

# 4. Übung: Energieübertragung und Netzregelung

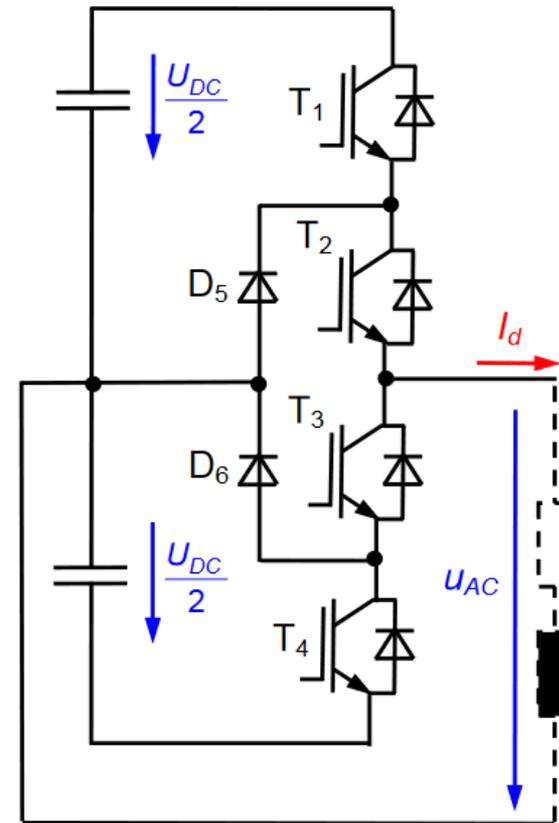
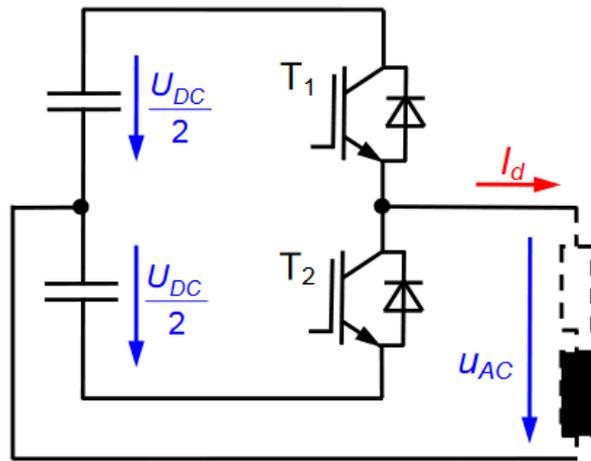
Institut für Elektroenergiesysteme und Hochspannungstechnik



# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

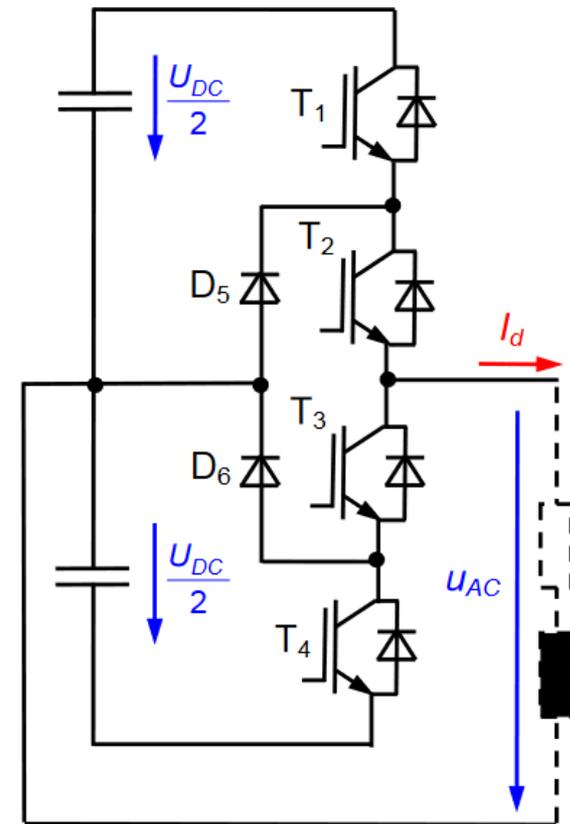
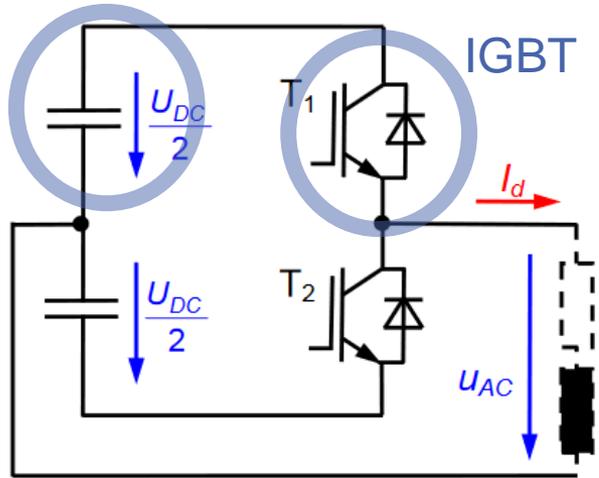
# 2- und 3-Level Umrichter



2 bzw. 3 Spannungsstufen stehen zur Verfügung

# 2- und 3-Level Umrichter

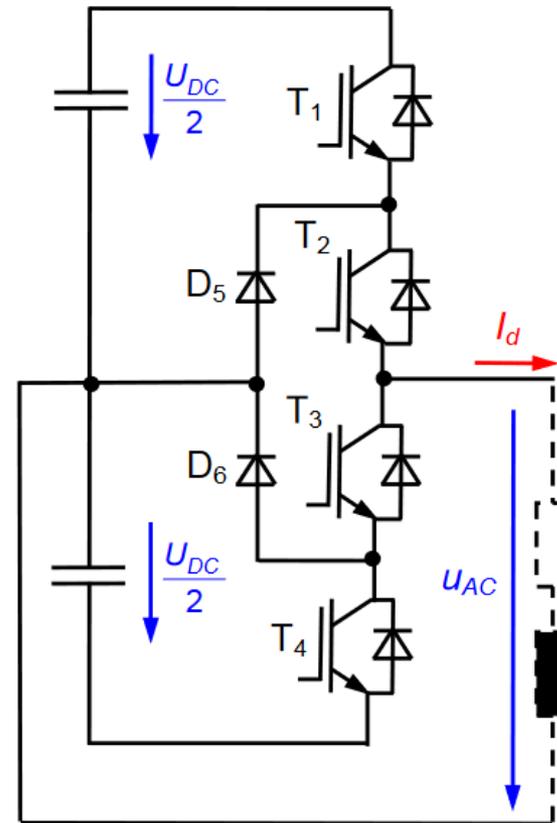
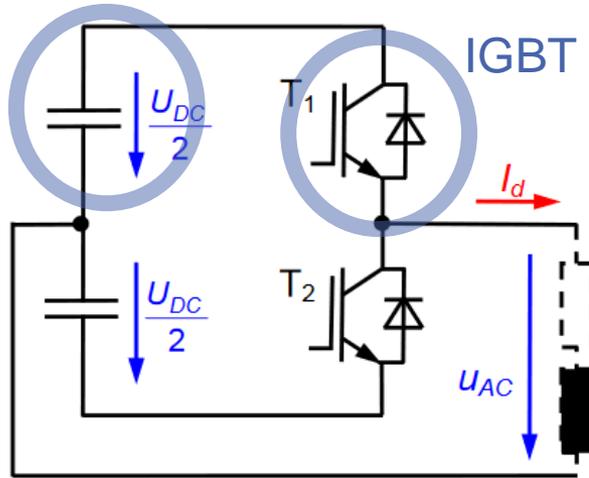
Zwischenkreis-  
kapazität



2 bzw. 3 Spannungsstufen stehen zur Verfügung

# 2- und 3-Level Umrichter

Zwischenkreis-  
kapazität



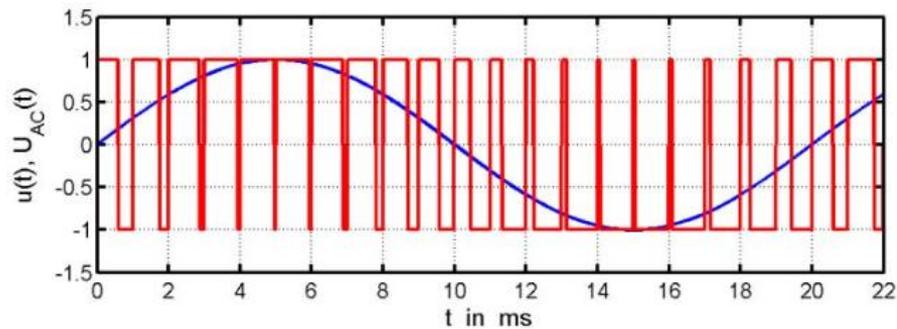
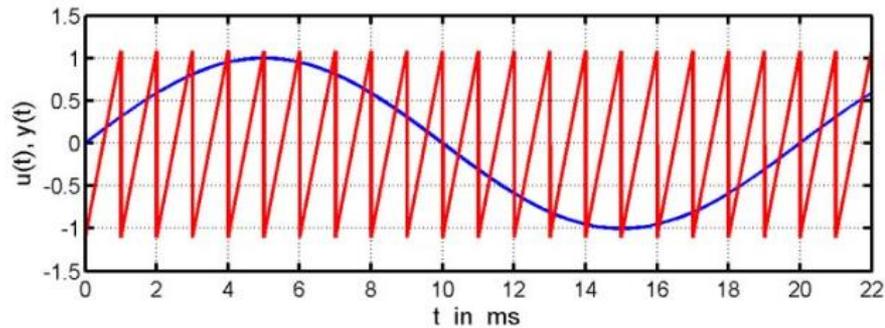
2 bzw. 3 Spannungsstufen stehen zur Verfügung

→ *Wie kann eine sinusförmige Spannung approximiert werden?*

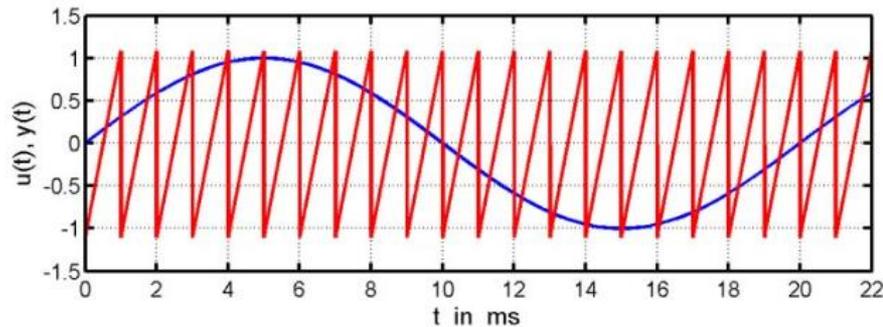
# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - **Sinus-PWM**
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

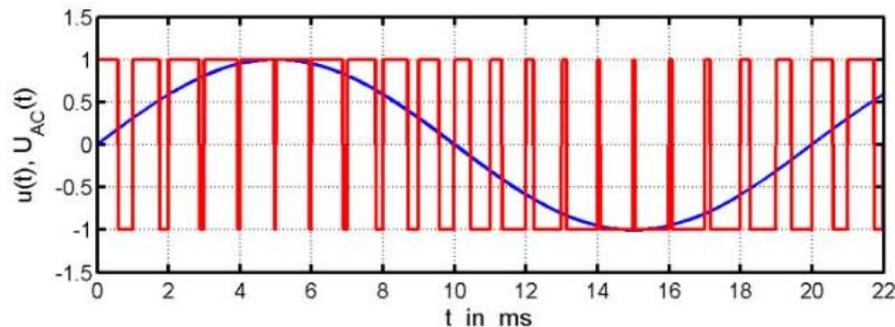
# 2- und 3-Level Umrichter – Sinus PWM



# 2- und 3-Level Umrichter – Sinus PWM



+ Einfach zu implementieren

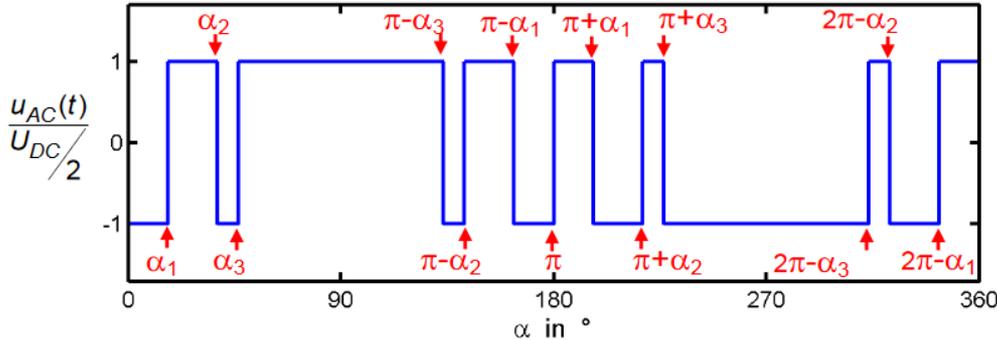


- Geringe Spannungsqualität  
bzw. starke Oberschwingungen

# Themen 3. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - **Selected Harmonic Elimination-PWM**
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

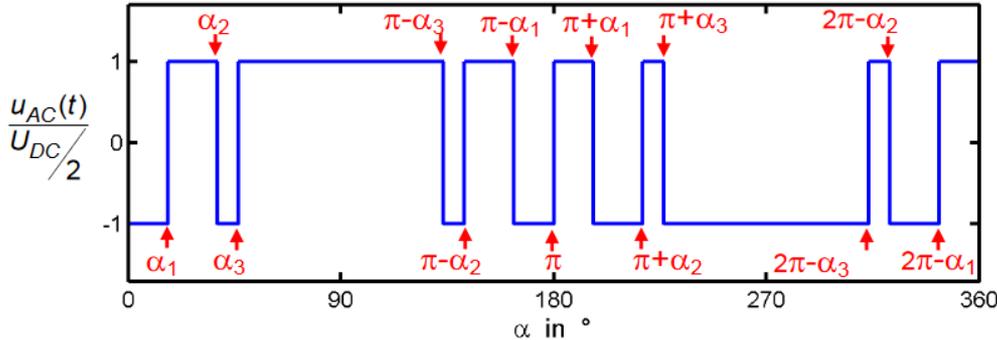
# 2- und 3-Level Umrichter – Selected Harmonic Elimination PWM



## Vorgehensweise:

5. und 7. Oberschwingung soll unterdrückt werden. Bestimmen der Schaltwinkel durch Lösen eines Gleichungssystems basierend auf den Fourierkoeffizienten.

