

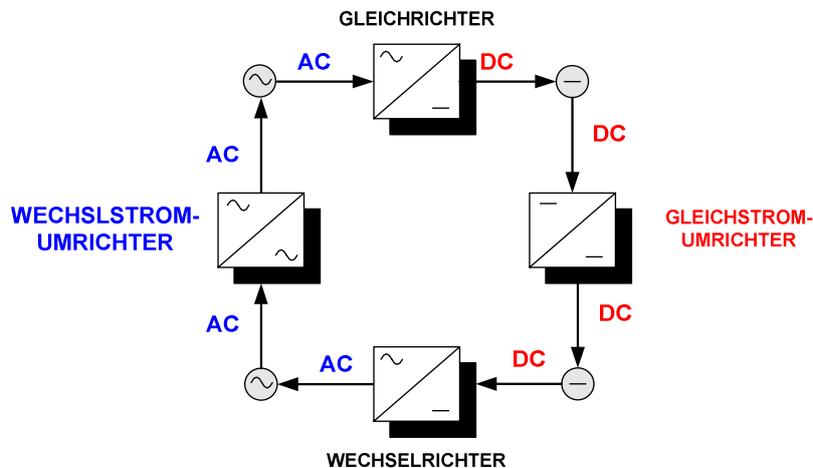
GLEICHRICHTERSCHALTUNGEN

1. Stromrichter

Stromrichter sind elektrische Netzwerke aus Leistungshalbleitern, wie Leistungsdioden, Thyristoren und Leistungstransistoren, zur kontinuierlichen Verstellung von Spannungen und Strömen.

Bezieht man sich auf die Merkmale der Eingangs- und Ausgangsspannungen, so gibt es vier grundsätzliche Umwandlungsmöglichkeiten.

| | |
|----------------|----------------|
| AC → DC | DC → DC |
| DC → AC | AC → AC |

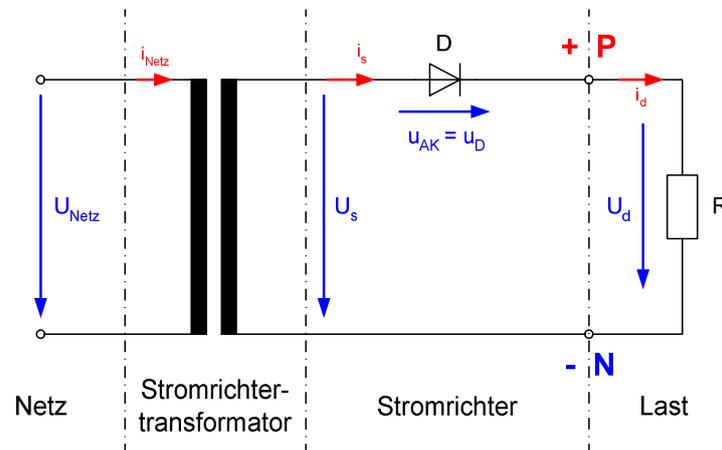


Einteilung der Stromrichterschaltungen nach den Umwandlungsmerkmalen (AC ↔ DC)

Bemerkung Die Bezeichnung Stromrichter steht als Oberbegriff für sämtliche Gleichrichter-, Wechselrichter- und Umrichterschaltungen.

