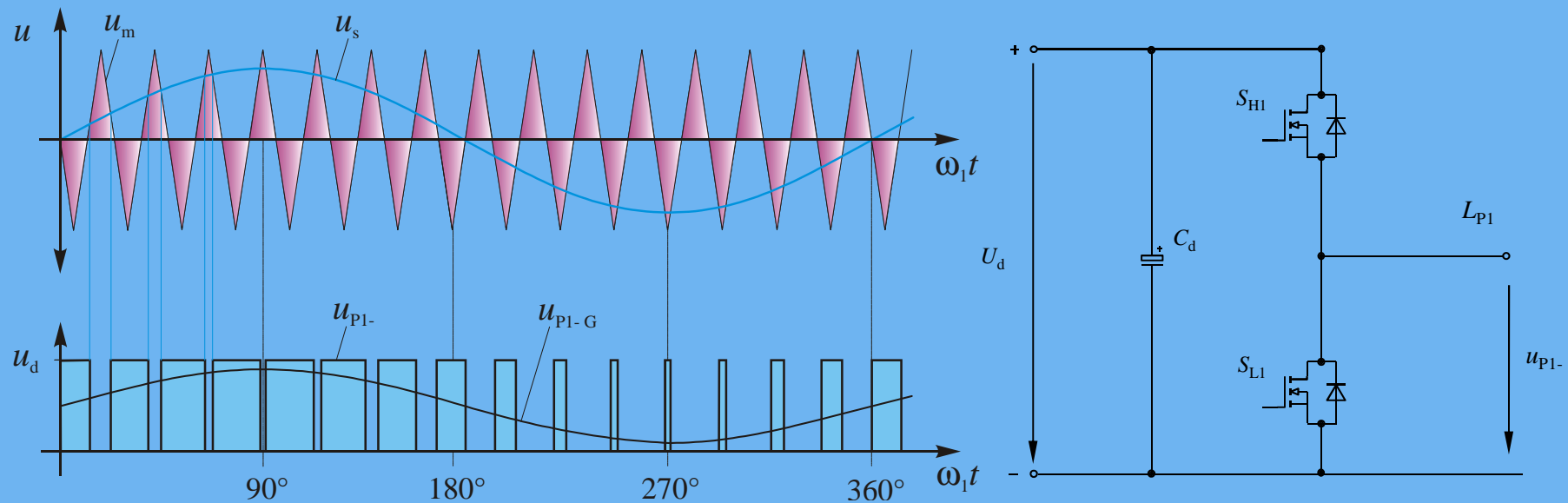


- DC/AC-Konverter besteht aus drei Brückenzweigen
- Ausgänge der Brückenzweige können positives oder negatives Batteriepotential annehmen

2. Modulation mit Sinussignal

Prinzip der Pulsweitenmodulation (PWM) beim DC/AC Konverter

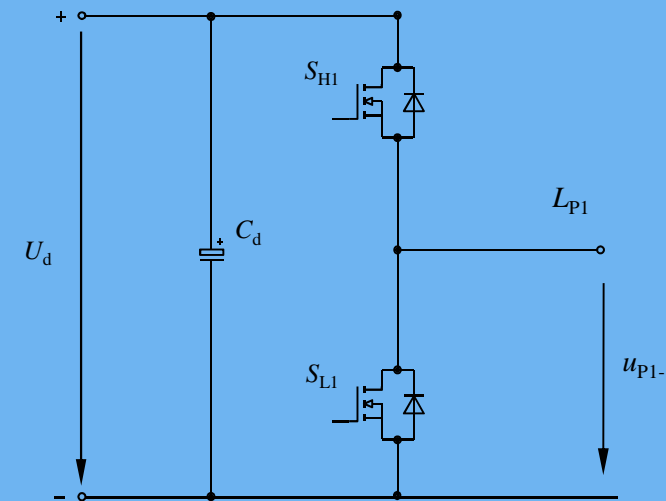
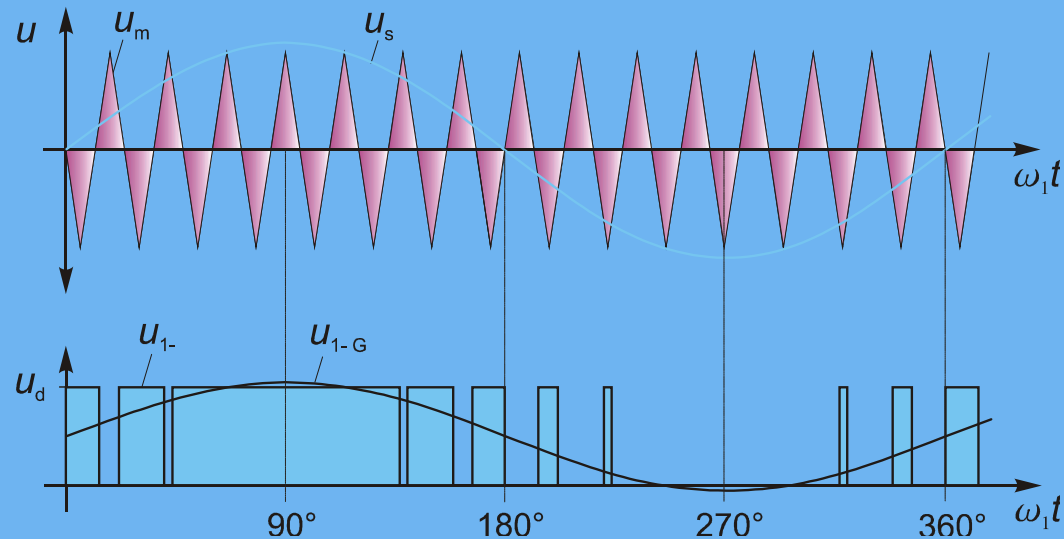
- Modulationsspannung u_m mit konstanter Amplitude und Frequenz f_P
- Steuerspannung u_s mit veränderlicher Amplitude und Frequenz f_G
- Spannungsvergleich bilden die Umschaltunkte des Brückenzeigs



2. Modulation mit Sinussignal

Prinzip der Pulsweitenmodulation bei Konverter-Übersteuerung

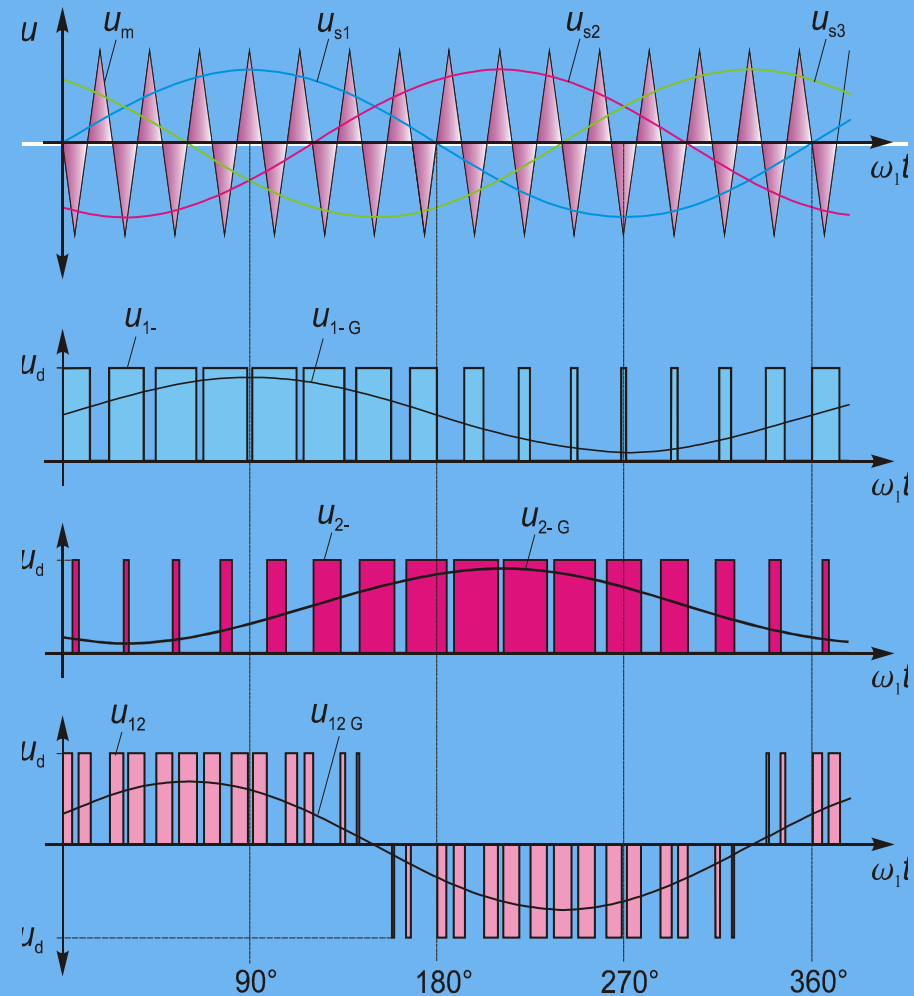
- Amplitude der Steuerspannung u_S wird größer als die der Spannung u_m
- Bildung von Spannungsblöcke im Bereich $\omega_1 t = 90^\circ$
- Bei der Steuerspannungsamplitude $\hat{u}_S \rightarrow \infty$ erreicht der DC/AC Konverter den Betrieb mit der größten Aussteuerung (Blockbetrieb)