# 2- und 3-Level Umrichter – Selected Harmonic Elimination PWM



## Vorgehensweise:

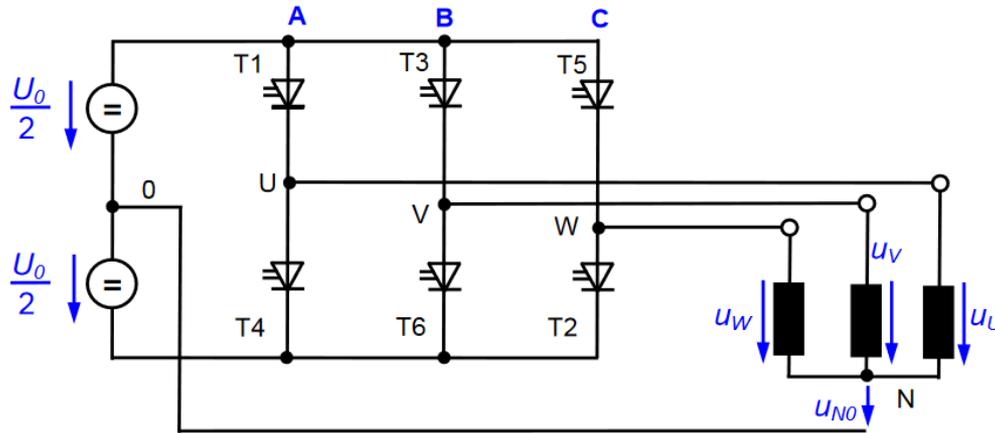
5. und 7. Oberschwingung soll unterdrückt werden. Bestimmen der Schaltwinkel durch Lösen eines Gleichungssystems basierend auf den Fourierkoeffizienten.

- + Weniger Oberschwingungen
- + Niedrige Schaltfrequenz
- Für andere Amplitude erneutes Lösen des Gleichungssystems notwendig

# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - **Raumzeigermodulation**
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

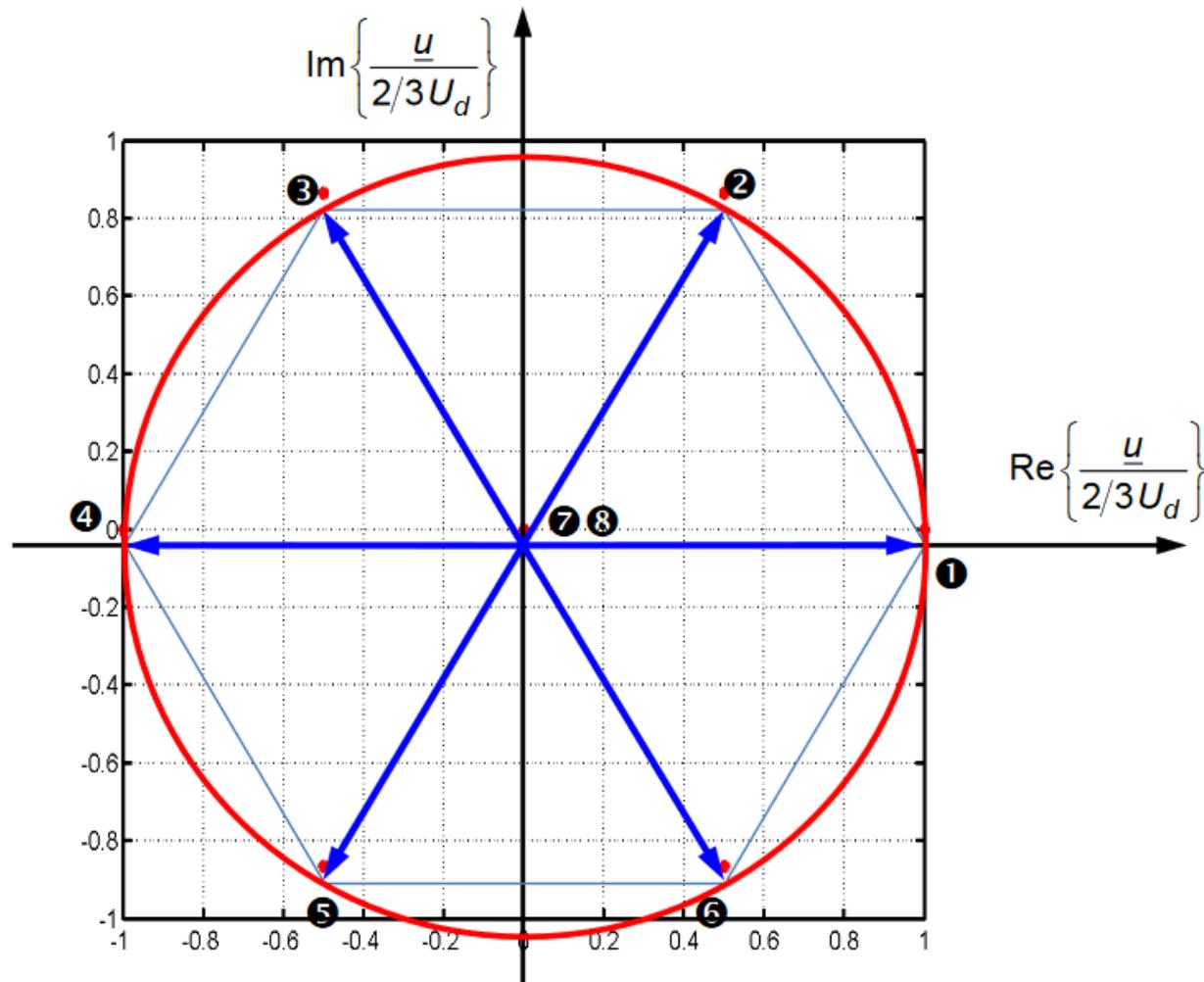
# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation



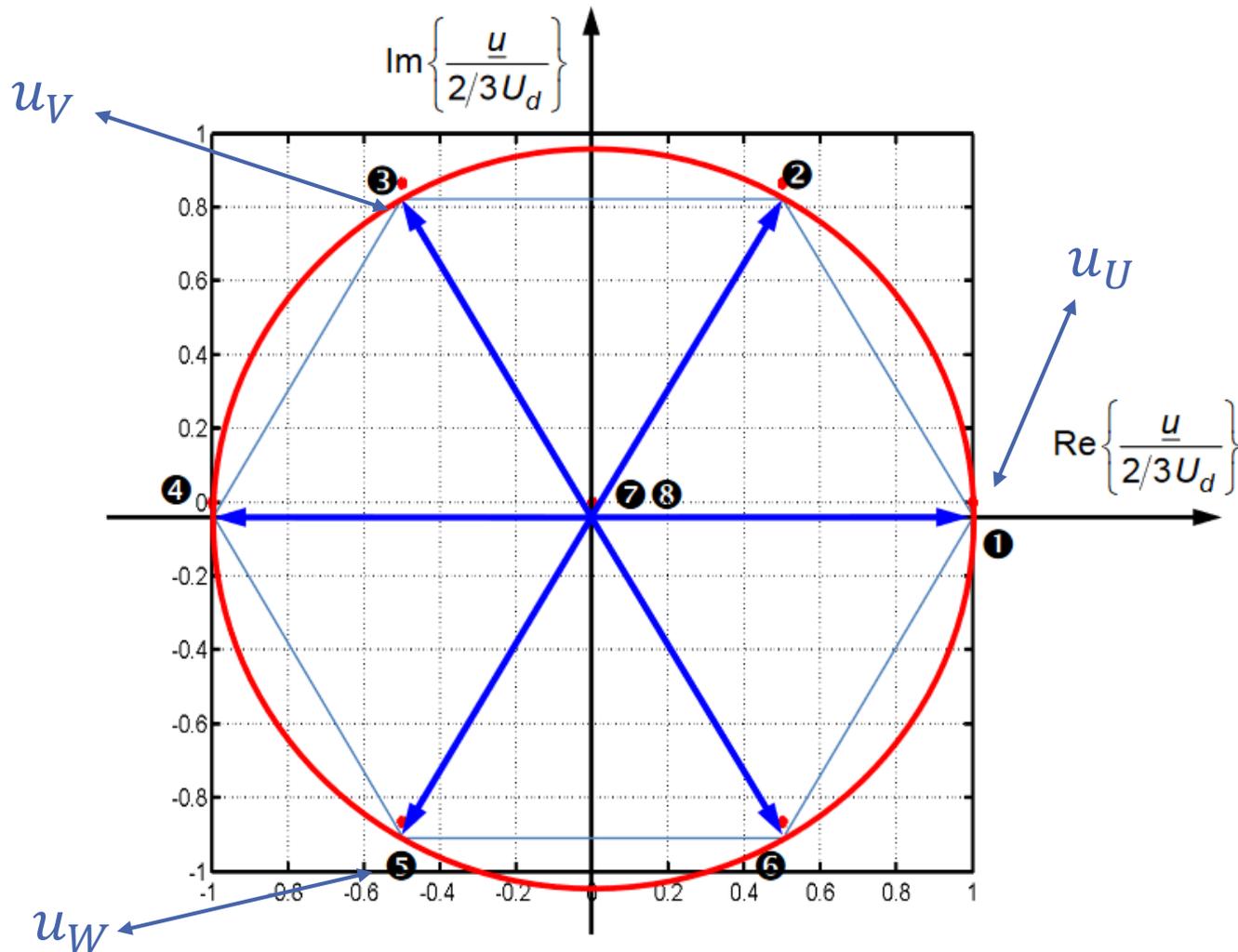
- Sternschaltung notwendig
- Acht mögliche Schaltzustände
- An jeder Phase fünf Spannungsstufen verfügbar
- Für einfacheres Verständnis werden die Spannungen in Raumzeigerdarstellung betrachtet

Schaltzustand				Sternspannungen				Spannungsraumzeiger			
Nr.	A	B	C	$u_U/U_d$	$u_V/U_d$	$u_W/U_d$	$u_{N0}/U_d$	$u_\alpha$	$u_\beta$	$ \underline{u} $	$\gamma$
1	<b>T1</b>	T6	T2	2/3	-1/3	-1/3	-1/6	2/3	0	2/3	0
2	<b>T1</b>	<b>T3</b>	T2	1/3	1/3	-2/3	1/6	1/3	$\sqrt{3}/3$	2/3	60
3	T4	<b>T3</b>	T2	-1/3	2/3	-1/3	-1/6	-1/3	$\sqrt{3}/3$	2/3	120
4	T4	<b>T3</b>	<b>T5</b>	-2/3	1/3	1/3	1/6	-2/3	0	2/3	180
5	T4	T6	<b>T5</b>	-1/3	-1/3	2/3	-1/6	-1/3	$-\sqrt{3}/3$	2/3	240
6	<b>T1</b>	T6	<b>T5</b>	1/3	-2/3	1/3	1/6	1/3	$-\sqrt{3}/3$	2/3	300
7	<b>T1</b>	<b>T3</b>	<b>T5</b>	0	0	0	1/2	0	0	0	-
8	T4	T6	T2	0	0	0	-1/2	0	0	0	-

# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

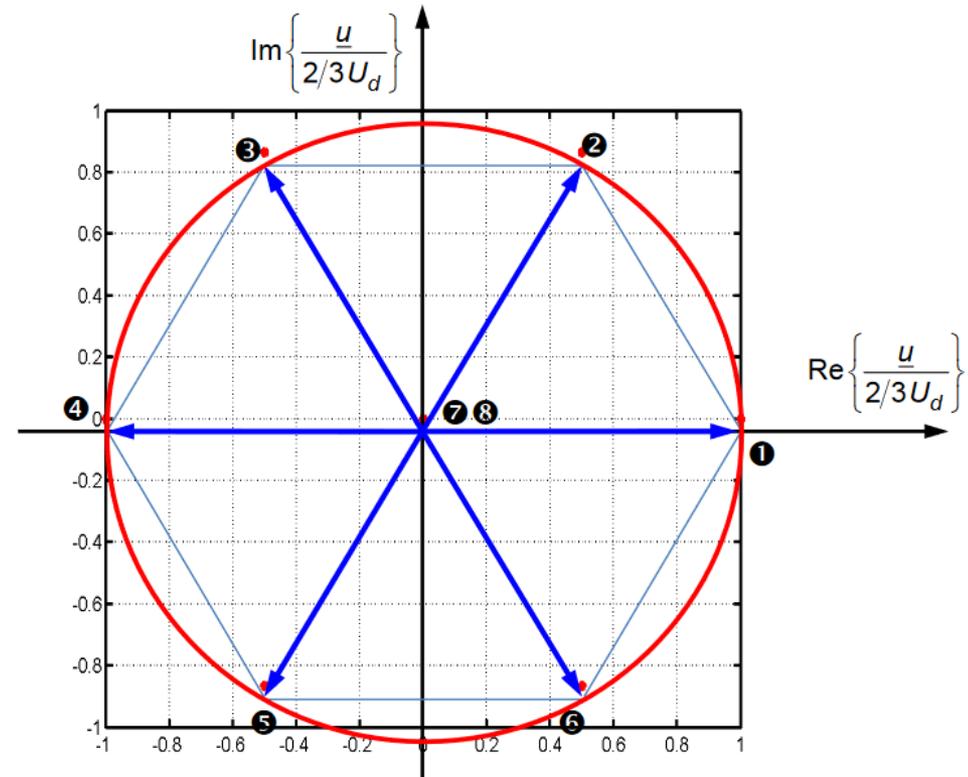


# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation



# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

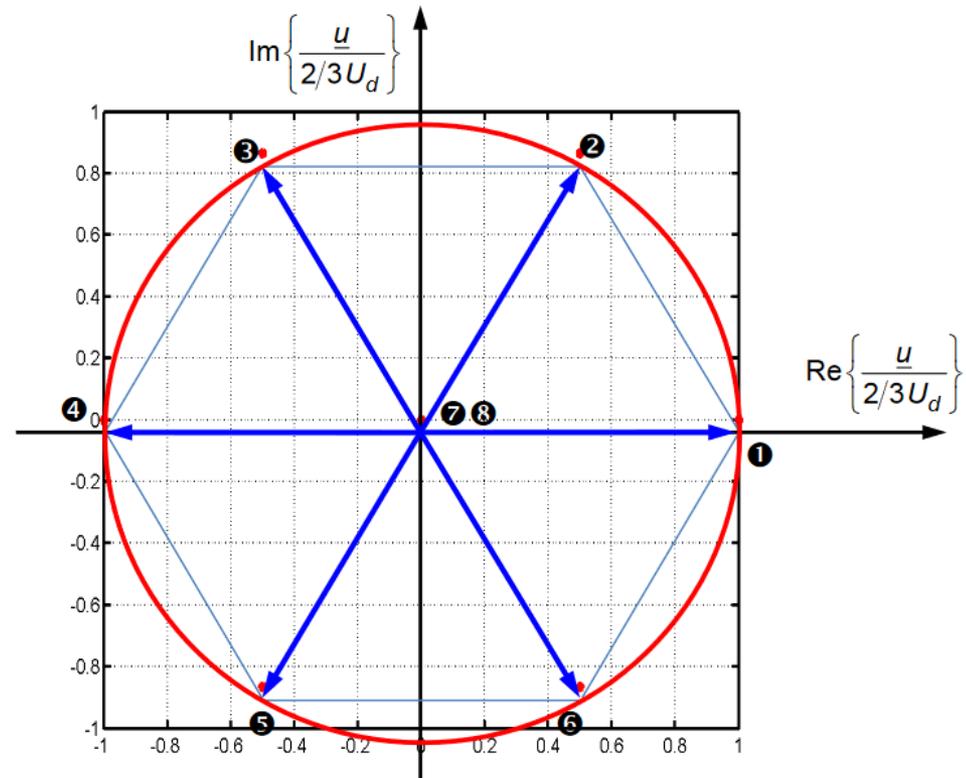
Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.



# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

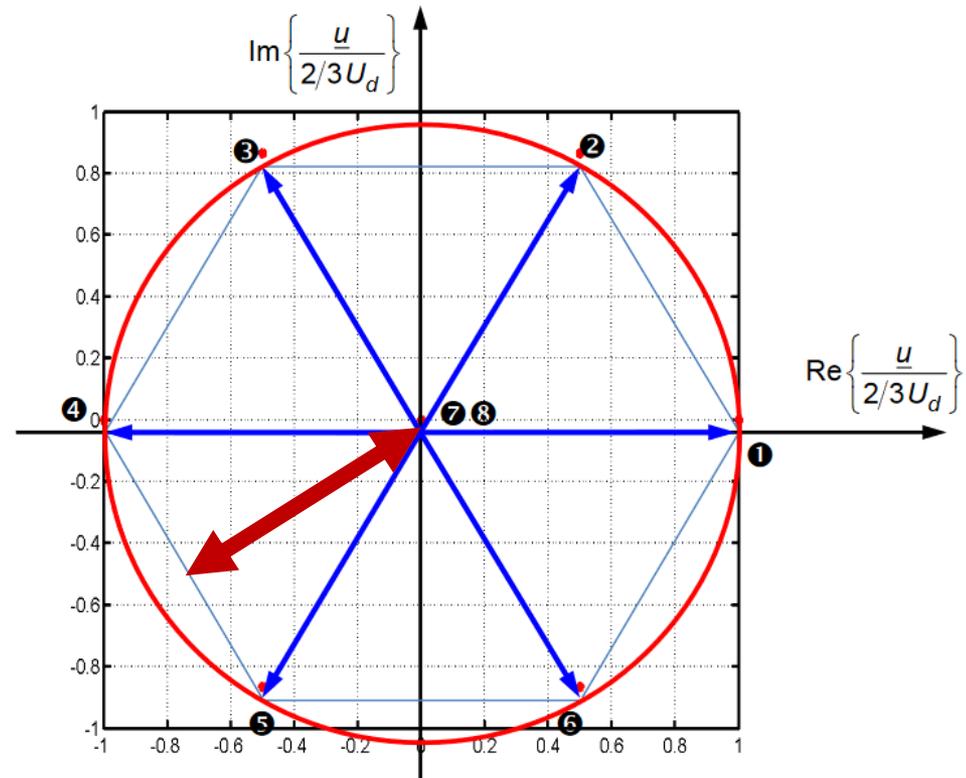
*Maximal mögliche Amplitude einer Drehspannung?*



# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

*Maximal mögliche Amplitude einer Drehspannung?*

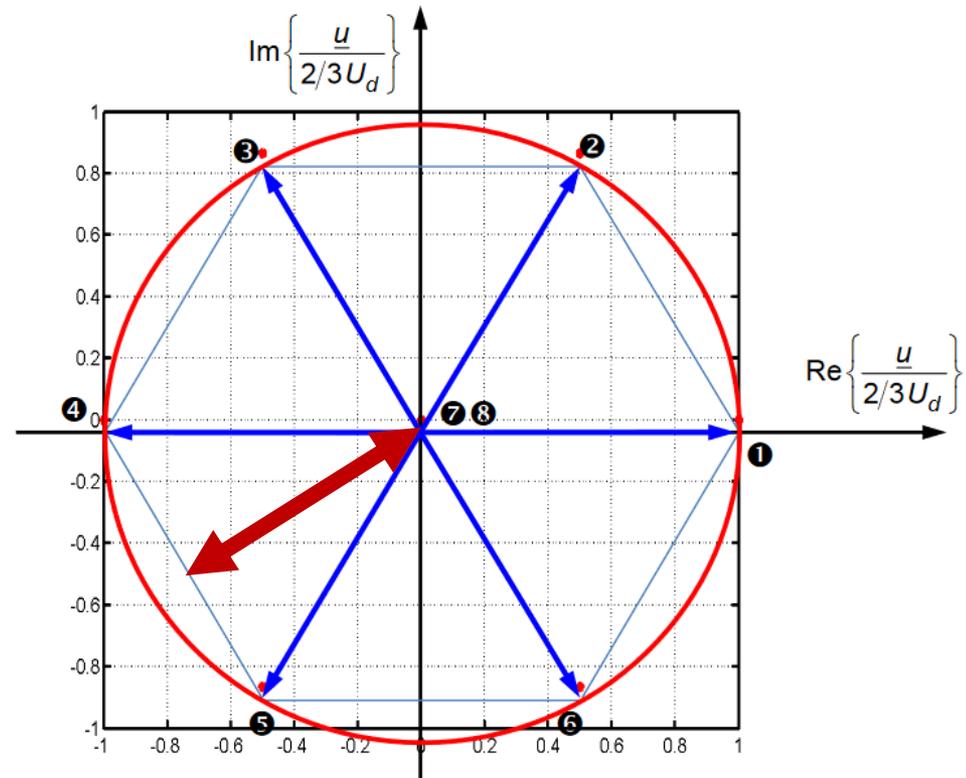


# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

*Maximal mögliche Amplitude einer Drehspannung?*

Beachten:  
 Amplitude entspricht NICHT der Nennspannung (vgl. Aufgabe 9 b)

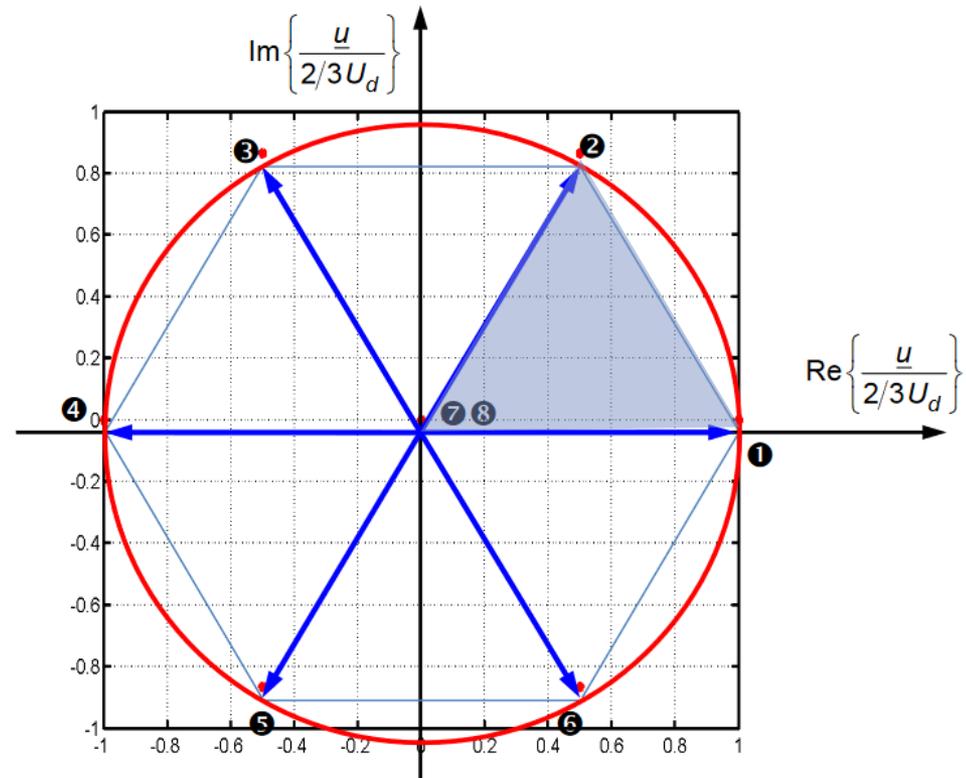


# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

$$t_1 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(60^\circ - \gamma)$$

$$t_2 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\gamma)$$



Formel gilt innerhalb des ersten Dreiecks (zwischen Zustand 1, 2 und 7/8).  
 In anderen Bereichen gilt entsprechendes für  $t_n$ .

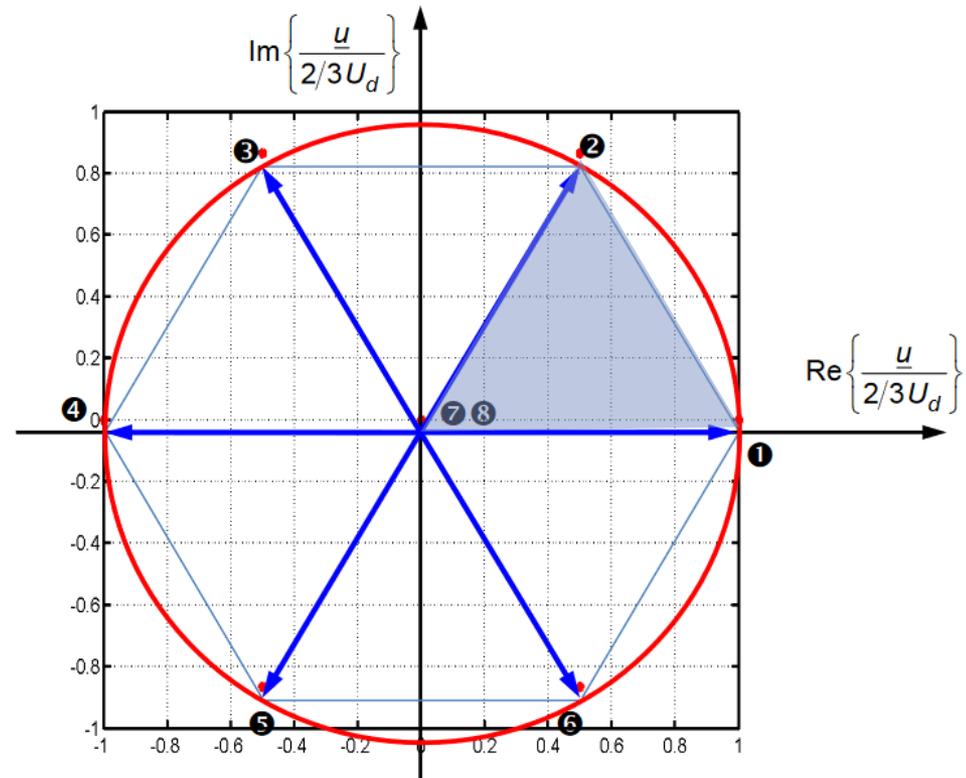
# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

Dauer Zustand 1

$$t_1 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(60^\circ - \gamma)$$

$$t_2 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\gamma)$$



Formel gilt innerhalb des ersten Dreiecks (zwischen Zustand 1, 2 und 7/8). In anderen Bereichen gilt entsprechendes für  $t_n$ .

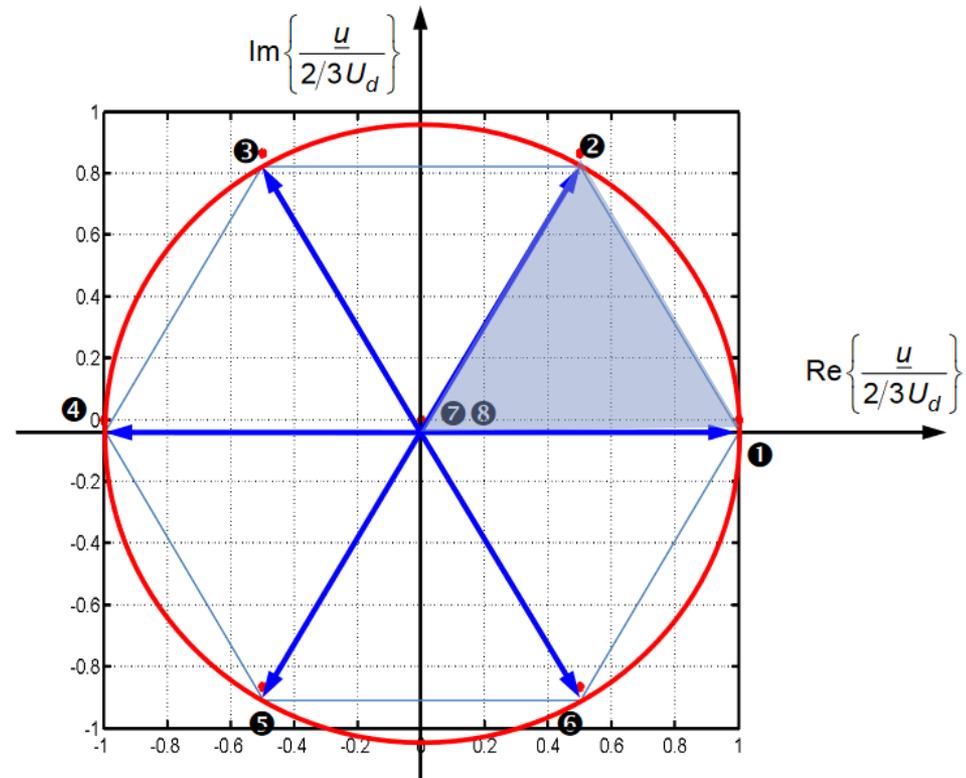
# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

Dauer Abtastperiode

$$t_1 = \frac{|u| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(60^\circ - \gamma)$$

$$t_2 = \frac{|u| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\gamma)$$



Formel gilt innerhalb des ersten Dreiecks (zwischen Zustand 1, 2 und 7/8). In anderen Bereichen gilt entsprechendes für  $t_n$ .