2. Gleichrichterschaltungen

2.1 Ungesteuerte Einpuls-Mittelpunktschaltung M1U-R



Ungesteuerte Einpuls-Mittelpunktschaltung mit rein ohmscher Last: M1U-R

Eingangs-Spannung: Wechselspannung

Effektivwert U_{Netz} , U_s , Frequenz f

Ausgangs-Spannung: Gleichspannung

Arithmetischer Mittelwert U_d

Positive Halbwelle von u_s

D leitet

$$u_{di} = u_s$$

$$i_d = \frac{u_{di}}{R}$$

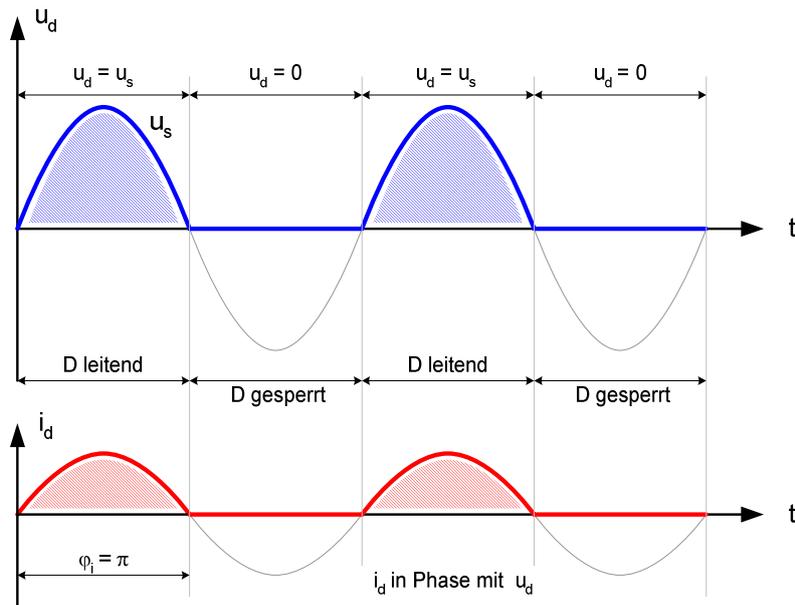
Negative Halbwelle von u_s

D gesperrt

$$u_{di} = 0$$

$$i_d = 0$$

Bemerkung Wird die Durchlass-Spannung des Ventils vernachlässigt, so heißt die am Verbraucher liegende Gleichspannung **ideelle Gleichspannung u_{di}** . Für die praktische Anwendung setzt man $u_d = u_{di}$, weil die Durchlass-Spannung der Ventile nur ein Bruchteil der speisenden Gleichspannung u_d beträgt.



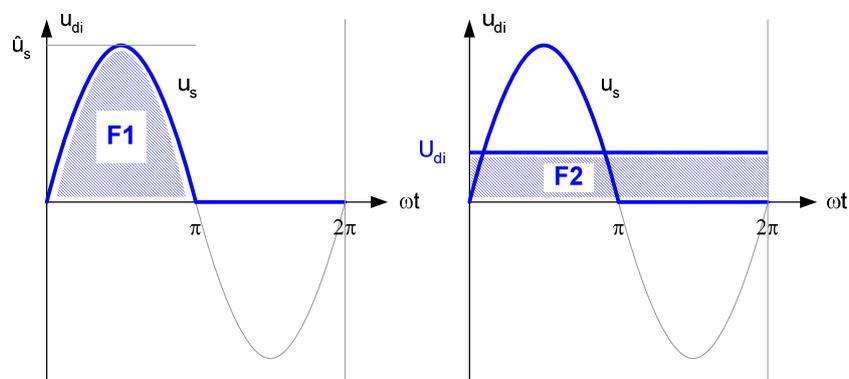
M1U-R

Die **maximale Sperrspannung in Rückwärtsrichtung** am Ventil beträgt

$$U_{RRM} = \sqrt{2} \cdot U_S.$$

Der **Stromflusswinkel** φ_i beträgt 180° .

Der **arithmetische Mittelwert der Lastspannung** U_{di} lässt sich berechnen, indem die Fläche zwischen der Kurve und der Zeitachse für eine Periodendauer in ein flächengleiches Rechteck umgewandelt wird.