2. Modulation mit Sinussignal

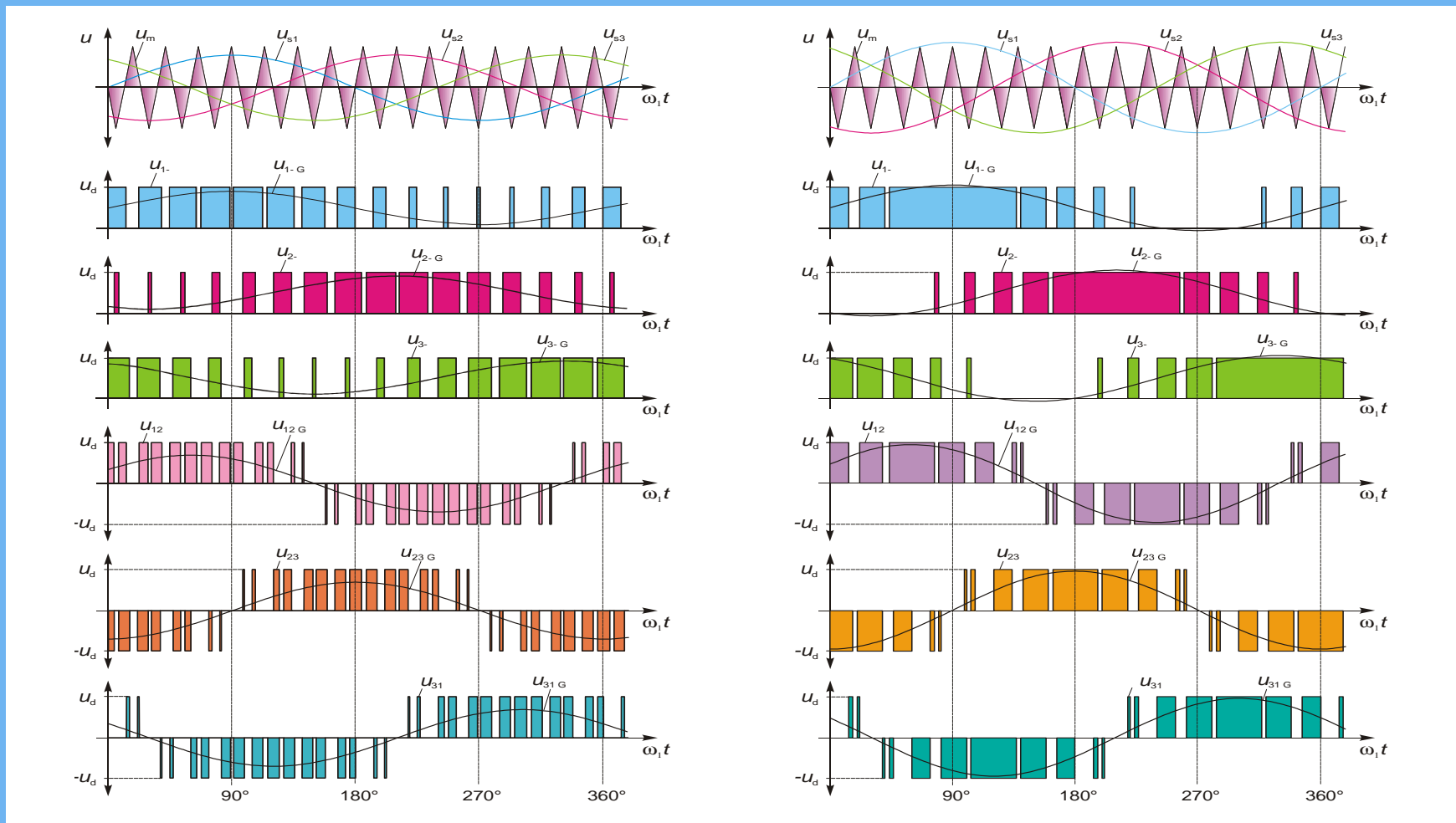
Dreiphasige Sinusmodulation

- Drei um 120° verschobene sinusförmige Steuerspannungen werden mit der Spannung u_m verglichen
- Drei pulsförmige Spannungen an den Brückenzweigen des DC/AC Konverters (Nur zwei Spannungen dargestellt!)
- Differenzen der Brückenzweigspannungen ergeben die drei verketteten Spannungen an der elektrischen Maschine (Nur Spannung u_{12} dargestellt!)

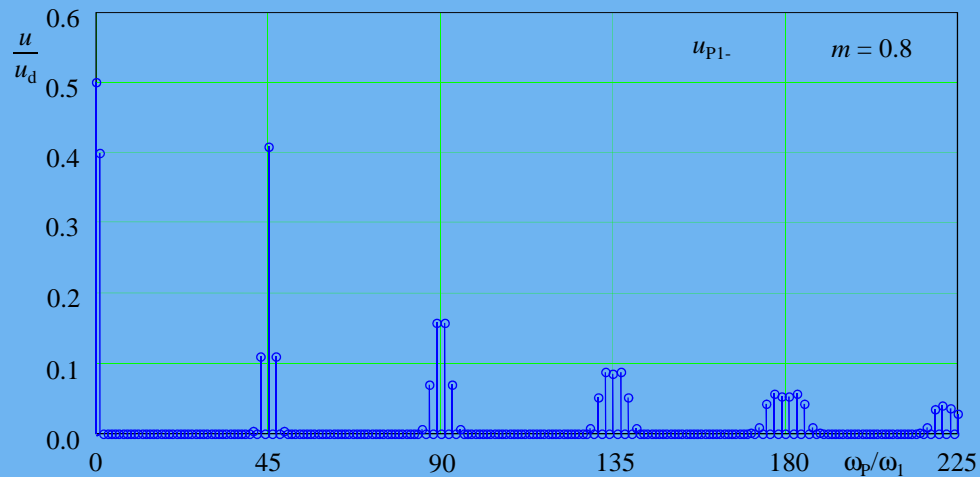
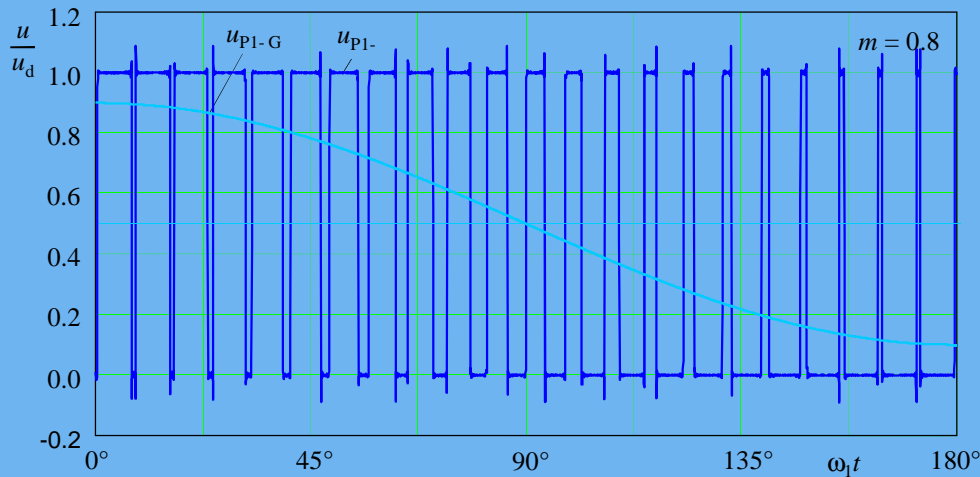


2. Modulation mit Sinussignal

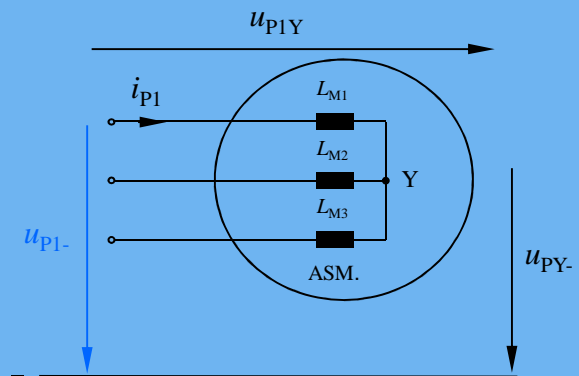
Sinusmodulation im linearen Bereich (links) und bei Übersteuerung (rechts)



3. Analyse der modulierten Größen

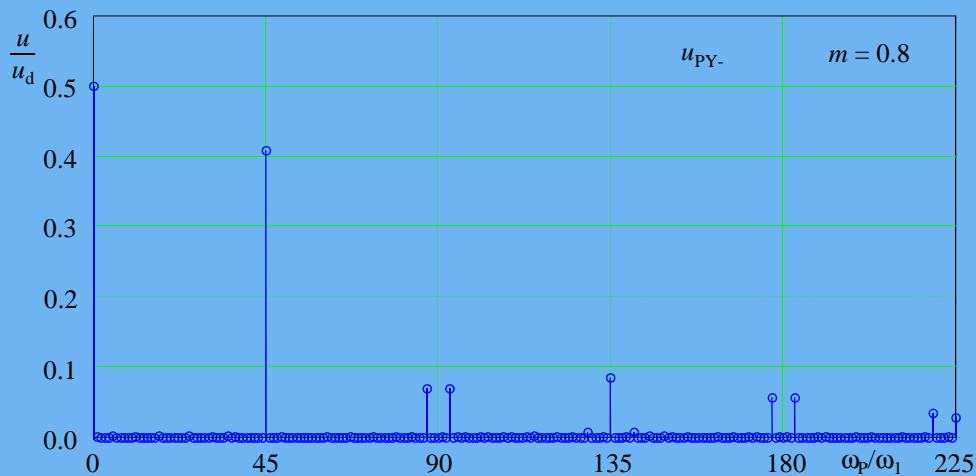
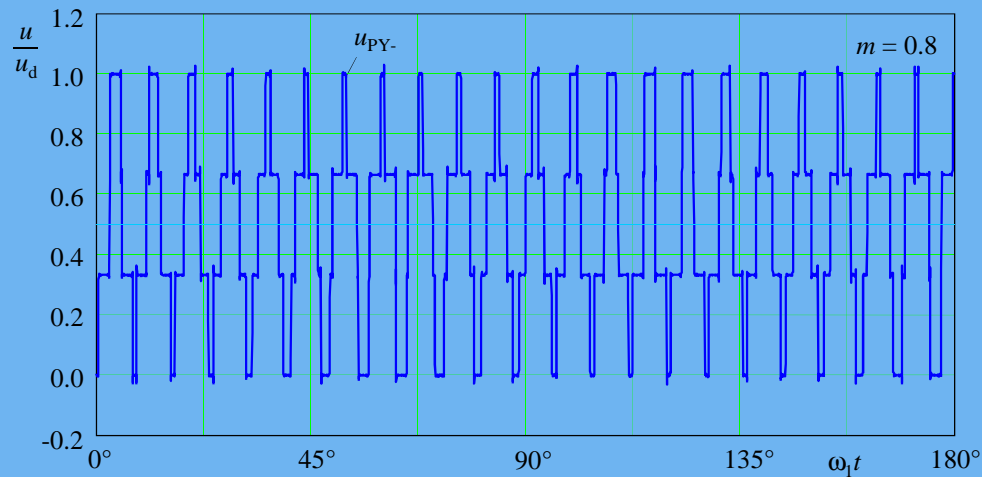