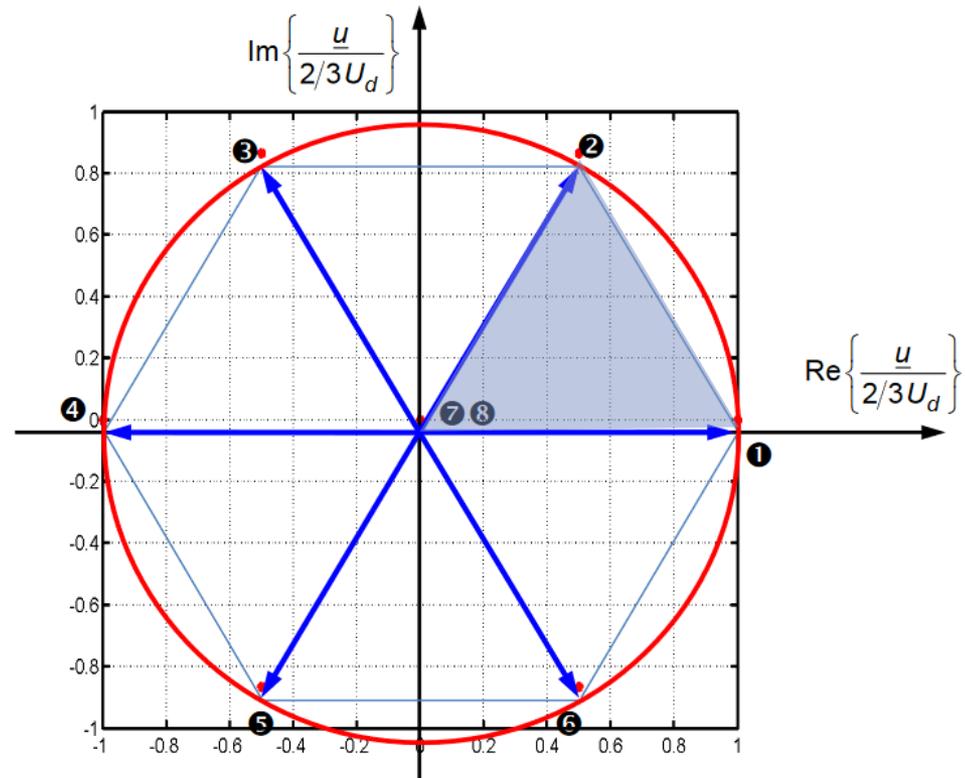
# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

Phasenlage

$$t_1 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(60^\circ - \gamma)$$

$$t_2 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\gamma)$$



Formel gilt innerhalb des ersten Dreiecks (zwischen Zustand 1, 2 und 7/8). In anderen Bereichen gilt entsprechendes für  $t_n$ .

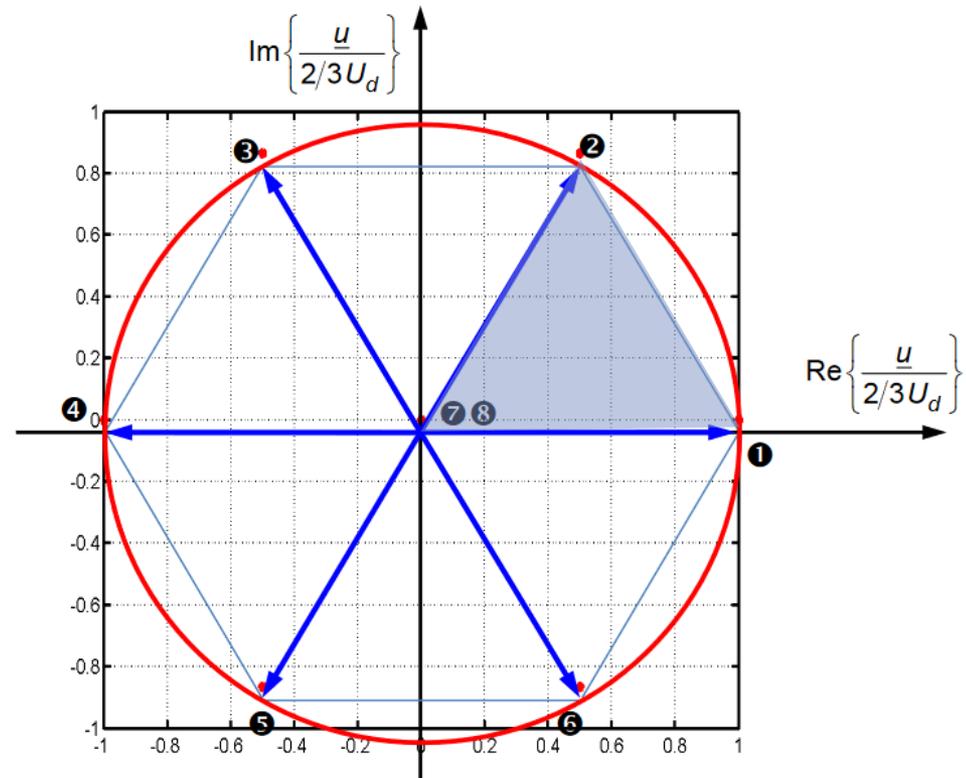
# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

Entspricht Amplitude der Sternspannung

$$t_1 = \frac{|u| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(60^\circ - \gamma)$$

$$t_2 = \frac{|u| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\gamma)$$



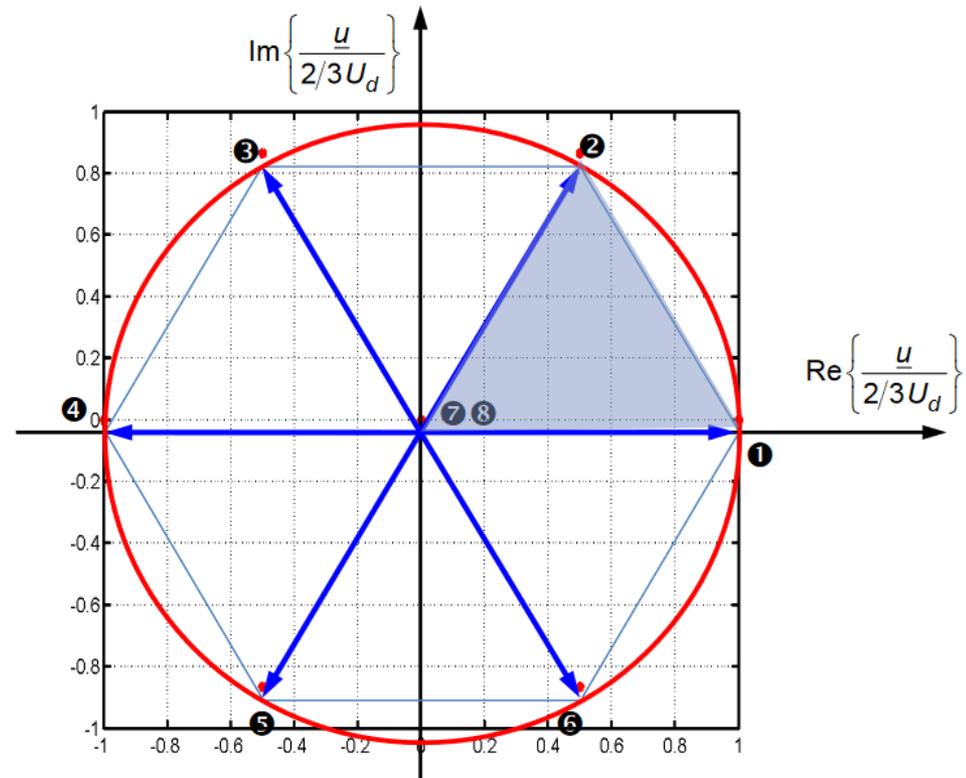
Formel gilt innerhalb des ersten Dreiecks (zwischen Zustand 1, 2 und 7/8). In anderen Bereichen gilt entsprechendes für  $t_n$ .

# 2- und 3-Level Umrichter – Raumzeigermodulation

Durch schnellen Wechsel zwischen den acht möglichen Schaltzuständen kann jede Spannung innerhalb des blauen Sechseck approximiert werden.

$$t_1 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(60^\circ - \gamma)$$

$$t_2 = \frac{|\underline{u}| \cdot T_0}{U_d} \cdot \sqrt{3} \cdot \sin(\gamma)$$



Formel gilt innerhalb des ersten Dreiecks (zwischen Zustand 1, 2 und 7/8). In anderen Bereichen gilt entsprechendes für  $t_n$ .

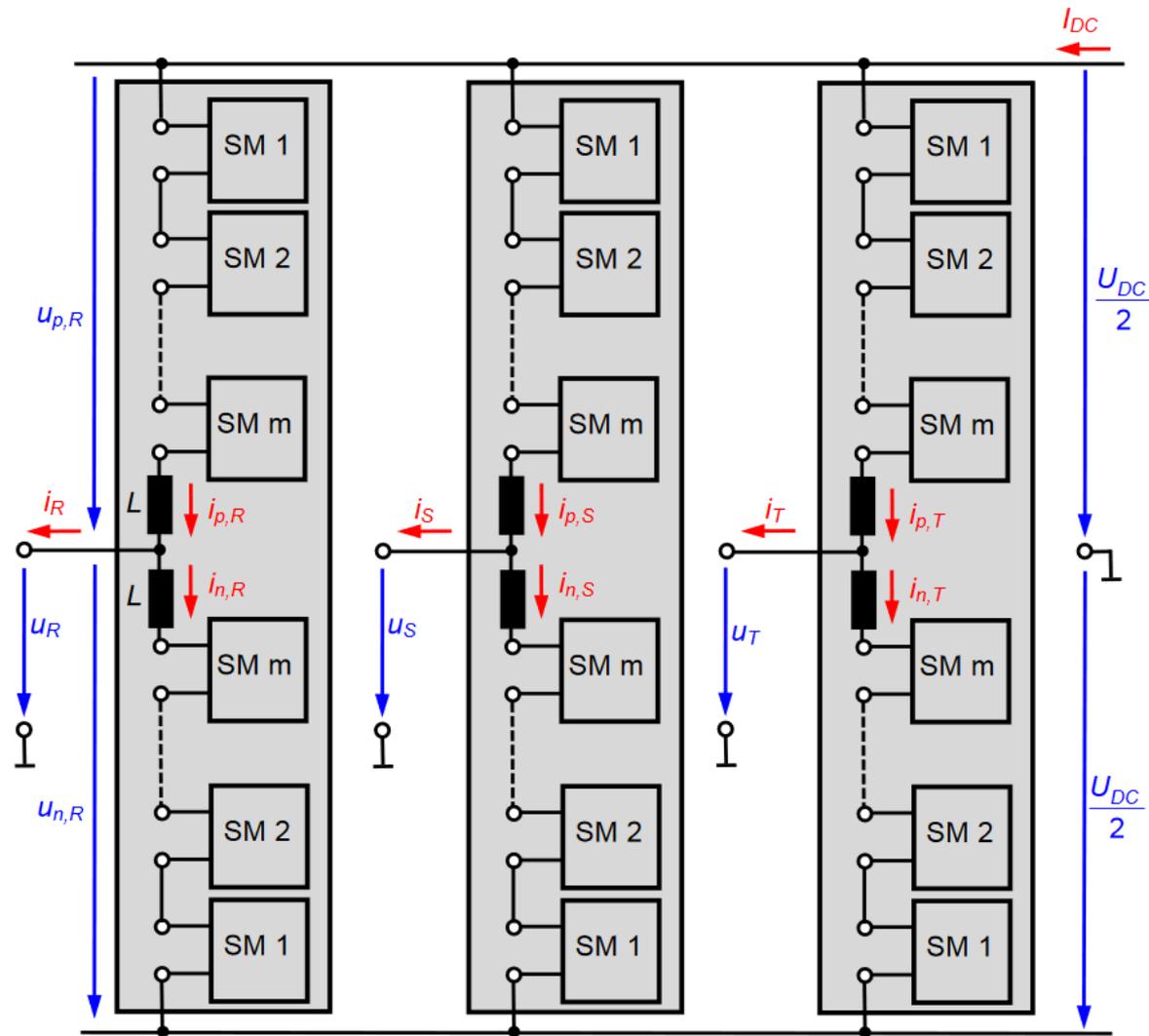
Die übrige Zeit ist  $t_7$  bzw.  $t_8$ .

Wechsel zwischen Zuständen mit möglichst wenig Schalthandlungen. Vgl. Aufgabe 9a)

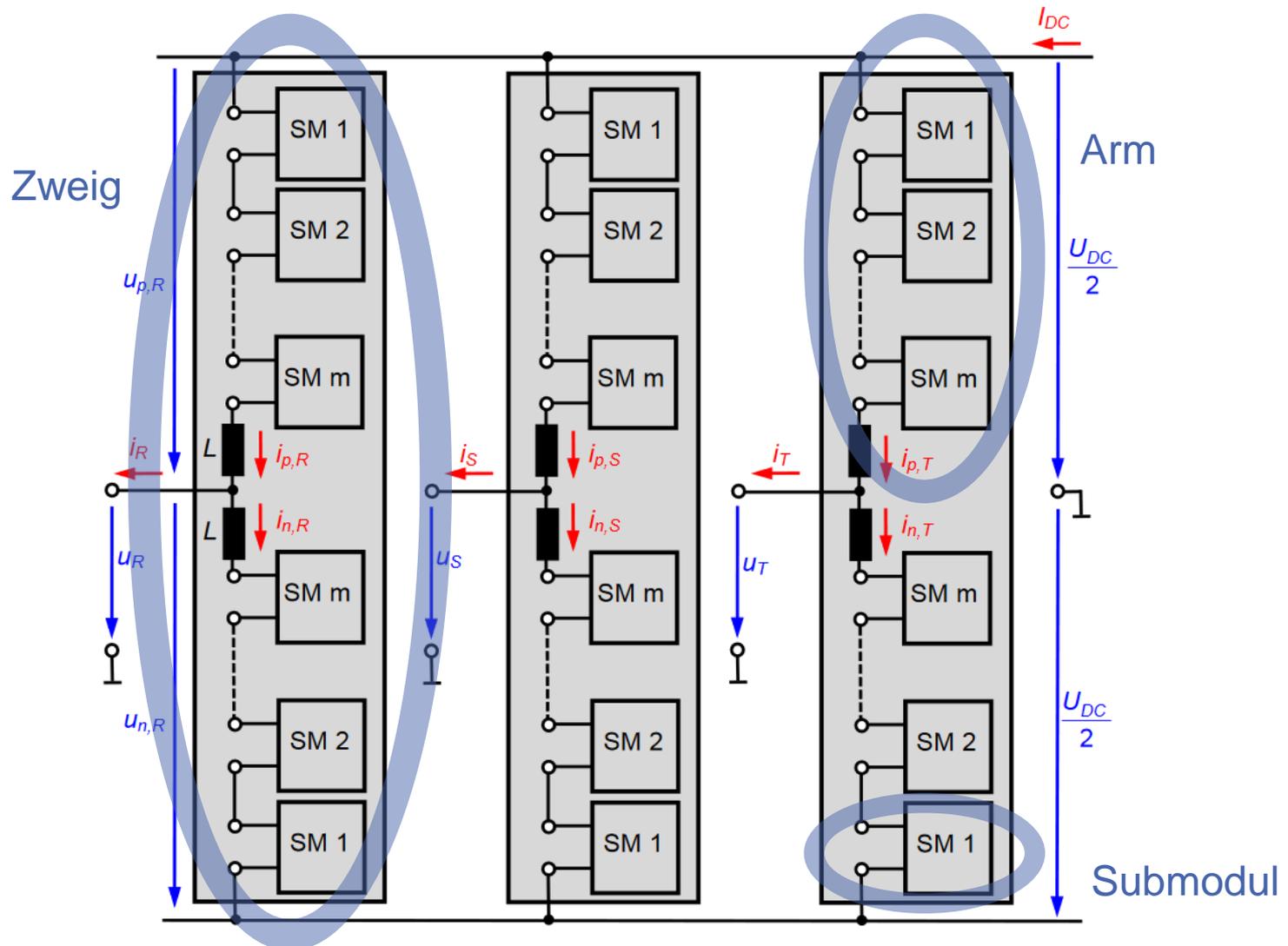
# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - **Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)**
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