Arithmetischer Mittelwert

$$F1 = F2$$

$$U_{di} = 0,45 \cdot U_S$$

U_{di} arithmetischer Mittelwert der ideellen Gleichspannung

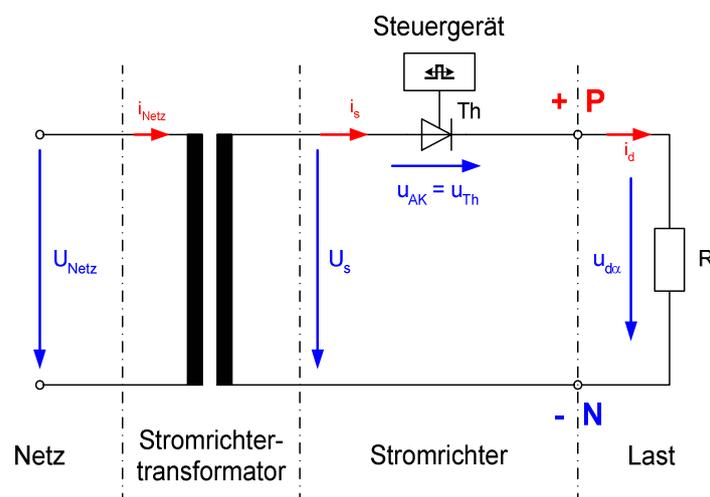
U_S Effektivwert der ventilseitigen Phasenspannung u_S .

2.2 Gesteuerte Einpuls-Mittelpunktschaltung: M1C

Wird in der M1U - Schaltung die Diode durch einen Thyristor mit Zündschaltung ersetzt, so erhält man die vollgesteuerte Einpuls-Mittelpunktschaltung M1C. Ändert man nun die Phasenlage der Impulse U_{GK} , so ändert man den **Zündverzögerungswinkel** α^1 und damit den Stromflusswinkel φ_i .

Gesteuerte Einpuls-Mittelpunktschaltung mit rein ohmscher Last: $\alpha = 45^\circ$

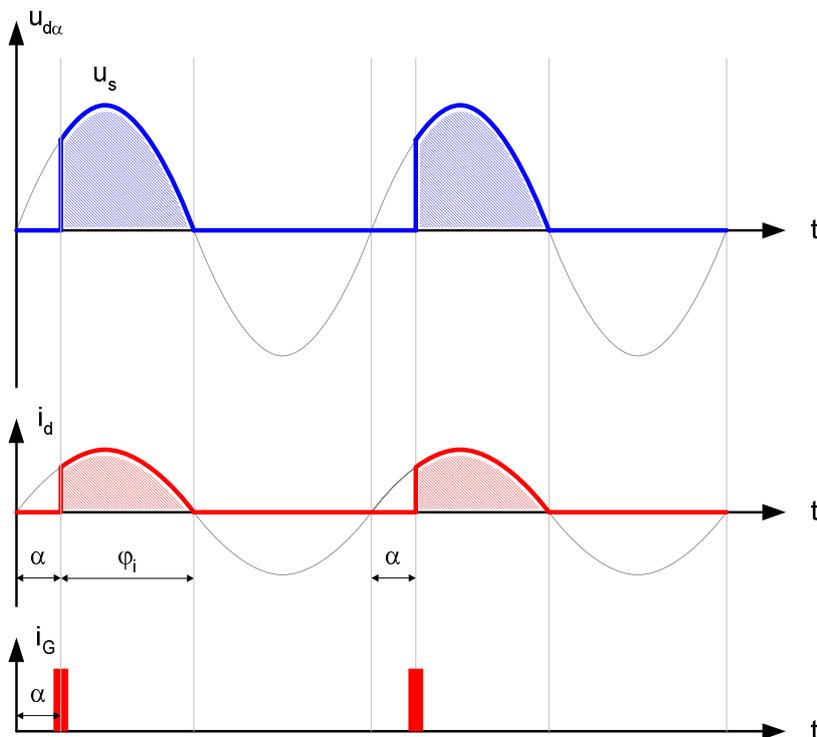
Von $\omega t = 0^\circ$ bis zur Zündung ($\alpha = 45^\circ$) blockiert der Thyristor, die ventilseitige Phasenspannung u_S fällt am Thyristor ab ($u_{Th} = u_S$).