Spannung u_{P1-} am Ausgang des DC/AC Konverters $f_p = 45 \cdot f_1$

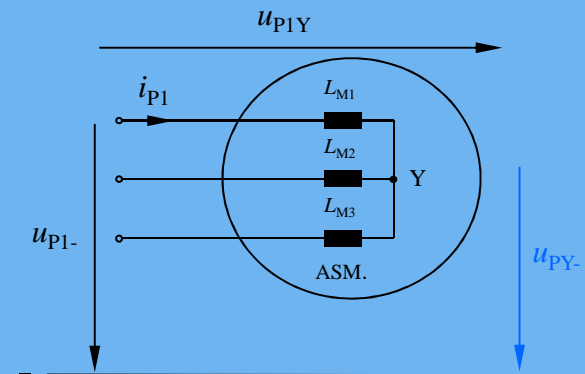


- Gleichanteil
- Grundswingungsanteil
- Ungrade Oberschwingungen
- Niedrigste Oberschwingungen im Bereich der Pulsfrequenz

3. Analyse der modulierten Größen

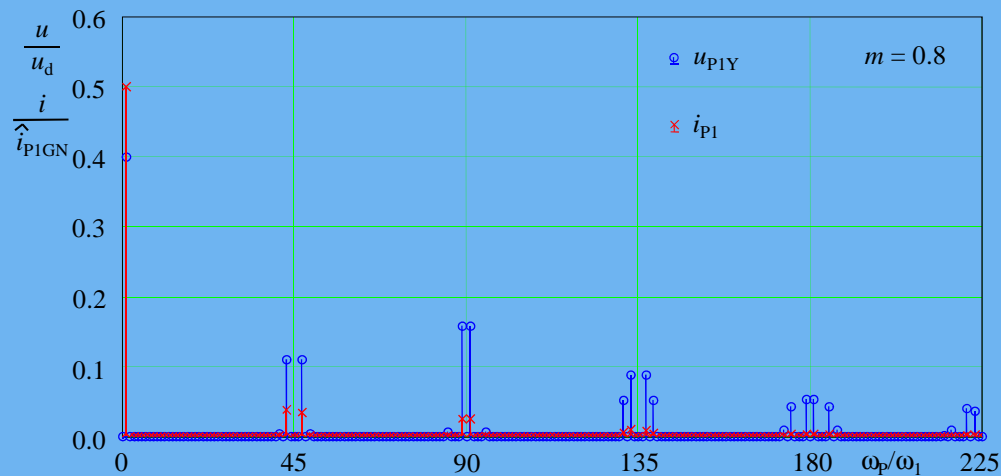
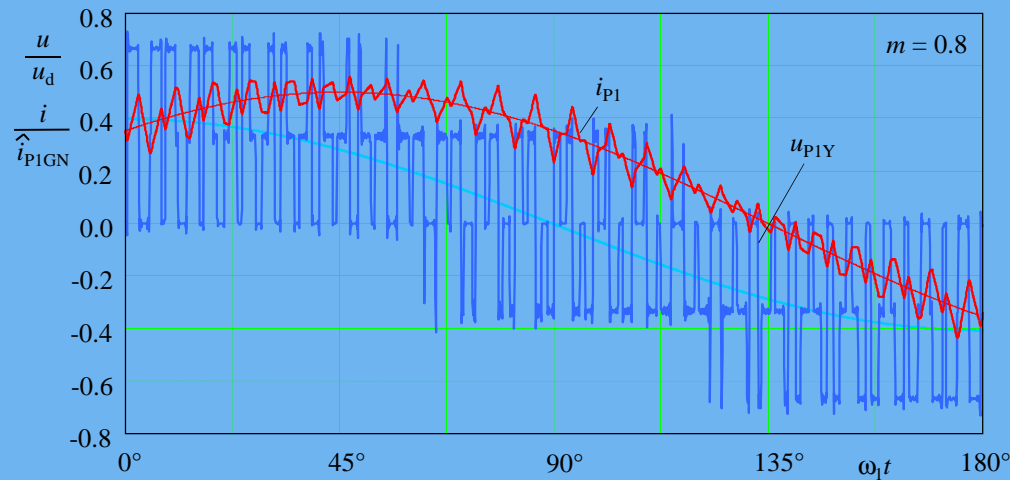


Spannung u_{PY-} am Sternpunkt der elektrischen Maschine $f_p = 45 \cdot f_1$

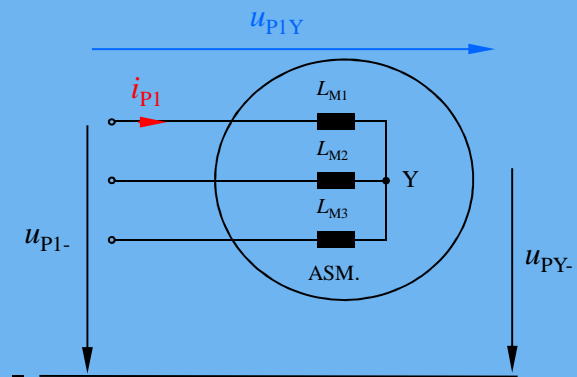


- Gleichanteil
 - Alle durch drei teilbaren Oberschwingungen
- ⇒ Diese Anteile haben keinen Stromfluss zur Folge

3. Analyse der modulierten Größen



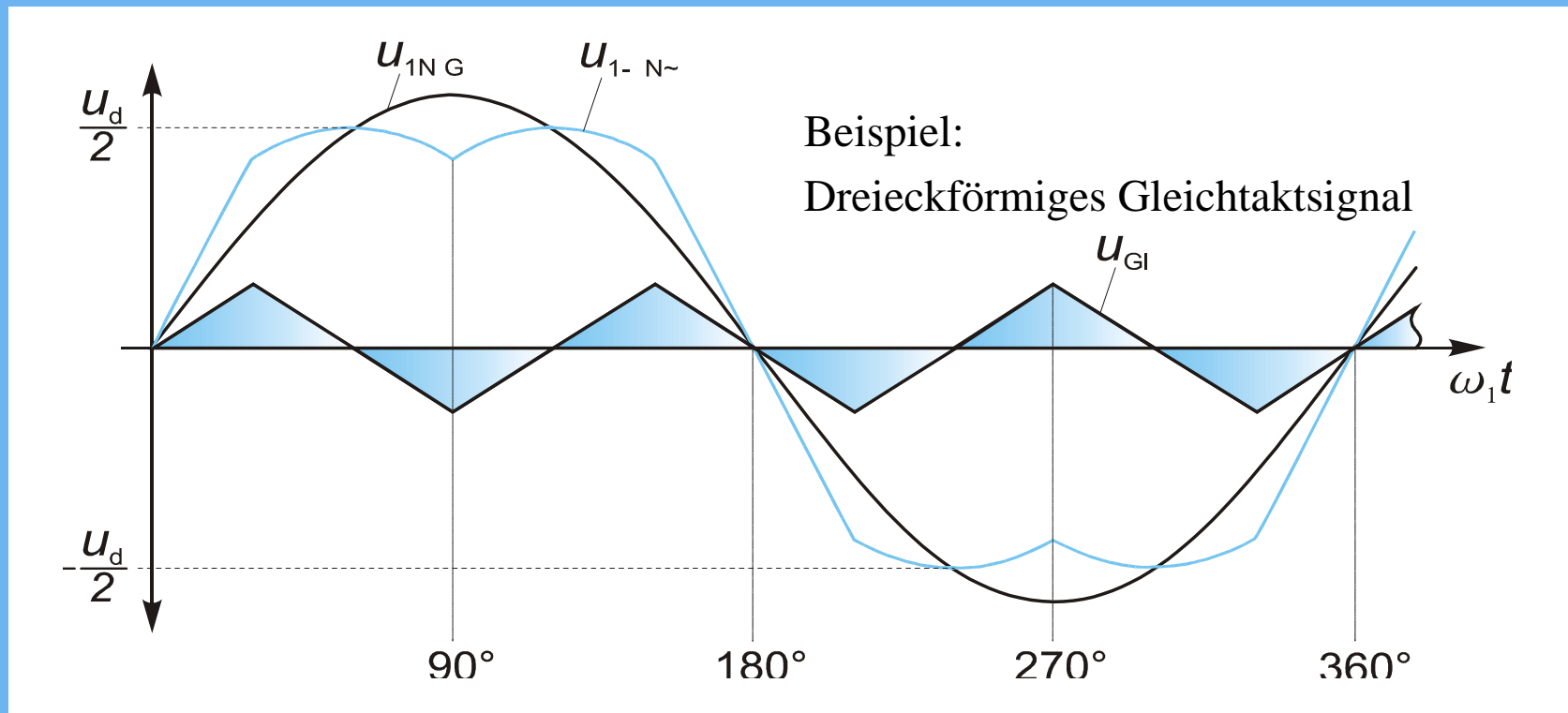
Spannung u_{P1Y} und Strom i_{P1} der elektrischen Maschine $f_p = 45 \cdot f_1$



- Grundswingungsanteile
- Es treten alle nicht durch drei teilbaren Oberschwingungen auf
- Jede Spannungsoberschwingung hat einen Strom zur Folge