# Modularer Multi-Level Umrichter (MMC) – Aufbau



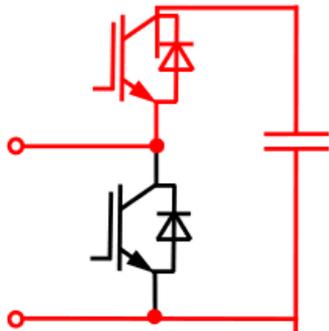
# Modularer Multi-Level Umrichter (MMC) – Aufbau



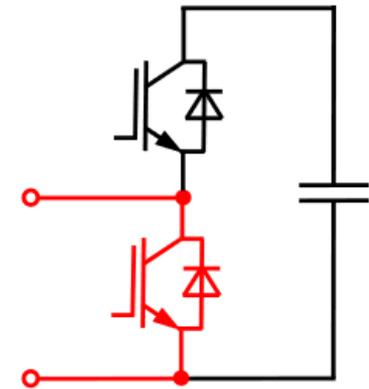
# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - **Submodul (Halbbrücke)**
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

# MMC – Submodul (Halbbrücke)



Kondensatorspannung  
an Klemmen

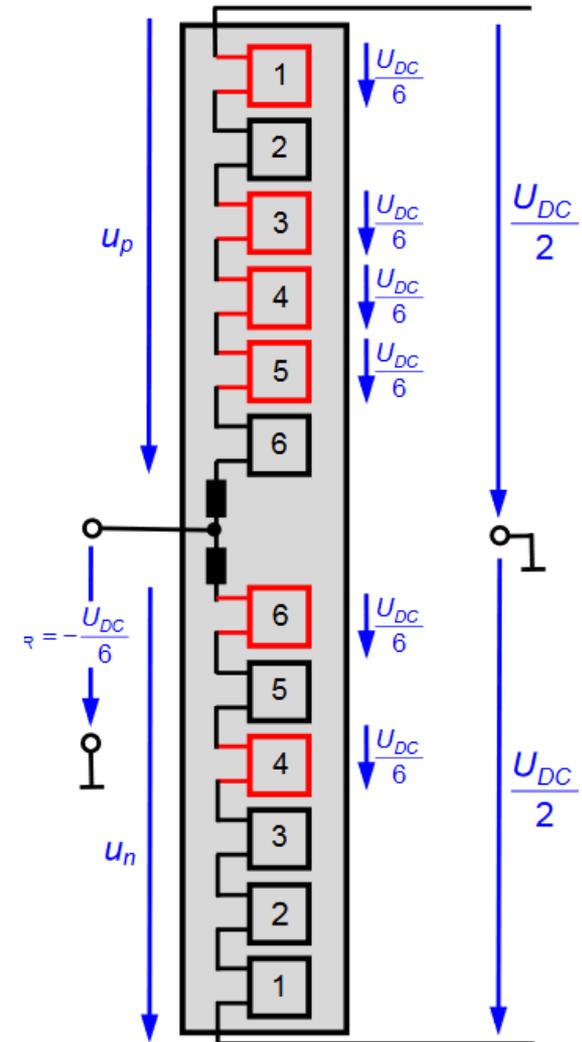
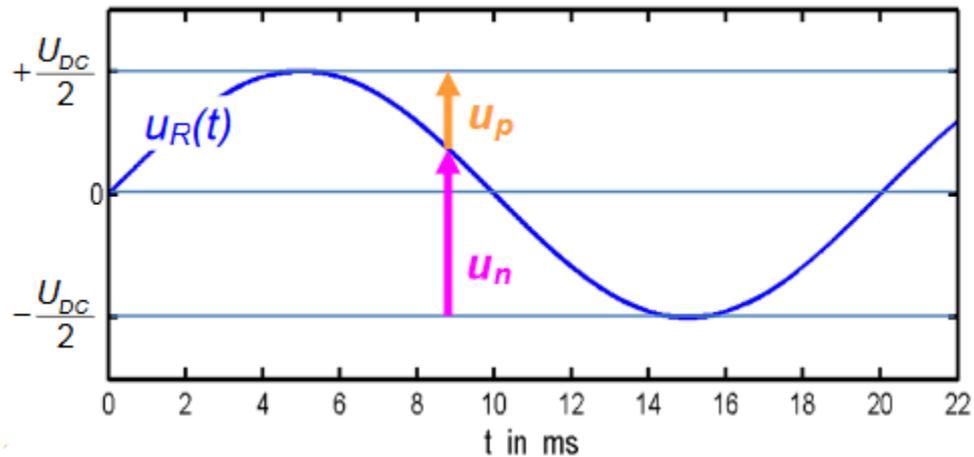


Keine Spannung  
an Klemmen

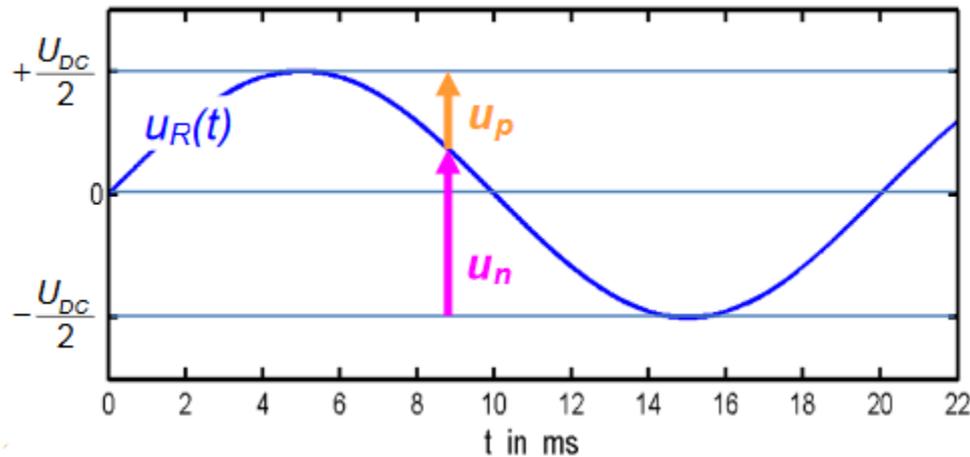
# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - **Modulation**
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

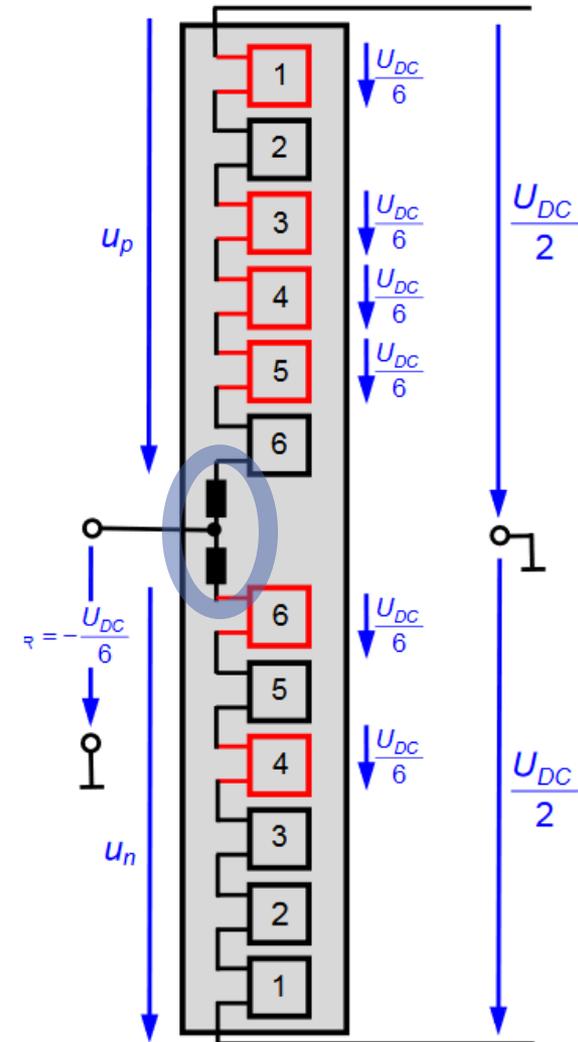
# MMC – Modulation



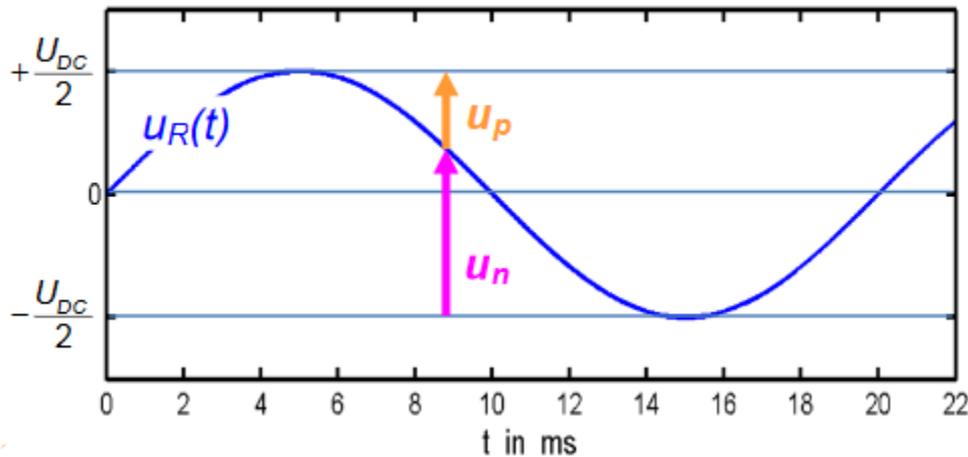
# MMC – Modulation



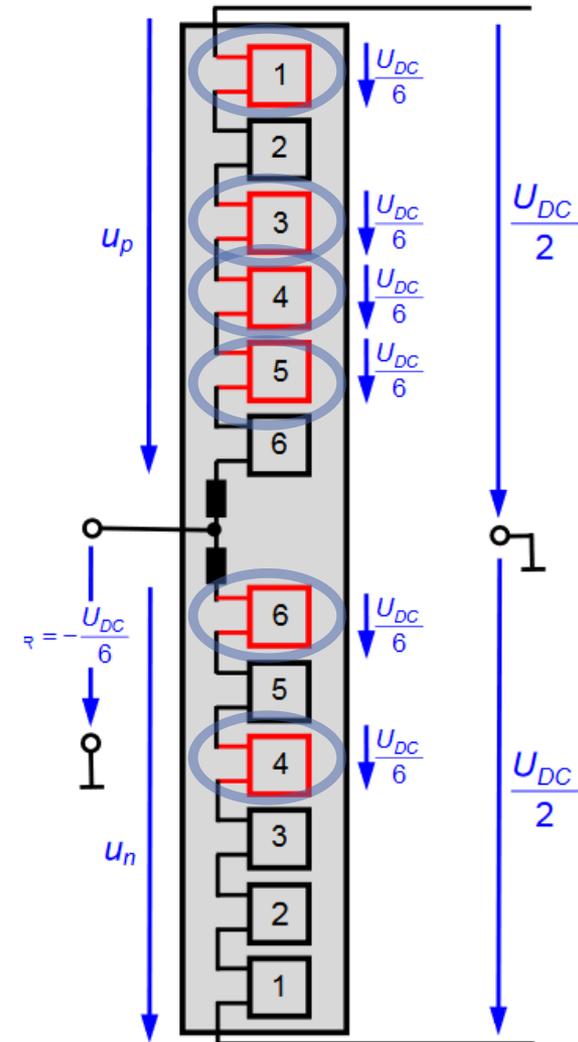
Drosseln glätten Strom



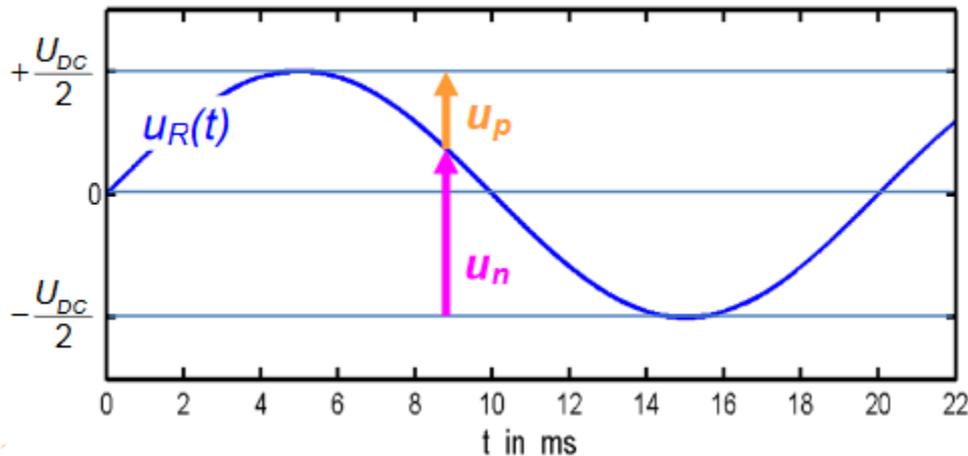
# MMC – Modulation



Hier  $m = 6$  Submodule je Arm.  
 Insgesamt geben je **Zweig** immer 6 Submodule eine Spannung  $(\frac{U_{DC}}{6})$  aus.