Durch den Zündimpuls beim Steuerwinkel $\alpha = 45^\circ$ wird der Thyristor leitend: die Thyristorspannung u_{Th} wird null ($u_{Th} = 0V$). Der Durchlaßstrom springt (ohmsche

¹ Zündverzögerungswinkel = Zündwinkel = Steuerwinkel: α

Belastung) auf den Wert i_d und am Verbraucher liegt die Spannung $u_{di} = u_s$. Die Spannung u_{di} und der Strom i_d haben den gleichen zeitlichen Verlauf.



Gesteuerte Einpuls-Mittelpunktschaltung mit rein ohmscher Last: M1C-R, $\alpha = 45^\circ$

Bei $\alpha = 180^\circ$ wird der Haltestrom des Thyristors unterschritten, das Ventil sperrt. In der negativen Halbwelle liegt die Wechselspannung als Sperrspannung am Thyristor.

Arithmetischer Mittelwert $U_{di\alpha}$

Wird der Steuerwinkel α verändert, so ändert auch der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung. Die Spannungs-Zeit-Flächen werden kleiner wenn der Steuerwinkel größer wird. Für den arithmetischen Mittelwert der Ausgangsspannung gilt:

$$U_{di\alpha} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_s}{\pi} \cdot \frac{(1 + \cos \alpha)}{2}$$

Der Zündwinkel α kann für die M1C-R-Schaltung zwischen 0° und 180° eingestellt werden.

Ist der Zündwinkel $\alpha = 0^\circ$, so erhält man die gleichen Kurven wie bei der ungesteuerten M1-Schaltung: der arithmetische Mittelwert ist also auch gleich.

$$U_{di0} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_s}{\pi} \cdot \frac{(1 + \cos 0)}{2}$$

$$U_{di0} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_s}{\pi} \cdot \frac{(1 + 1)}{2}$$

$$U_{di0} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_s}{\pi} = 0,45 \cdot U_s$$

$$U_{di\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{(1 + \cos \alpha)}{2}$$

$$U_{di0} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_s}{\pi} = 0,45 \cdot U_s$$

M1C-R

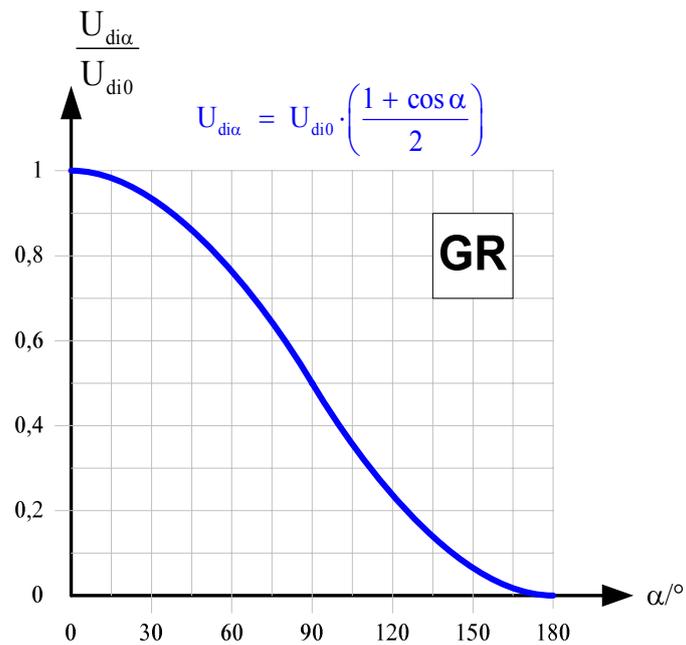
$$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

Steuerkennlinie

Die grafische Darstellung des Spannungsverhältnisses $\frac{U_{di\alpha}}{U_{di0}}$ in Abhängigkeit vom

Steuerwinkel α wird als **Steuerkennlinie** bezeichnet.