4. Modulation mit Gleichtaktsignal

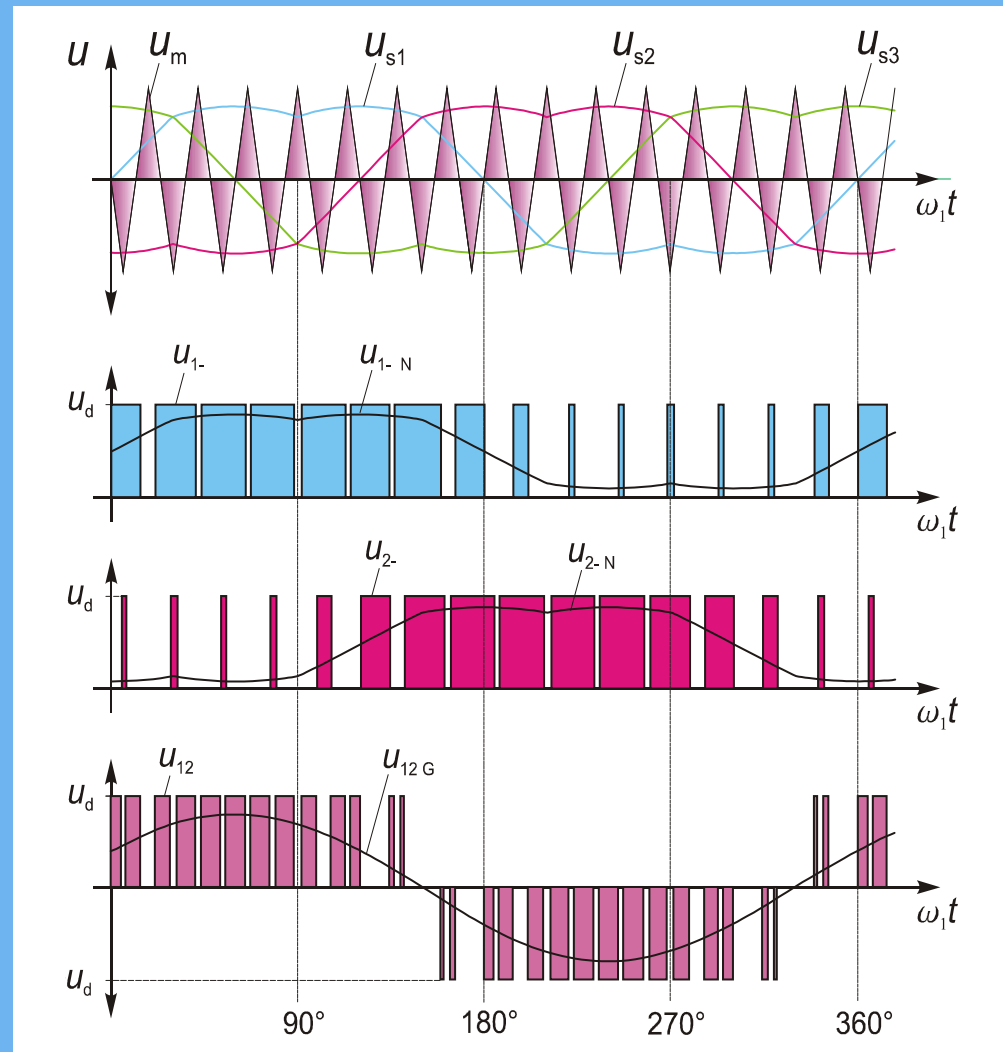
→ Addition eines Gleichtaktsignals, bestehend aus der dreifachen - oder vielfachen der dreifachen Grundschwingungsfrequenz



4. Modulation mit Gleichtaktsignal

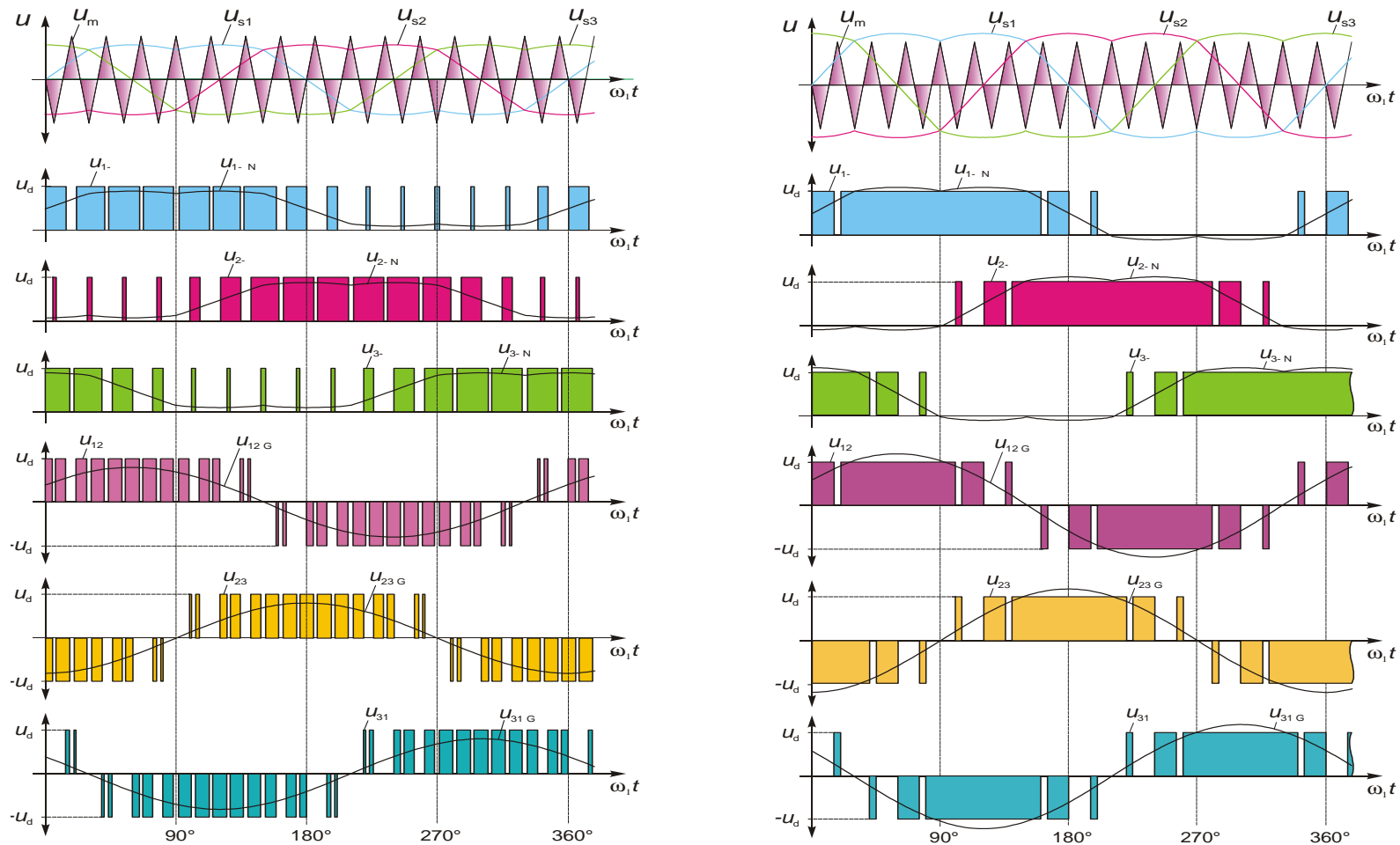
Dreiphasige Modulation mit Gleichtaktsignal

- Drei um Gleichtaktkomponente verzerrte Spannungen werden mit der Spannung u_m verglichen
- Drei pulsformige Spannungen mit entsprechend verzerrten niederfrequenten Anteil an den Brückenzweigen entstehen (Nur zwei Spannungen dargestellt!)
- Durch Differenzbildung der Brückenzweigspannungen fällt der Gleichtaktanteil bei den verketteten Spannungen heraus (Nur Spannung u_{12} dargestellt!)



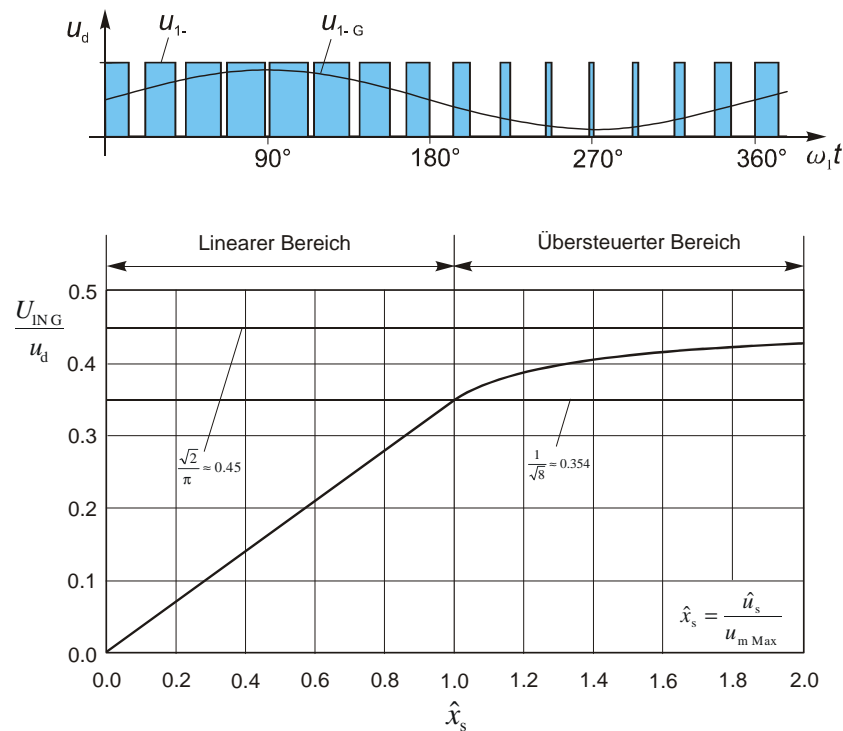
4. Modulation mit Gleichtaktsignal

Modulation im linearen Bereich (links) und bei Übersteuerung (rechts)