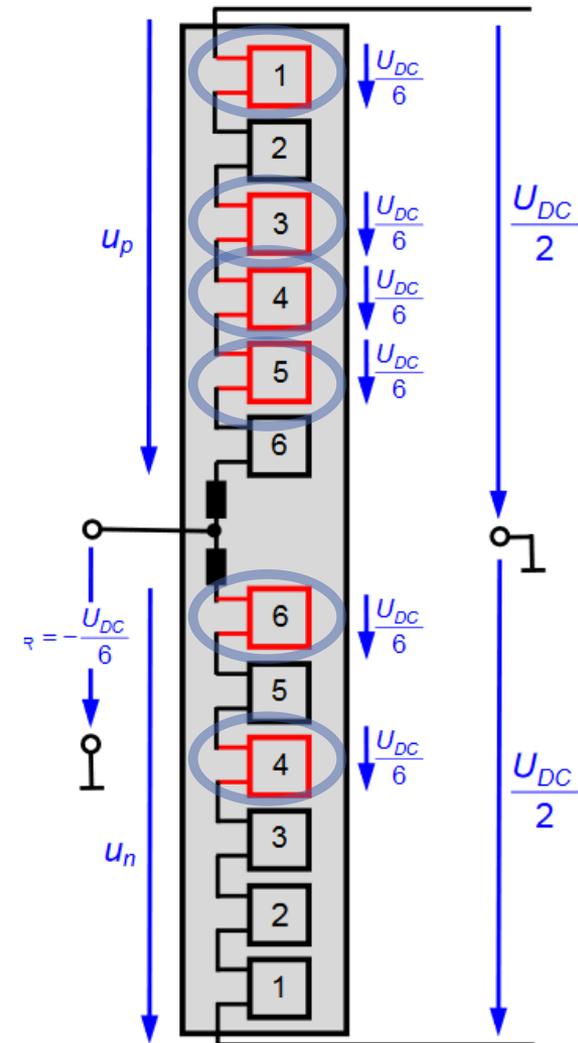
# MMC – Modulation



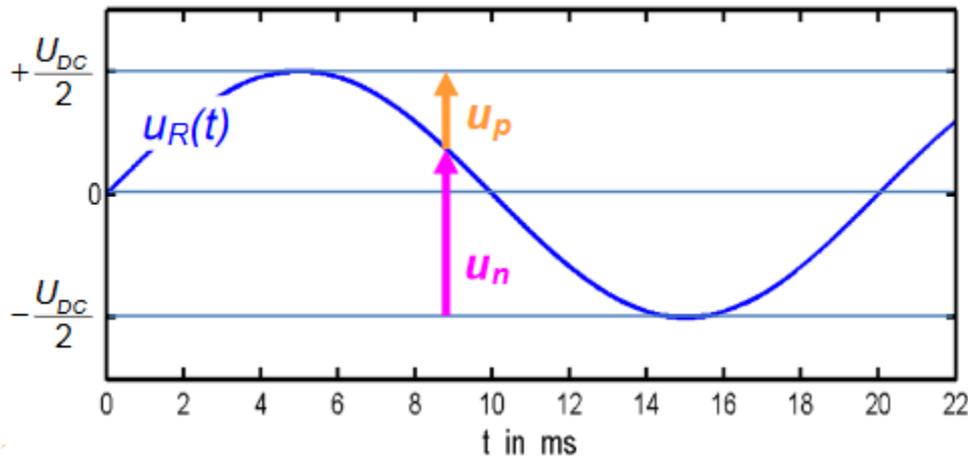
Hier  $m = 6$  Submodule je Arm.

Insgesamt geben je **Zweig** immer 6 Submodule eine Spannung  $(\frac{U_{DC}}{6})$  aus.

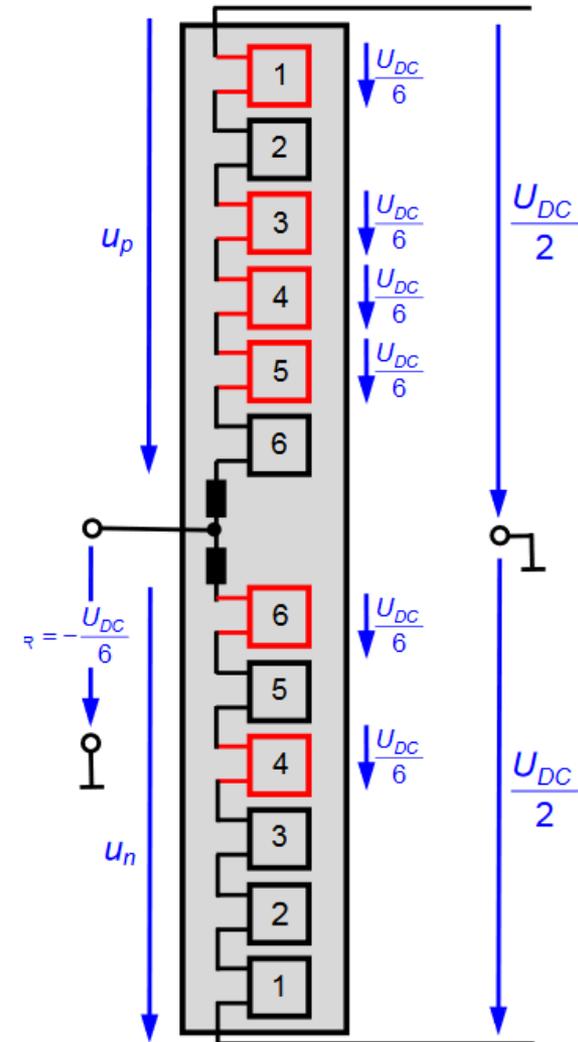
→  $m + 1 = 7$  mögliche Spannungsstufen



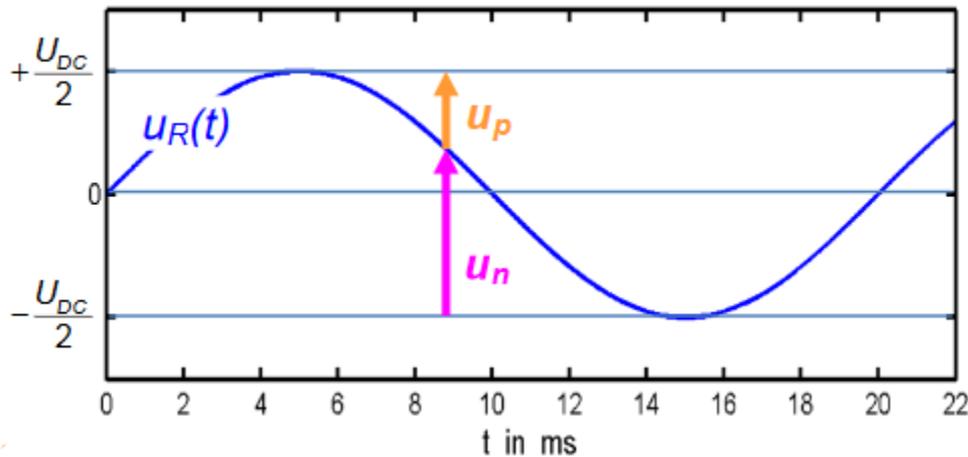
# MMC – Modulation



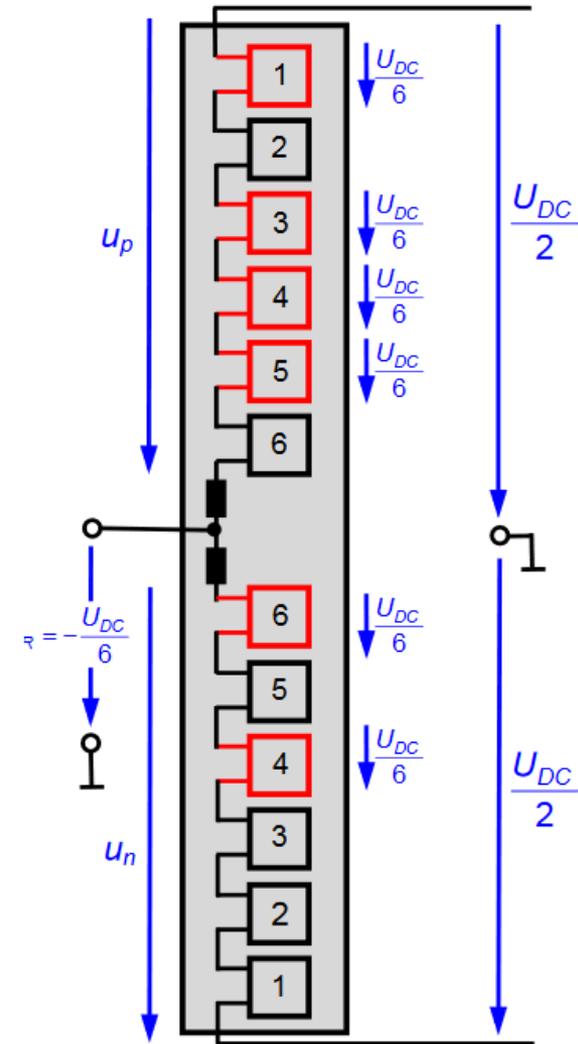
$$u_R = \frac{U_{DC}}{2} \left( 1 - \frac{2 \cdot N_p}{m} \right) = \frac{U_{DC}}{2} \left( -1 + \frac{2 \cdot N_n}{m} \right)$$



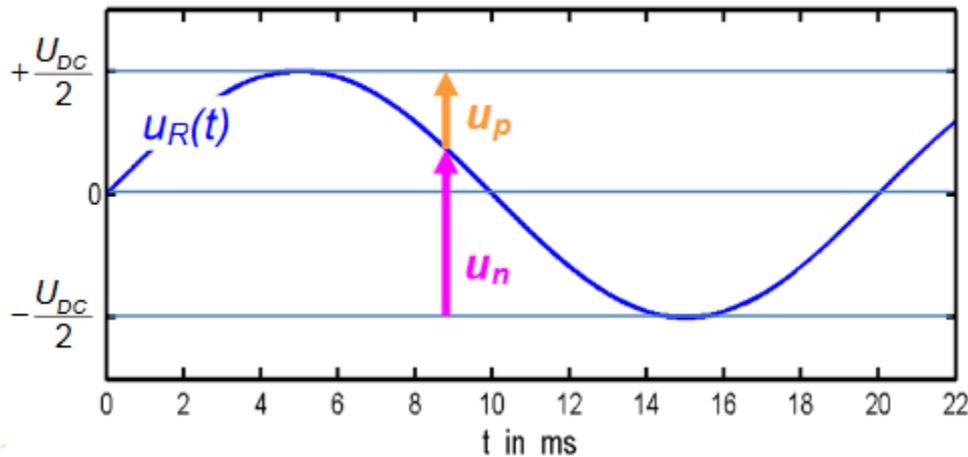
# MMC – Modulation



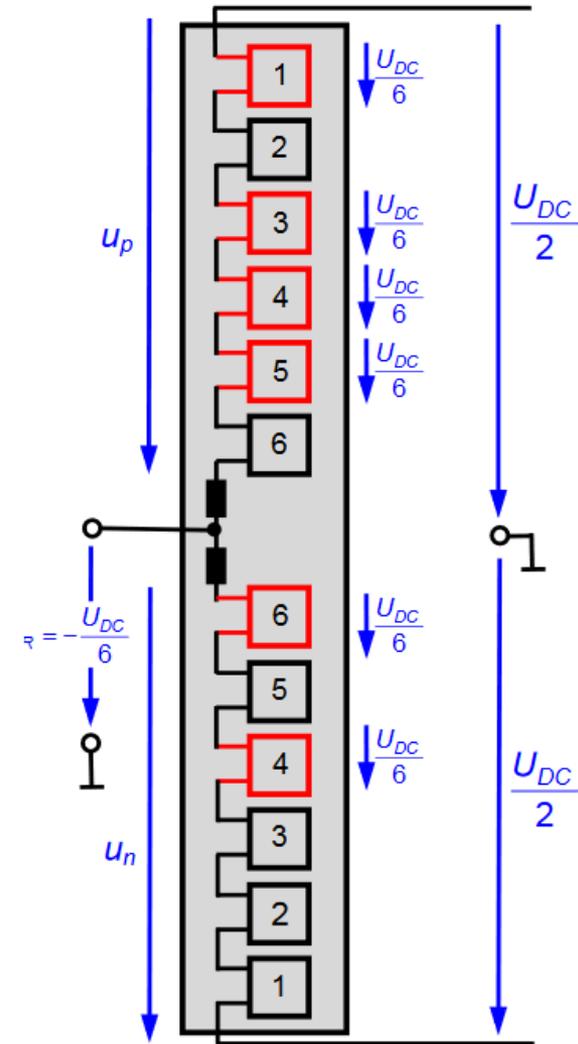
$$u_R = \frac{U_{DC}}{2} \left( 1 - \frac{2 \cdot N_p}{m} \right) = \frac{U_{DC}}{2} \left( -1 + \frac{2 \cdot N_n}{m} \right)$$



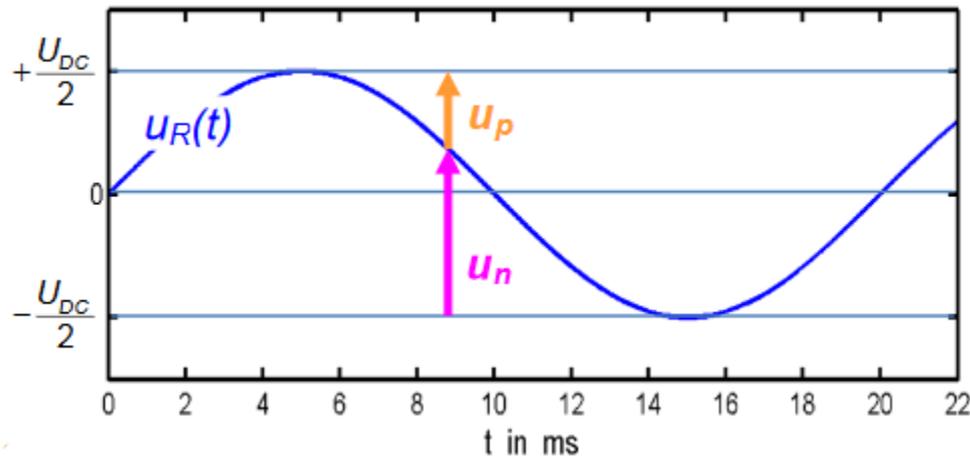
# MMC – Modulation



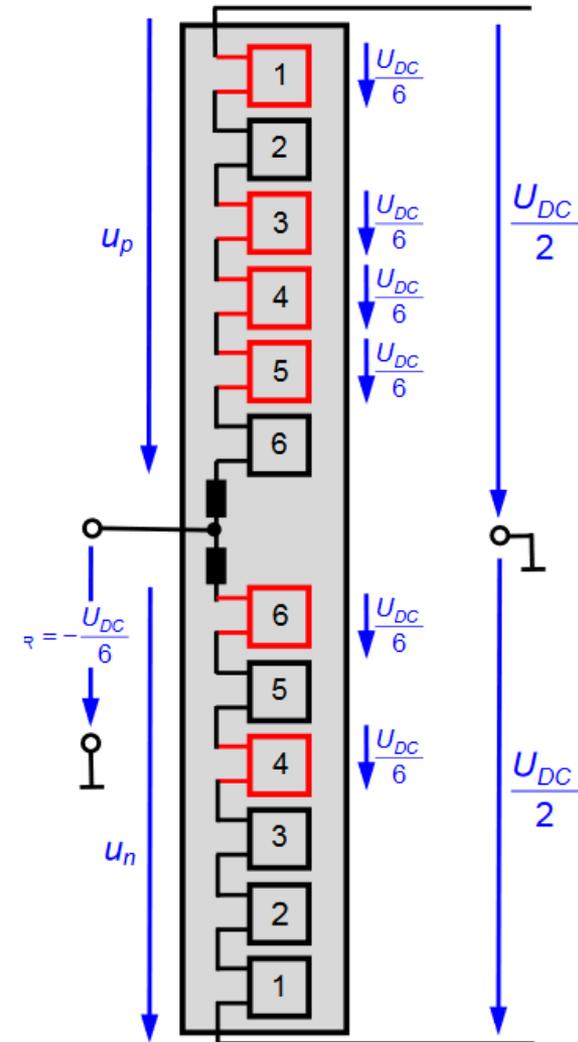
$$\begin{aligned}
 u_R &= \frac{U_{DC}}{2} \left( 1 - \frac{2 \cdot N_p}{m} \right) = \frac{U_{DC}}{2} \left( -1 + \frac{2 \cdot N_n}{m} \right) \\
 &= -\frac{U_{DC}}{6}
 \end{aligned}$$