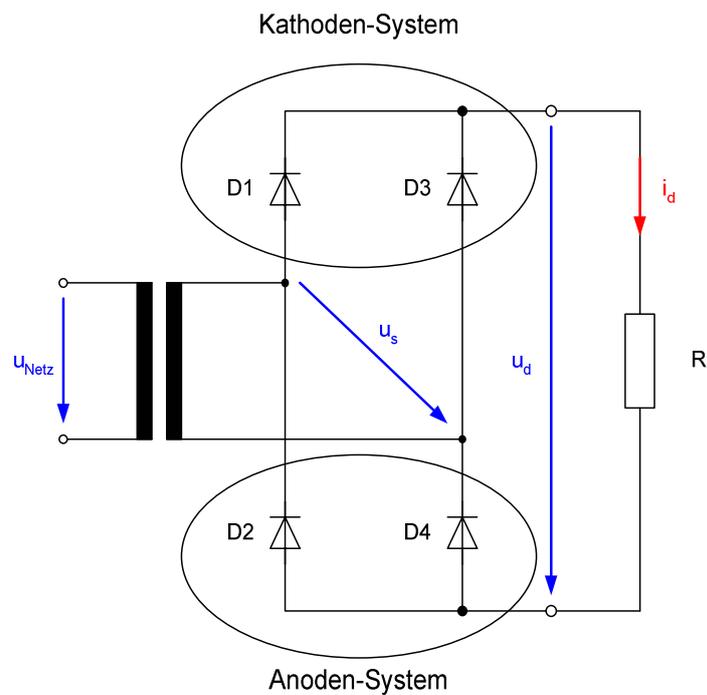
| α | 0° | 30° | 60° | 90° | 120° | 150° | 180° |
|--------------------------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| $\frac{U_{di\alpha}}{U_{di0}}$ | 1 | 0,933 | 0,75 | 0,50 | 0,25 | 0,067 | 0 |



Steuerkennlinie des M1C-R-Gleichrichters

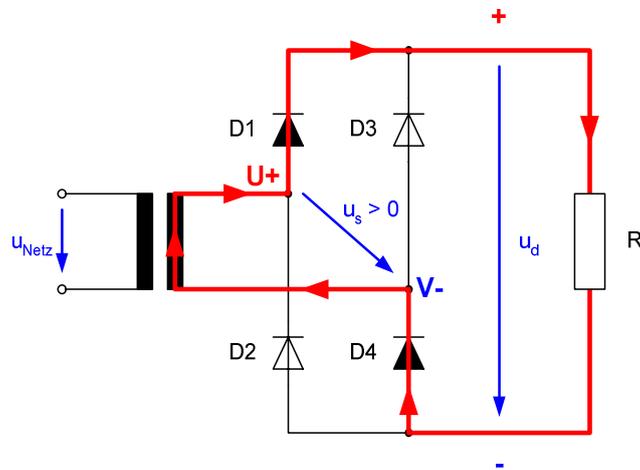
2.3 Ungesteuerte Zweipuls-Brückenschaltung: B2U-R

a. Aufbau



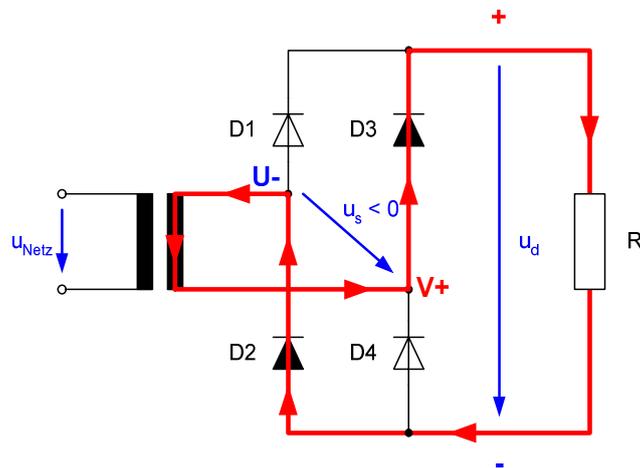
Ungesteuerte Zweipuls-Brückenschaltung B2U-R

b. Wirkungsweise



Polaritäten der Spannungen und Stromverlauf während der positiven Halbwelle von u_s

Ist u_s positiv (U+ und V-), dann leiten die Ventile D1 und D4 (D1 im Kathoden-System und D4 im Anoden-System). Der Strom fließt von Punkt U über die Diode D1, die Last R und über die Diode D4 nach V zurück.