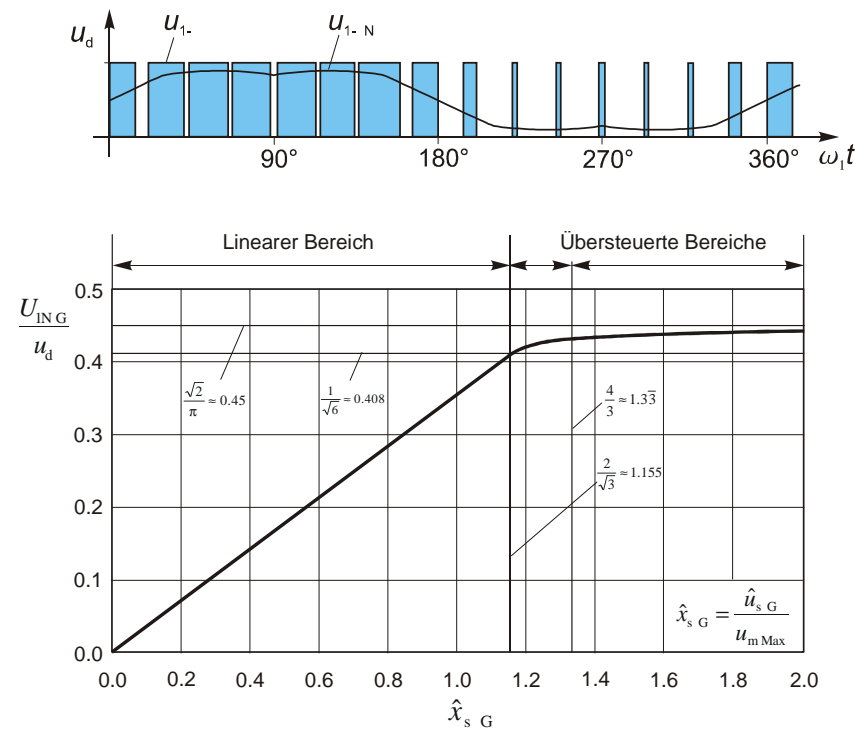


4. Modulation mit Gleichtaktsignal

Konverter-Aussteuerkurve bei Sinusmodulation



Konverter-Aussteuerkurve bei Modulation mit Gleichtaktsignal



5. Konverter-Bauteilbelastung

Strombelastung der Konverter-Schaltelemente

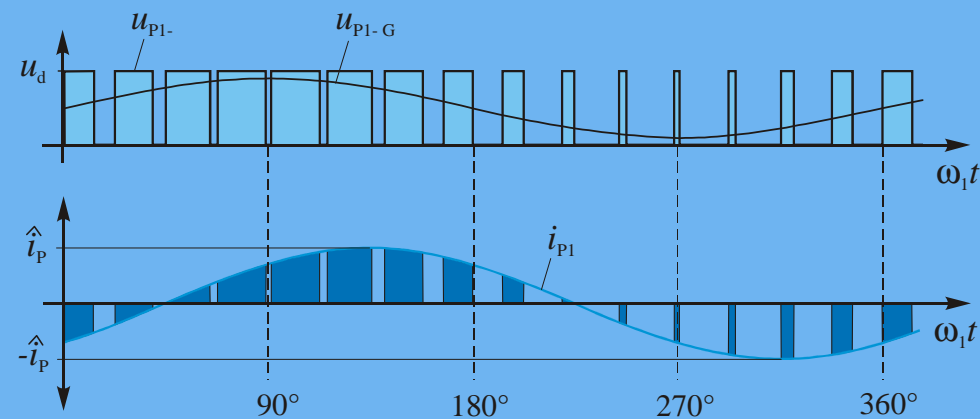
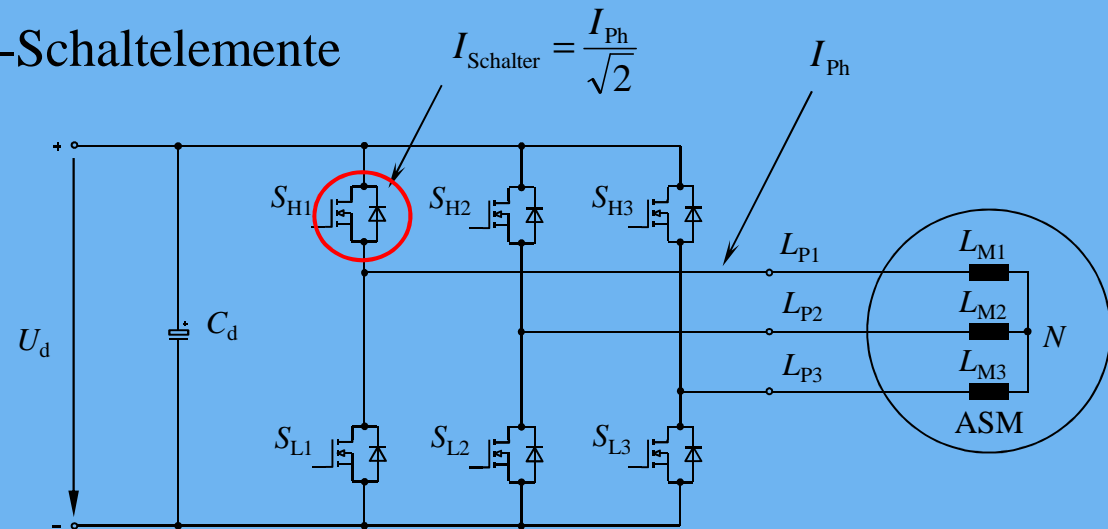
→ Stromeffektivwert ist in allen Schaltelementen (MOSFETs + Diode) gleich groß!

Stromberechnung:

$$I_{\text{Schalter}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int i_{\text{Ph}}^2 \cdot dt}$$

$$I_{\text{Schalter}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot I_{\text{Ph}}^2 \cdot \frac{T}{2}}$$

$$I_{\text{Schalter}} = \frac{I_{\text{Ph}}}{\sqrt{2}}$$

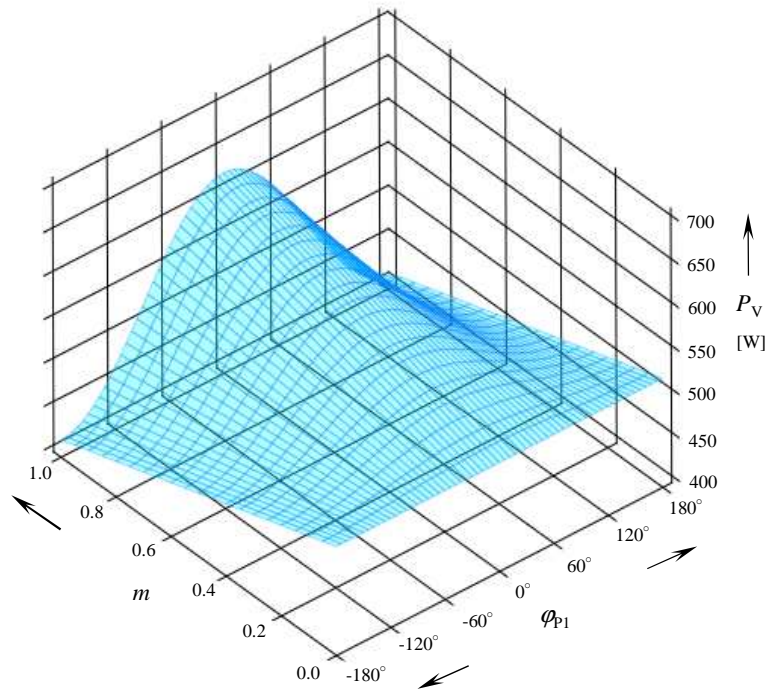


5. Konverter-Bauteilbelastung

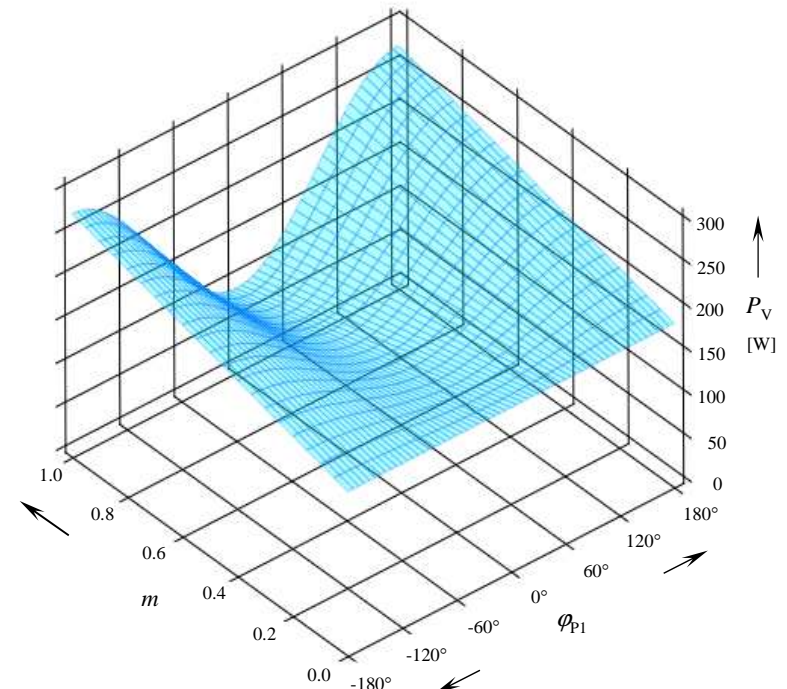
Bei IGBTs und Dioden als Halbleiter: \Rightarrow Aufteilung des Schalterstromes!