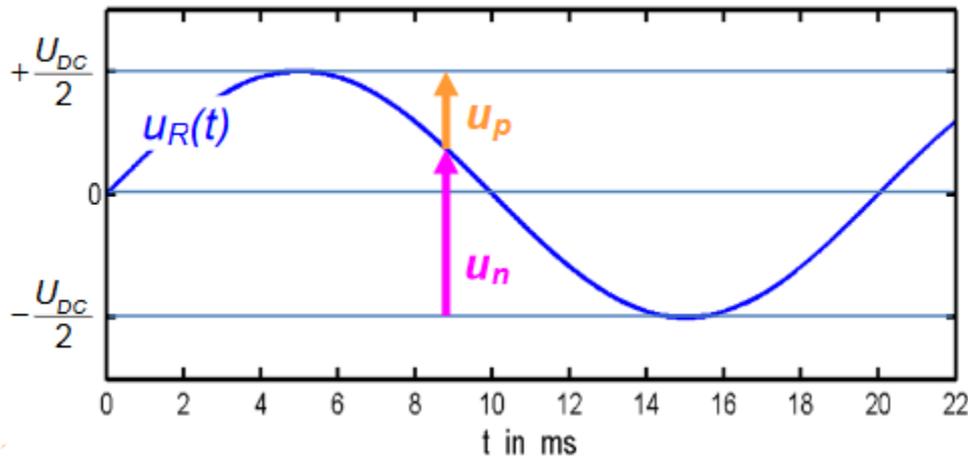
# MMC – Modulation



$$U_{AC,Y} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot A \cdot \frac{U_{DC}}{2}$$

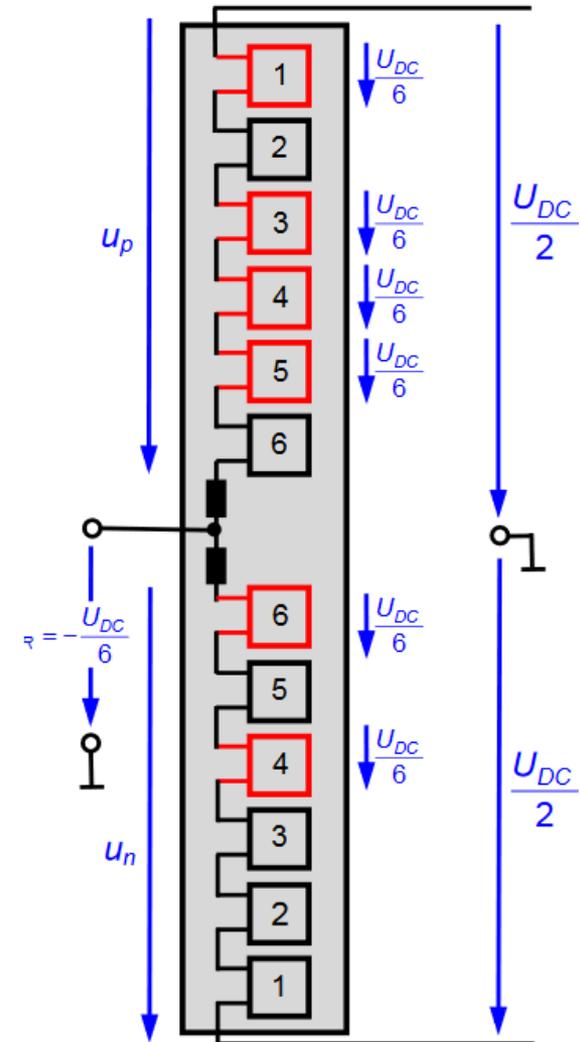


# MMC – Modulation

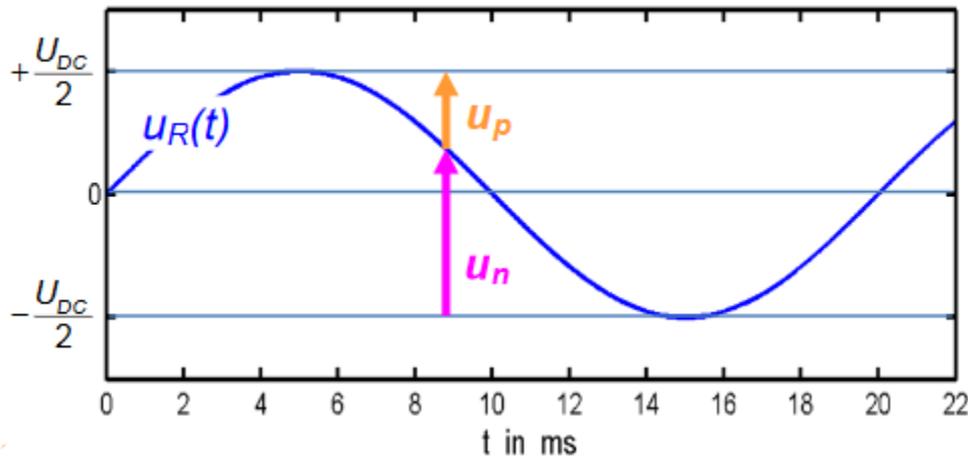


Umrechnung auf  
Effektivwert

$$U_{AC,Y} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot A \cdot \frac{U_{DC}}{2}$$

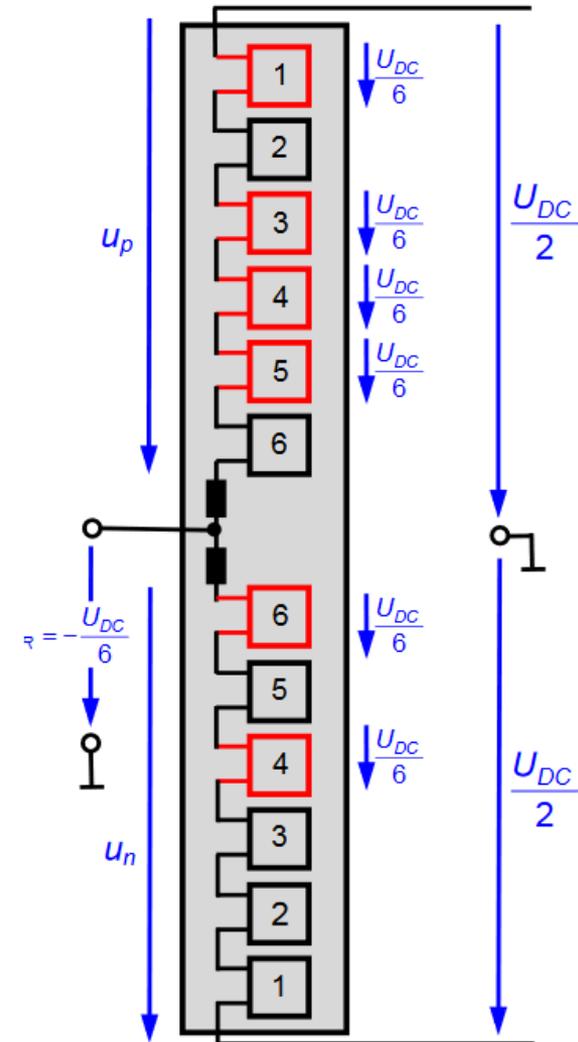


# MMC – Modulation

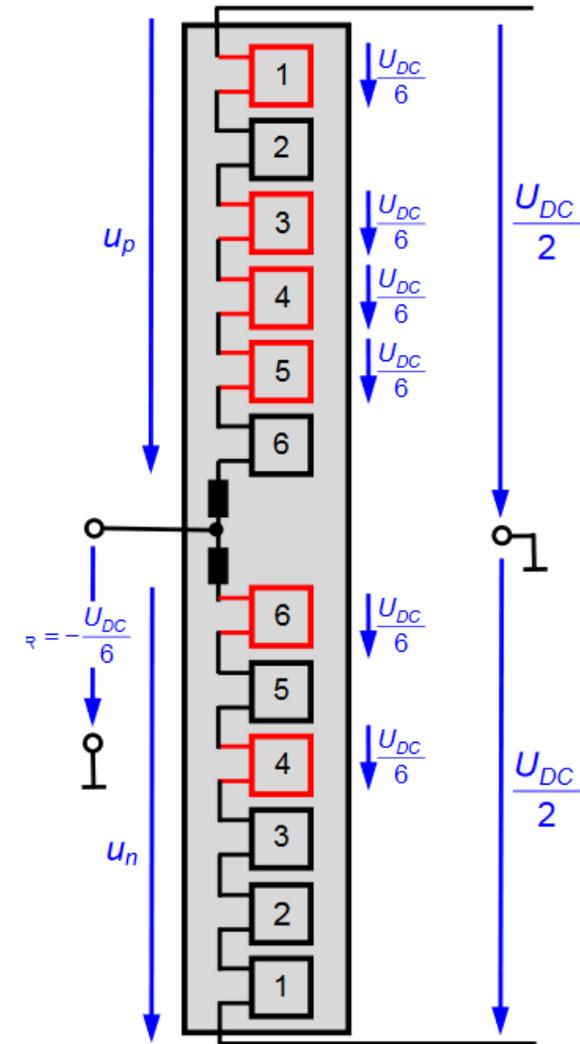
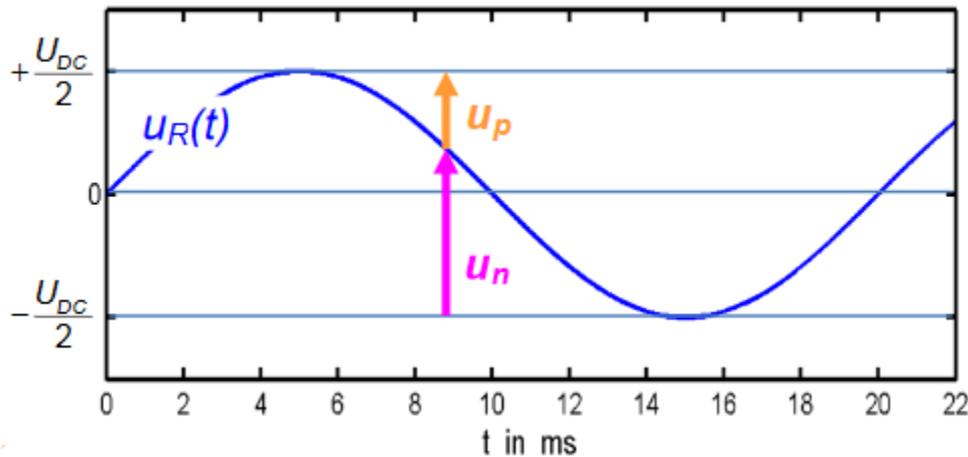


$$U_{AC,Y} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot A \cdot \frac{U_{DC}}{2}$$

Aussteuerungsgrad:  
 Anteil der Submodule, die im  
 Normalbetrieb verwendet werden (0...1)



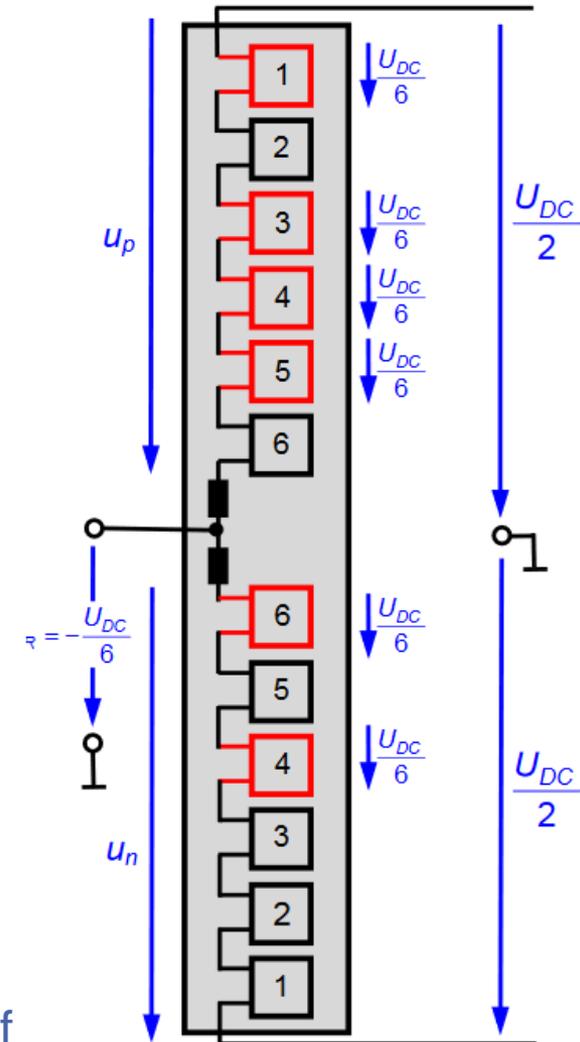
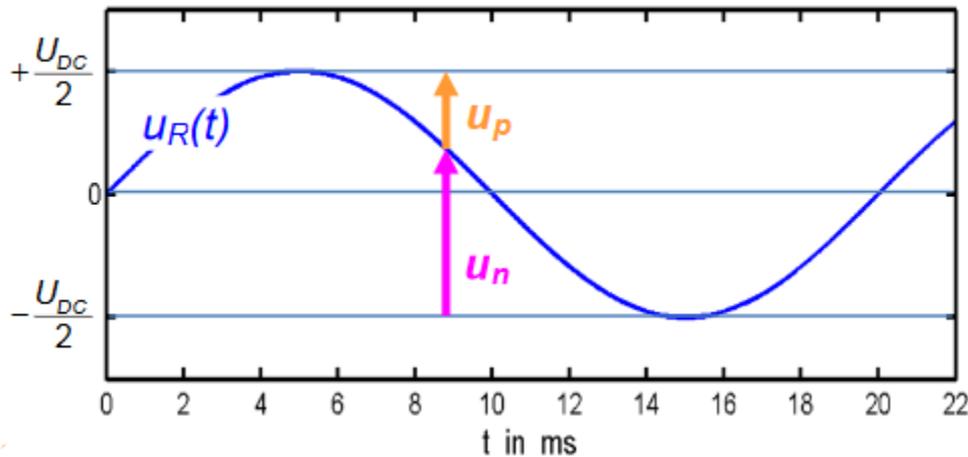
# MMC – Modulation