Polaritäten der Spannungen und Stromverlauf während der negativen Halbwelle von u_s

Ist u_s negativ (U- und V+), dann leiten die Ventile D3 und D2 (D3 im Kathoden-System und D2 im Anoden-System). Der Strom fließt von Punkt V über die Diode D3, die Last R und über die Diode D2 nach U zurück.

Ändert u_s die Polarität, so **kommutiert** der Strom von (D1, D4) auf (D3, D2) bzw. von (D3, D2) auf (D1, D4).

c. Lastspannung, Laststrom

Positive Halbwellen von u_s

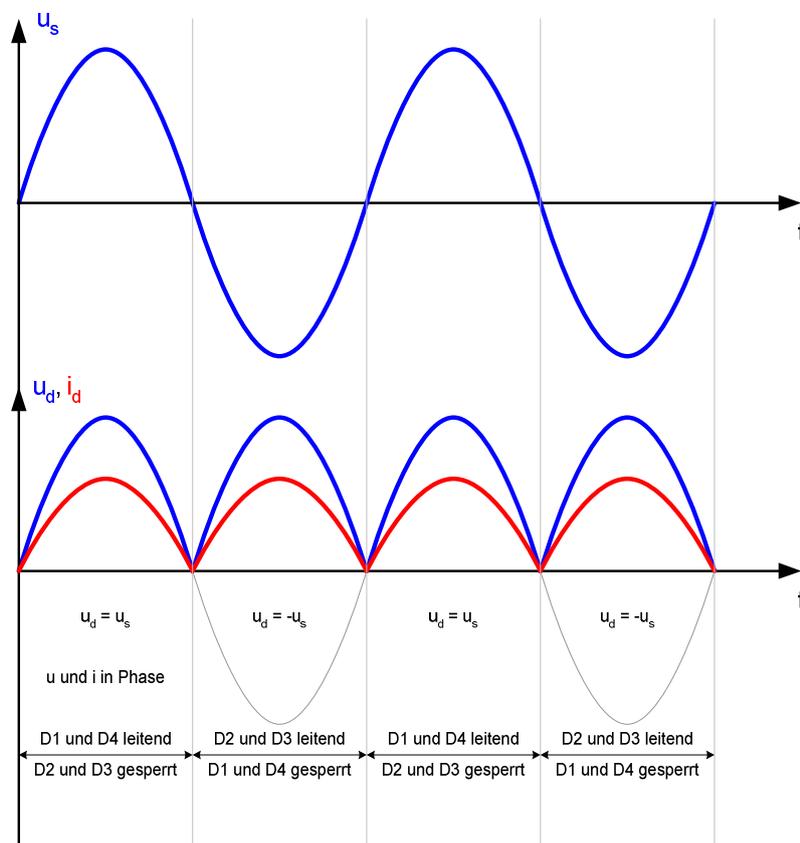
D1 und D4 leiten

$$u_{di} = u_s$$

Negative Halbwellen von u_s

D2 und D3 leiten

$$u_{di} = -u_s$$



Eingangsspannung, Lastspannung, Ventilspannungen, Laststrom

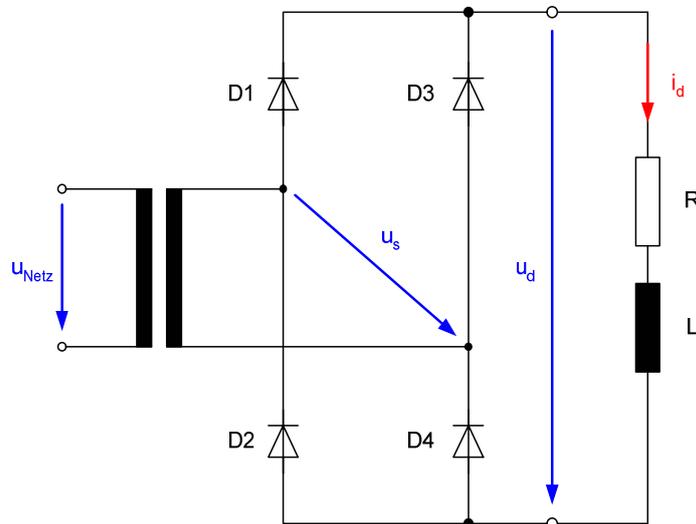
d. Arithmetischer Mittelwert der Gleichspannung: U_{di0}

Der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung einer B2U-Schaltung beträgt:

$$U_{di0} = 0,9 \cdot U_s$$

2.4 Ungesteuerte Zweipuls-Brückenschaltung: B2U-RL

Einfluss der Induktivität auf den Stromverlauf