Beispiel für die Verluste (Durchlass- & Schaltverluste) in den Halbleitern einer Halbbrücke

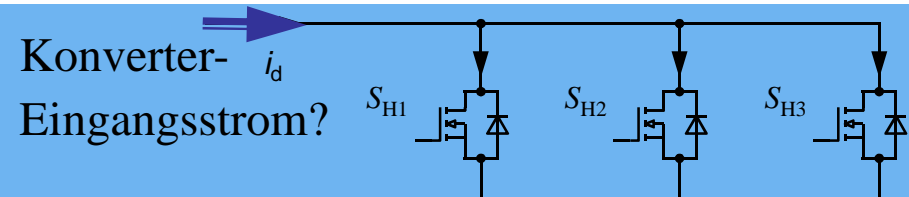
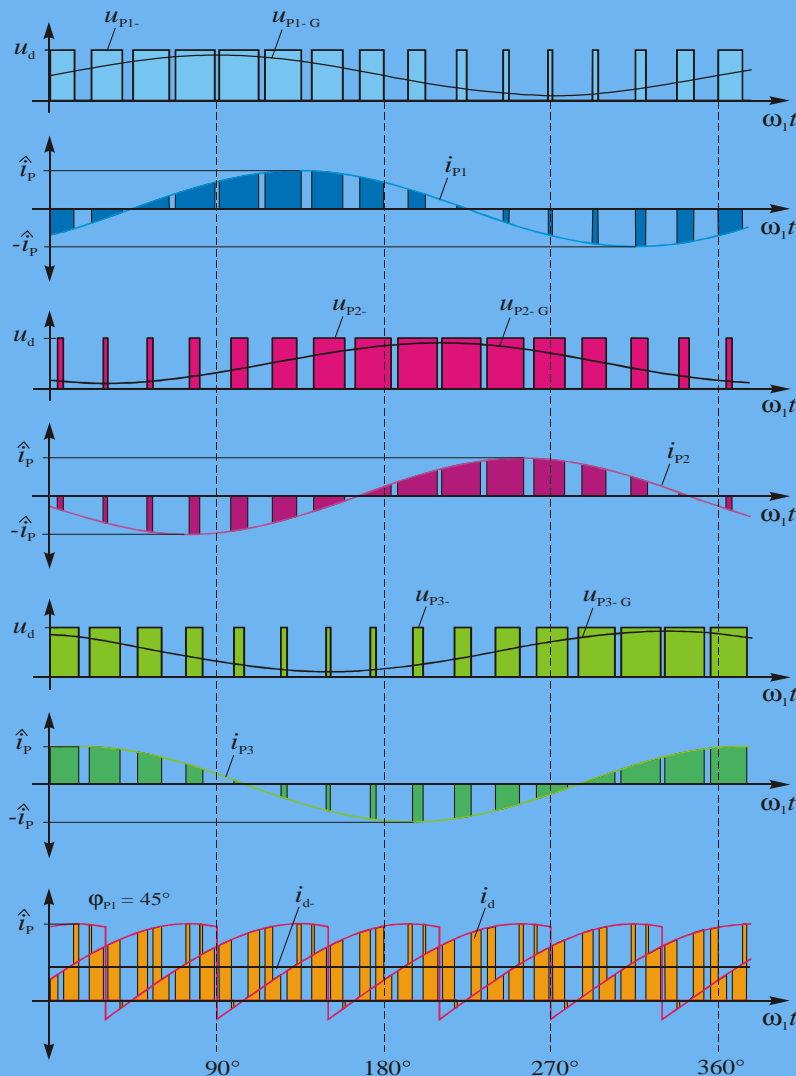
IGBT-Verluste



Dioden-Verluste



5. Konverter-Bauteilbelastung



← Konverter-
Eingangsstrom?
Strom im oberen Schaltelement
Phase 1

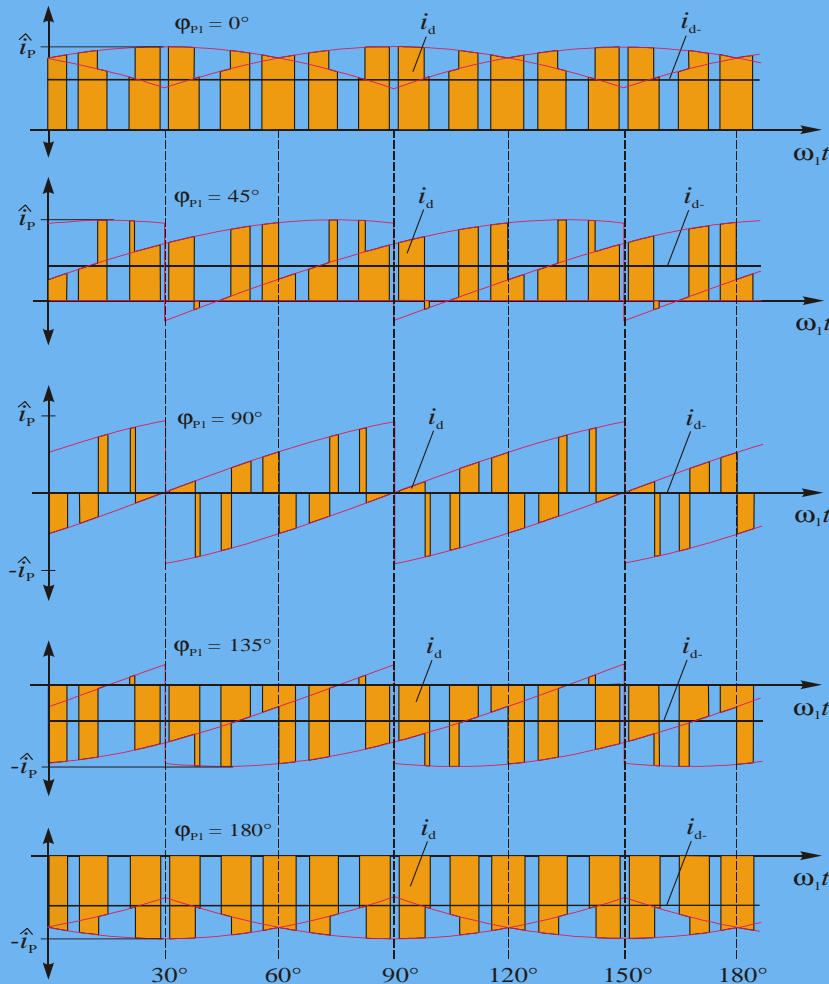
← Strom im oberen Schaltelement
Phase 2

← Strom im oberen Schaltelement
Phase 3

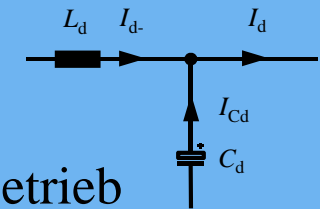
← Eingangsstrom des Konverters:
- Gleichanteil \approx Batteriestrom
- Wechselanteil \approx Kondensatorstrom

5. Konverter-Bauteilbelastung

Konverter-Eingangsstrom bei verschiedenen Phasenwinkeln



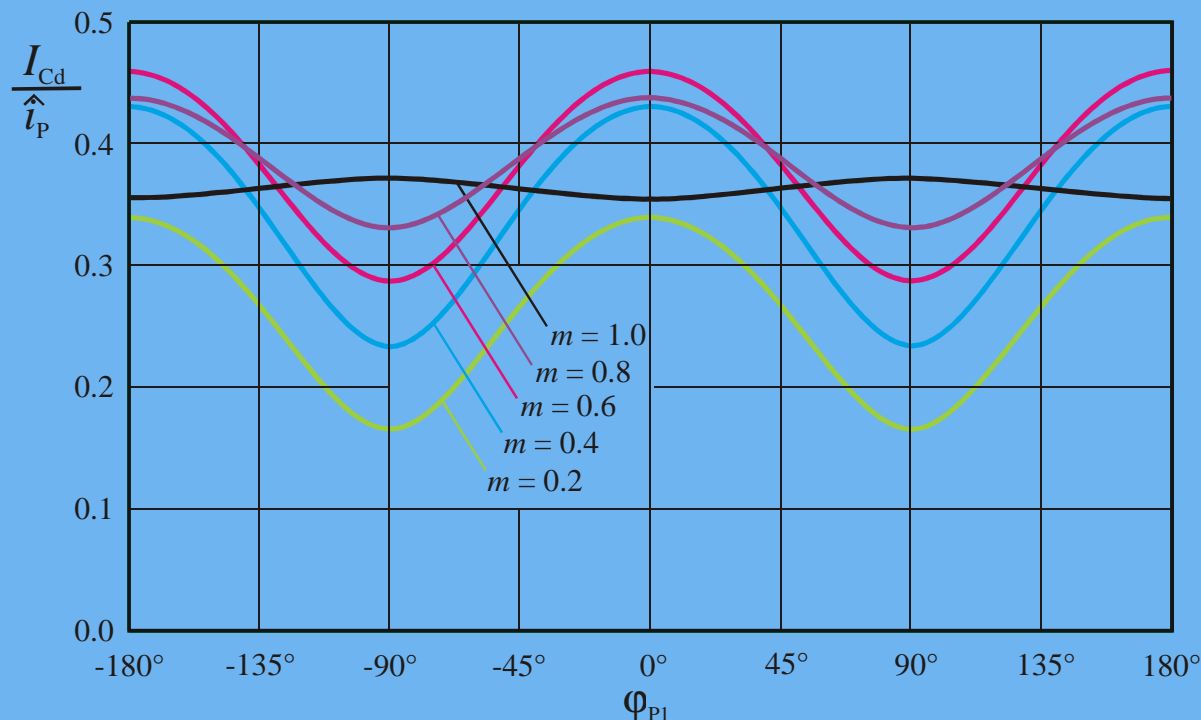
- $\varphi_{P1} = 0^\circ$ Motorbetrieb
- $\varphi_{P1} = 45^\circ$ Motorbetrieb
- $\varphi_{P1} = 90^\circ$ Induktive Last
- $\varphi_{P1} = 135^\circ$ Generatorbetrieb
- $\varphi_{P1} = 180^\circ$ Generatorbetrieb