Mind. Kapazität der Submodule

$$C_{E,min} = \frac{2 \cdot m}{3 \cdot \omega \cdot \epsilon \cdot A} \cdot \frac{S}{U_{DC}^2}$$

# MMC – Modulation



$$C_{E,min} = \frac{2 \cdot m}{3 \cdot \omega \cdot \epsilon \cdot A} \cdot \frac{S}{U_{DC}^2}$$

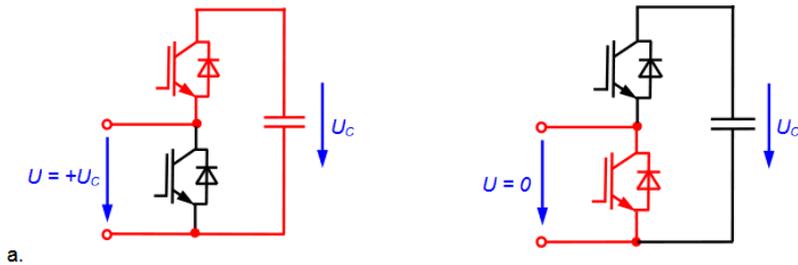
Faktor, um den die Spannung  $\frac{U_{DC}}{2}$  max. abweichen darf

# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

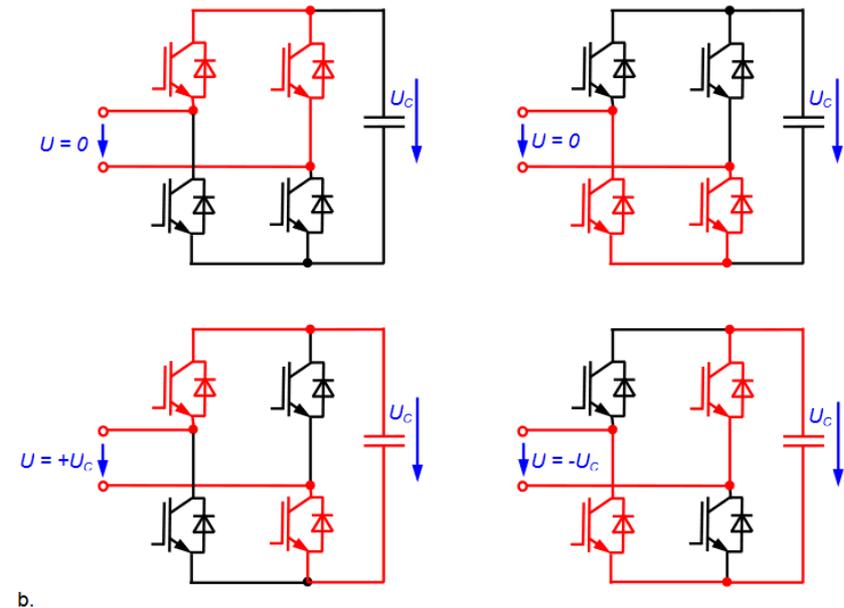
# MMC – Submodul als Vollbrücke

## Halbbrücke



+ Strom fließt nur über einen IGBT  
→ weniger Verluste

## Vollbrücke



+ Kann negative Spannung ausgeben  
→ Kann im Fehlerfall DC-Strom  
aktiv herunterfahren

# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- **Flexible AC Transmission Systems (FACTS)**
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- Aufgaben

# FACTS – Überblick

FACTS		
Parallelschaltung	Serienschaltung	Kombinierte Serien- Parallelschaltung
TSC	TCSC	UPFC
TCR	TCSR	TCPST
FC-TCR	TSSC	
STATCOM	TSSR	
	FSC	

- FSC: Fixed Series Capacitor (Feste Serienkapazität)  
 TSC: Thyristor Switched Capacitor  
 TSR: Thyristor Switched Reactor  
 FC-TSR: Fixed Capacitor - Thyristor Switched Reactor  
 STATCOM: Static Synchronous Compensator  
 TCSC: Thyristor Controlled Series Capacitor  
 TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor  
 TSSC: Thyristor Switched Series Capacitor  
 TSSR: Thyristor Switched Series Reactor  
 UPFC: Unified Power Flow Controller  
 TCPST: Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

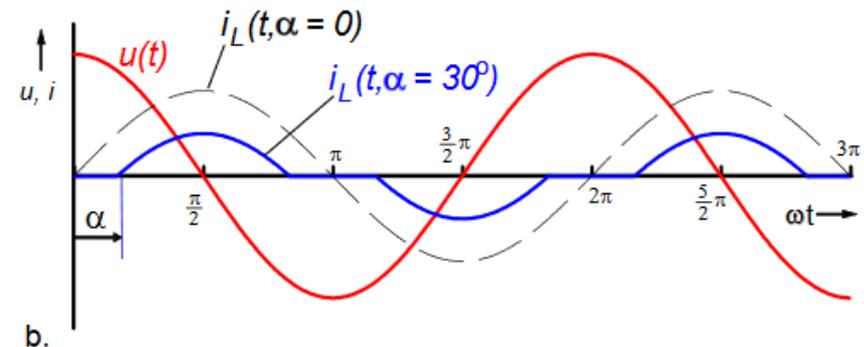
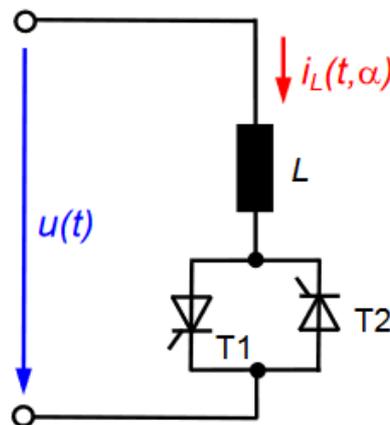
# FACTS – Überblick

FACTS		
Parallelschaltung	Serienschaltung	Kombinierte Serien- Parallelschaltung
TSC	TCSC	UPFC
TCR	TCSR	TCPST
FC-TCR	TSSC	
STATCOM	TSSR	
	FSC	

- FSC: Fixed Series Capacitor (Feste Serienkapazität)
- TSC: Thyristor Switched Capacitor
- TSR: Thyristor Switched Reactor
- FC-TSR: Fixed Capacitor - Thyristor Switched Reactor
- STATCOM: Static Synchronous Compensator
- TCSC: Thyristor Controlled Series Capacitor
- TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor
- TSSC: Thyristor Switched Series Capacitor
- TSSR: Thyristor Switched Series Reactor
- UPFC: Unified Power Flow Controller
- TCPST: Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

## Thyristor Controlled Reactor

- Parallelschaltung
- **Controlled:**  
Winkel frei einstellbar
- **Reactor:**  
Induktivität



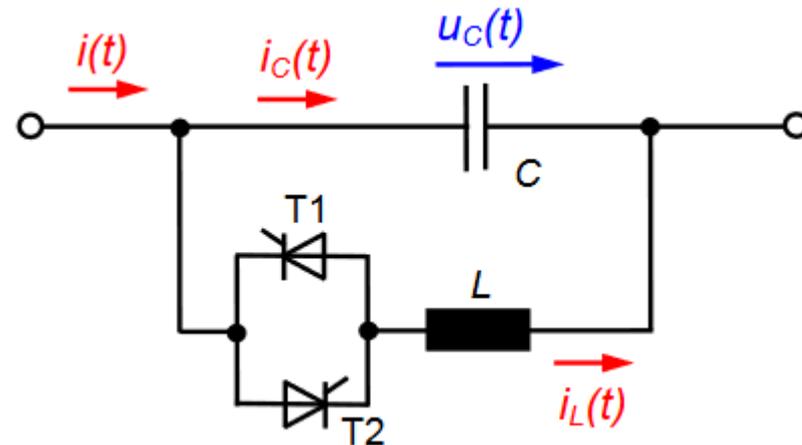
# FACTS – Überblick

FACTS		
Parallelschaltung	Serienschaltung	Kombinierte Serien- Parallelschaltung
TSC	TCSC	UPFC
TCR	TCSR	TCPST
FC-TCR	TSSC	
STATCOM	TSSR	
	FSC	

FSC: Fixed Series Capacitor (Feste Serienkapazität)  
 TSC: Thyristor Switched Capacitor  
 TSR: Thyristor Switched Reactor  
 FC-TSR: Fixed Capacitor - Thyristor Switched Reactor  
 STATCOM: Static Synchronous Compensator  
 TCSC: Thyristor Controlled Series Capacitor  
 TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor  
 TSSC: Thyristor Switched Series Capacitor  
 TSSR: Thyristor Switched Series Reactor  
 UPFC: Unified Power Flow Controller  
 TCPST: Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

- Serienschaltung
- **Controlled:**  
Winkel frei einstellbar
- **Capacitor:**  
Kapazität

## Thyristor Controlled Series Capacitor

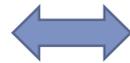


# FACTS – Überblick

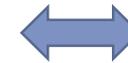
FACTS		
Parallelschaltung	Serienschaltung	Kombinierte Serien- Parallelschaltung
TSC	TCSC	UPFC
TCR	TCSR	TCPST
FC-TCR	TSSC	
STATCOM	TSSR	
	FSC	

FSC: Fixed Series Capacitor (Feste Serienkapazität)  
 TSC: Thyristor Switched Capacitor  
 TSR: Thyristor Switched Reactor  
 FC-TSR: Fixed Capacitor - Thyristor Switched Reactor  
 STATCOM: Static Synchronous Compensator  
 TCSC: Thyristor Controlled Series Capacitor  
 TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor  
 TSSC: Thyristor Switched Series Capacitor  
 TSSR: Thyristor Switched Series Reactor  
 UPFC: Unified Power Flow Controller  
 TCPST: Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

**Controlled:**  
 Winkel frei  
 einstellbar



**Switched:**  
 Entweder komplett an  
 oder komplett aus



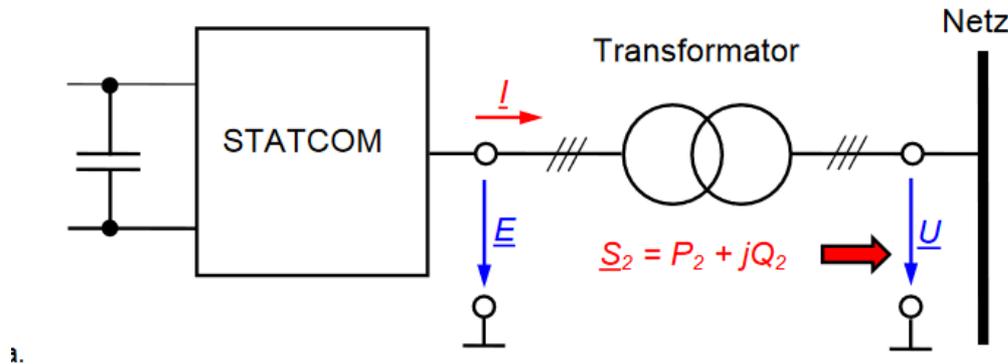
**Fixed:**  
 immer aktiv

# FACTS – Überblick

FACTS		
Parallelschaltung	Serienschaltung	Kombinierte Serien- Parallelschaltung
TSC	TCSC	UPFC
TCR	TCSR	TCPST
FC-TCR	TSSC	
STATCOM	TSSR	
	FSC	

- FSC: Fixed Series Capacitor (Feste Serienkapazität)
- TSC: Thyristor Switched Capacitor
- TSR: Thyristor Switched Reactor
- FC-TSR: Fixed Capacitor - Thyristor Switched Reactor
- STATCOM: Static Synchronous Compensator
- TCSC: Thyristor Controlled Series Capacitor
- TCSR: Thyristor Controlled Series Reactor
- TSSC: Thyristor Switched Series Capacitor
- TSSR: Thyristor Switched Series Reactor
- UPFC: Unified Power Flow Controller
- TCPST: Thyristor Controlled Phase Shifting Transformer

STATCOM: Stromrichter, der variabel Blindleistung einspeist



# Themen 4. Übung EÜN

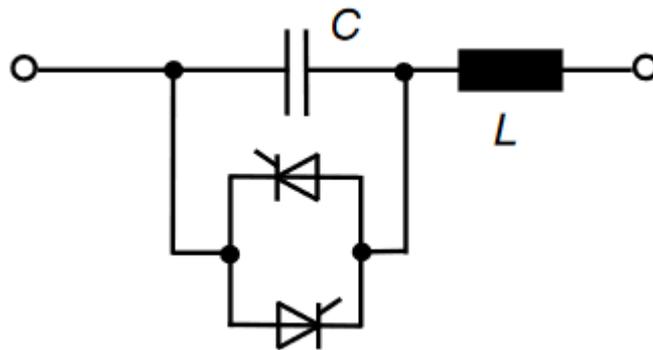
- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - **Einsatzgebiete**
  
- Aufgaben

# FACTS - Einsatzgebiete

- Bereitstellung von Blindleistung
  - Optimierte Übertragung von elektrischer Energie
  - Steigerung der Stabilität
  - Steigerung der Spannungsqualität
- Begrenzung von Strömen in Fehlerfällen
  - Erhöhte Zuverlässigkeit des Netzes

# FACTS - Einsatzgebiete

- Bereitstellung von Blindleistung
  - Optimierte Übertragung von elektrischer Energie
  - Steigerung der Stabilität
  - Steigerung der Spannungsqualität
- **Begrenzung von Strömen in Fehlerfällen**
  - Erhöhte Zuverlässigkeit des Netzes



Schaltung des Short Circuit Current Limiter (SCCL)

# Themen 4. Übung EÜN

- Selbstgeführte Umrichter
  - 2- und 3-Level Umrichter
    - Sinus-PWM
    - Selected Harmonic Elimination-PWM
    - Raumzeigermodulation
  - Modularer Multi-Level-Umrichter (MMC)
    - Aufbau
    - Submodul (Halbbrücke)
    - Modulation
    - Submodul als Vollbrücke
  
- Flexible AC Transmission Systems (FACTS)
  - Überblick
  - Einsatzgebiete
  
- **Aufgaben**