Die ohmsch-induktive Lastart mit der Zeitkonstante $\tau = L/R$ tritt bei Stromrichtern sehr häufig auf. Sie liegt in ihrem Verhalten in Abhängigkeit von τ zwischen der rein ohmschen ($\tau = 0$) und der rein induktiven Lastart ($\tau = \infty$).

Einerseits speichern induktive Lasten elektromagnetische Energie ($W_{\text{mag}} = \frac{1}{2}Li^2$), andererseits geben sie diese Energie aber auch wieder ab. Die gespeicherte Energie erzeugt in der Spule eine Selbstinduktionsspannung, welche den Strom in der bisherigen Stromflussrichtung auf Kosten der magnetischen Energie weiter treibt.

Wegen der induktiven Komponente der Last ist ein sprunghafter Verlauf des Laststromes i_d im Gegensatz zum Strom bei reiner Widerstandslast nicht möglich.

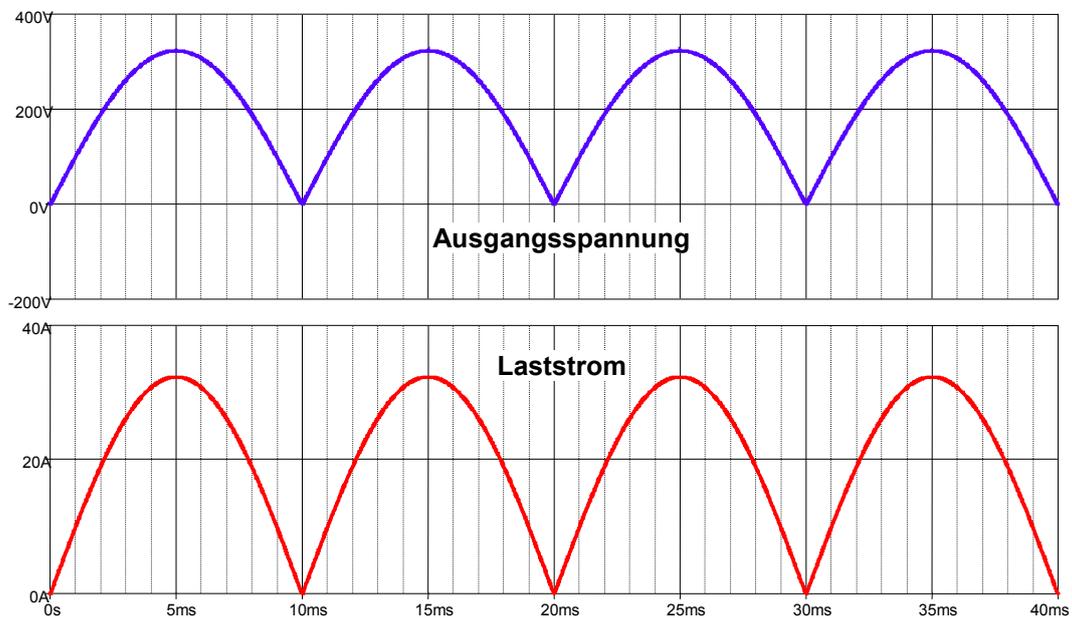
Beispiel:

Vergleiche den Verlauf der Ausgangsspannung und des Laststromes wenn die B2-Schaltung mit einer ohmschen Last und mit einer ohmsch-induktiven Last belastet wird.