5. Konverter-Bauteilbelastung

Stromeffektivwert in den Kondensatoren eines DC/AC-Konverters

- Abhängig von:
- Spitzenwert des Ausgangsstromes
 - Phasenverschiebungswinkel
 - Modulationsgrad



Maximalwert:

$$I_{Cd} = \sqrt{\frac{25}{12 \cdot \pi^2}} \cdot \hat{i}_P$$

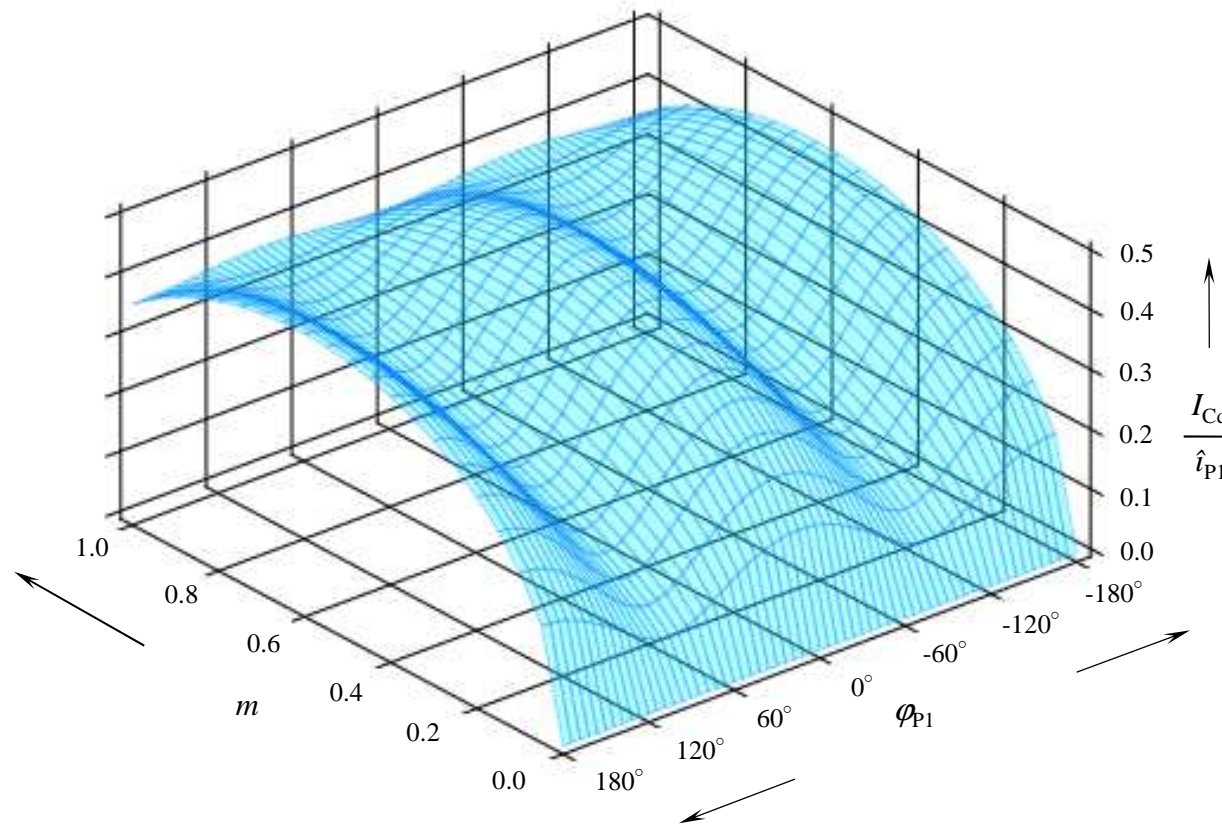
$$I_{Cd} = 0.65 \cdot I_P$$

für $\varphi_{P1} = 0^\circ$

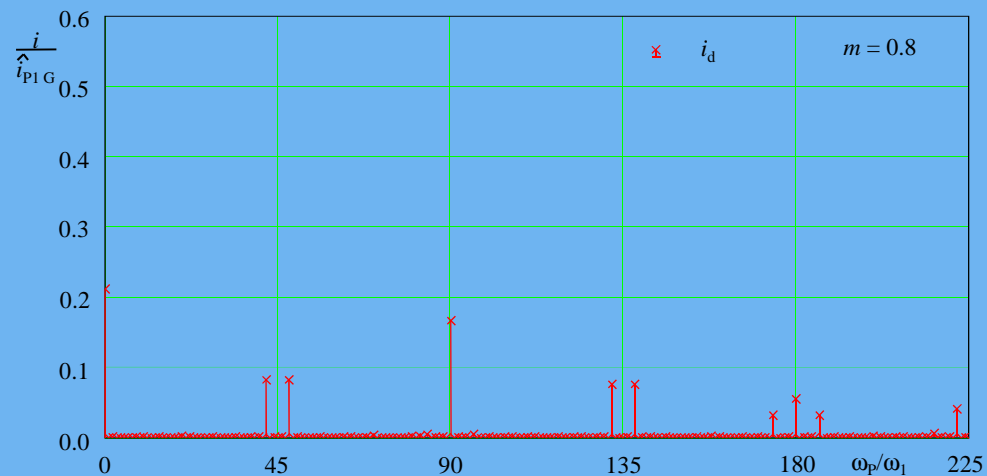
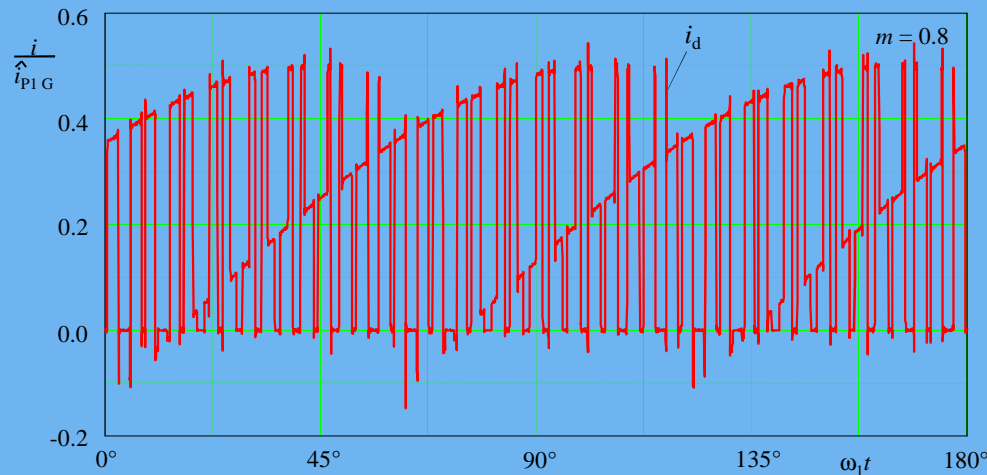
$$m \approx 0.613$$

5. Konverter-Bauteilbelastung

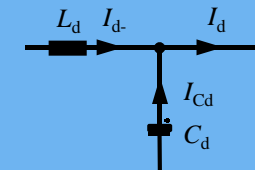
Stromeffektivwert in den Kondensatoren eines DC/AC-Konverters



5. Konverter-Bauteilbelastung



Strom i_d im Eingang des DC/AC-Konverters



Konverterdaten:

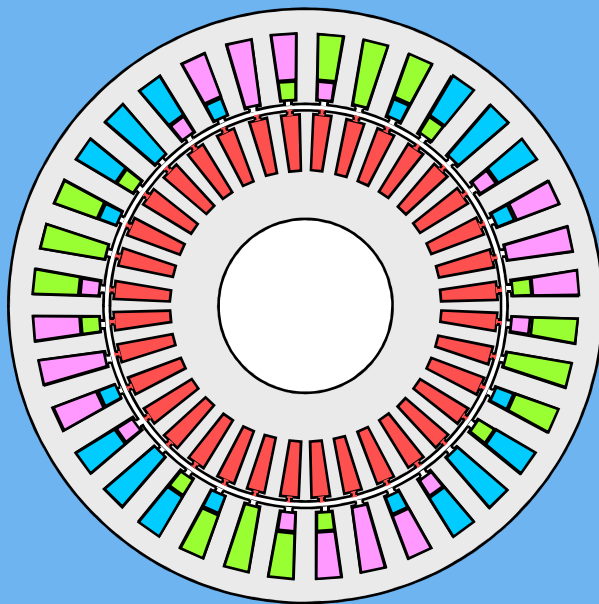
- Phasenverschiebung $\phi_{P1} = 45^\circ$
- Modulationsgrad $m = 0.8$
- Pulsfrequenz $f_p = 45 f_1$

Stromspektrum:

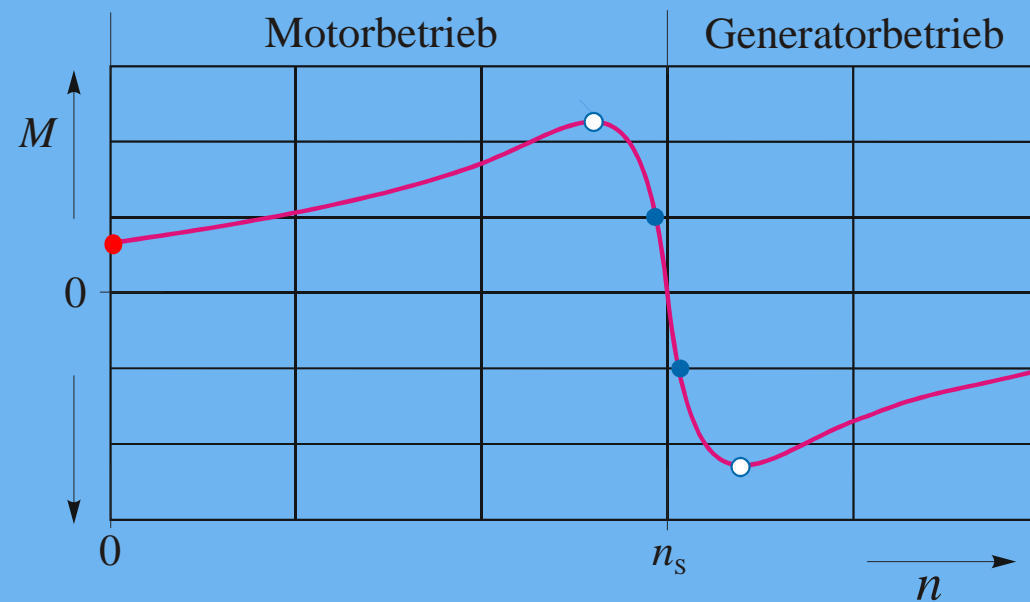
- Gleichanteil (Batteriestrom)
- Keine niederfrequenten Oberschwingungen
- Niedrigste Oberschwingungen im Bereich der Pulsfrequenz

6. Drehstrommaschinen-Ansteuerung

Betrieb einer Asynchronmaschine bei konstanter Frequenz



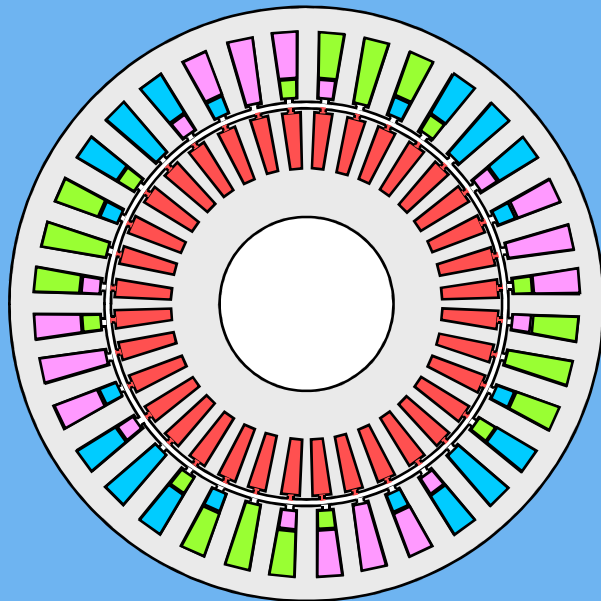
Aufbau einer Asynchronmaschine



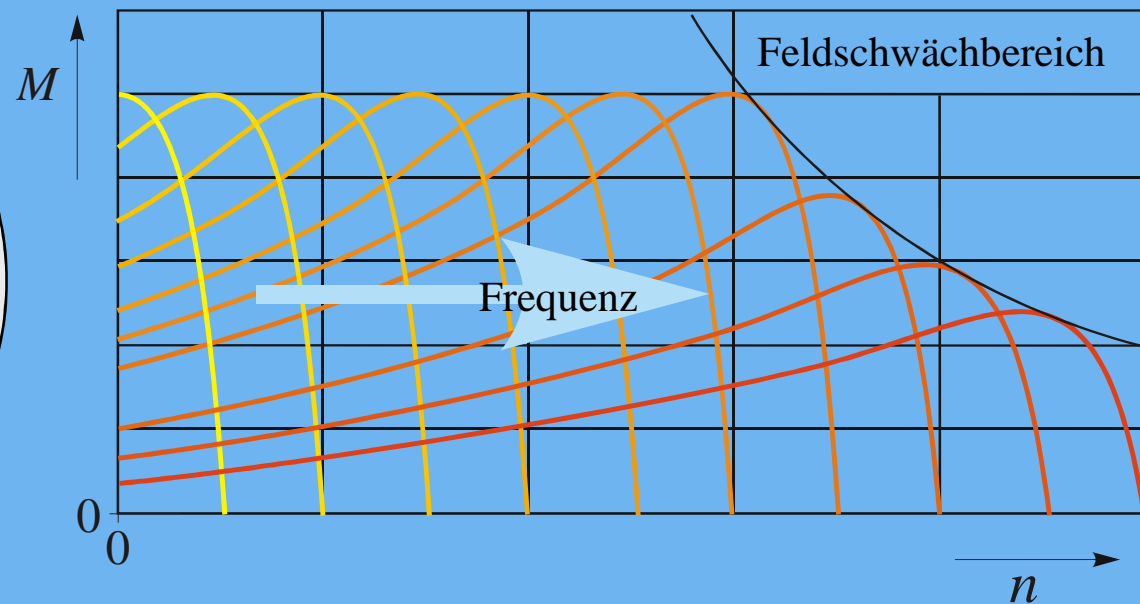
- Anlaufmoment
- Nennmoment
- Kippmoment

6. Drehstrommaschinen-Ansteuerung

Betrieb einer Asynchronmaschine bei veränderlicher Frequenz



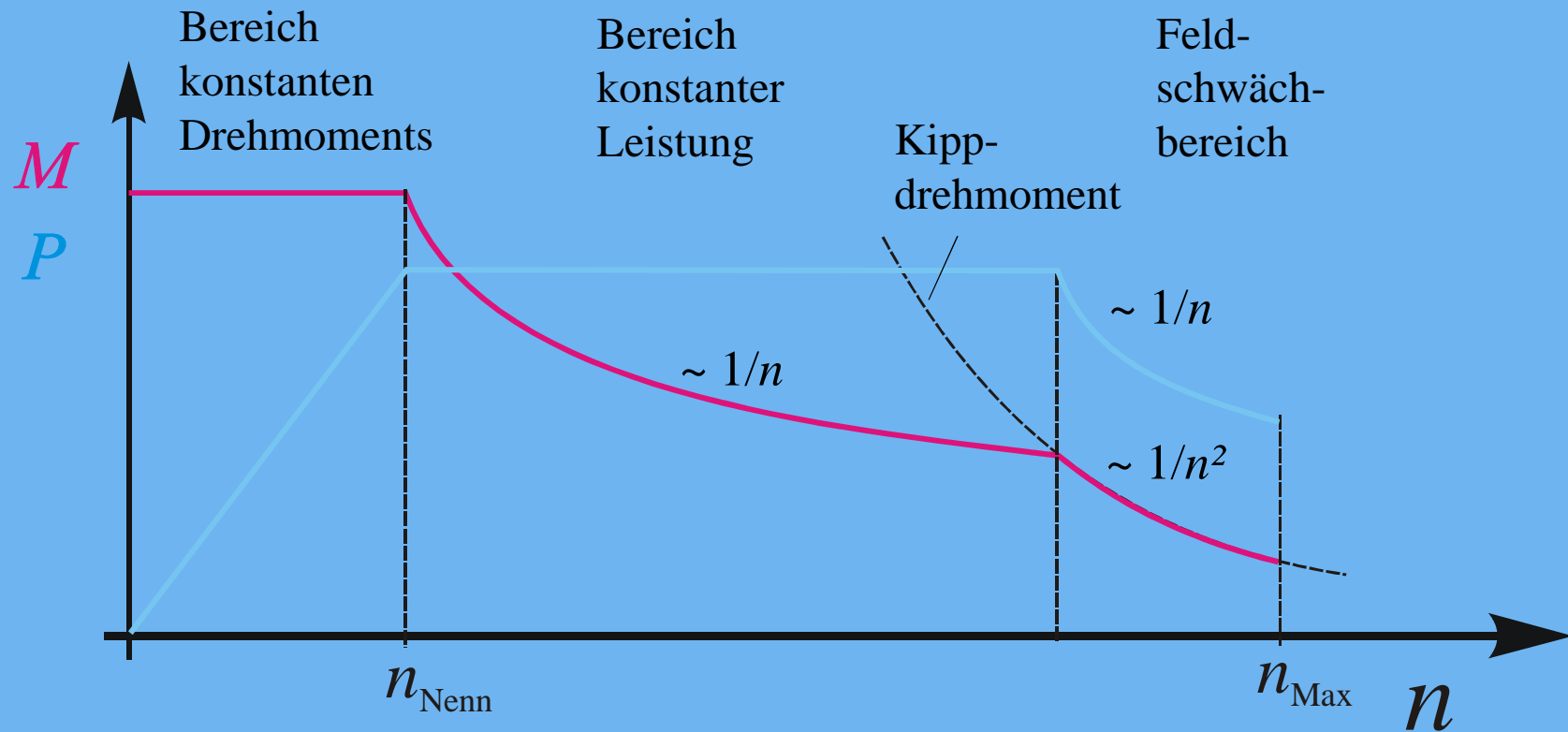
Aufbau einer
Asynchronmaschine



- Drehzahl beliebig veränderbar
- Anlauf mit Kippmoment möglich

6. Drehstrommaschinen-Ansteuerung

Klassische Betriebsgrenzen einer Asynchronmaschine bei Ansteuerung mit einem DC/AC-Konverter



6. Drehstrommaschinen-Ansteuerung



Elektrisches Antriebssystem
für einen
Mild-Hybrid

- Asynchronmaschine
in "Pancake" Form
(oben)
- Elektronisches Steuergerät
mit DC/AC-Konverter
(unten)

Quelle: Continental [1,2,3]

- [1] Renken F.: Leistungselektronik bei der Energieerzeugung und -verteilung im Kraftfahrzeug, Seminar: Leistungselektronik in der Automobiltechnik, OTTI Technik-Kolleg Regensburg 04.-06. Juli 2007
- [2] Renken F., Karrer V., Skotzek P.: The Starter Generator – Systems, Functions and Components, 30th FISITA World Automotive Congress Barcelona, Spain 23-27 May 2004
- [3] Karrer V., Renken F.: Power Electronics for the Integrated Starter Generator, HDT International ISG Conference Munich 2002, Proceedings: Expert-Verlag ISBN 3-8169-2977-2, Optimization of the Power Train in Vehicles by Using the Integrated Starter Generator (ISG), pp. 222-247
- [4] Renken F.: Analytic Calculation of the DC-Link Capacitor Current for Pulsed Three-Phase Inverters. 11th EPE-PEMC Meeting Riga, Latvia 2-4 September 2004, Papers on CD-ROM ISBN 9984-32-033-2
- [5] Bielefeld M., Bieler N.: Modulare Hybrid-Antriebe, Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) September 2005 s. 738-745