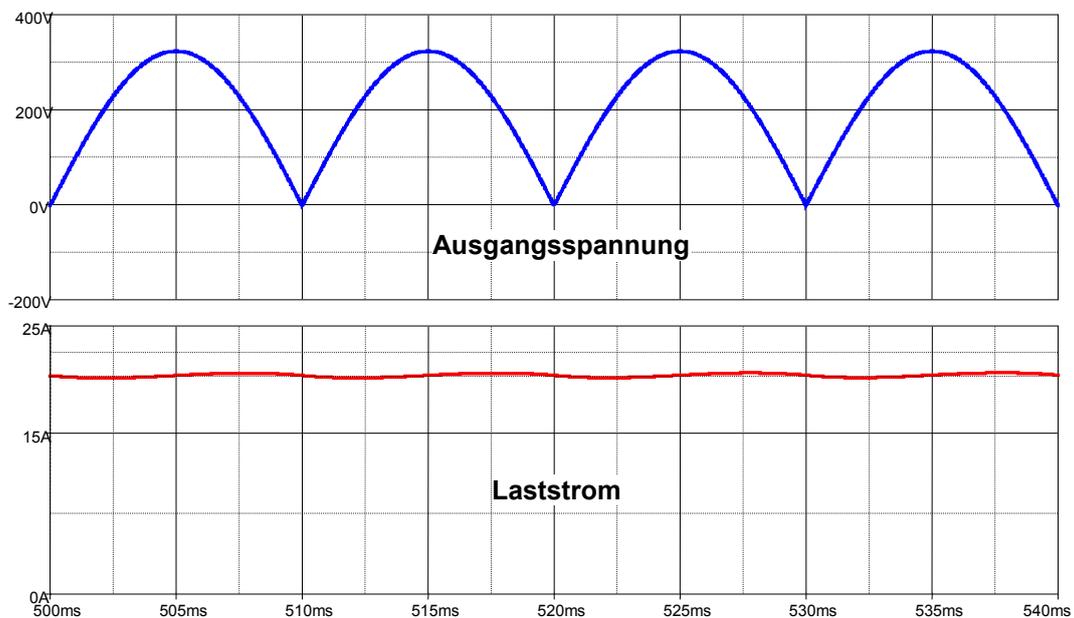
B2U-R $U_S = 230\text{V}, R = 10\Omega$

B2U-RL $U_S = 230\text{V}, R = 10\Omega, L = 1\text{H}$

B2U-R, $U_S = 230V$, $R = 10\Omega$



B2U-RL, $U_S = 230V$, $R = 10\Omega$, $L = 1H$



Feststellungen:

- Die Art der Last hat keinen Einfluss auf den Verlauf der Ausgangsspannung der B2U.
- Der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung beträgt für beide Lastarten:

$$U_{di0} = 0,9 \cdot U_s$$

$$U_{di0} = 0,9 \cdot 230 \text{ V}$$

$$U_{di0} = 207 \text{ V}$$

- Für rein ohmsche Last ist der Laststrom mit der Ausgangsspannung in Phase (Strom und Spannung haben den gleichen Verlauf).
- Durch die induktive Komponente der Last wird der Strom fast ideal geglättet (Gleichstrom).
- Der konstante Wert des Stromes I_d lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$I_d = \frac{U_{di0}}{R}$$

$$I_d = \frac{207 \text{ V}}{10 \Omega}$$

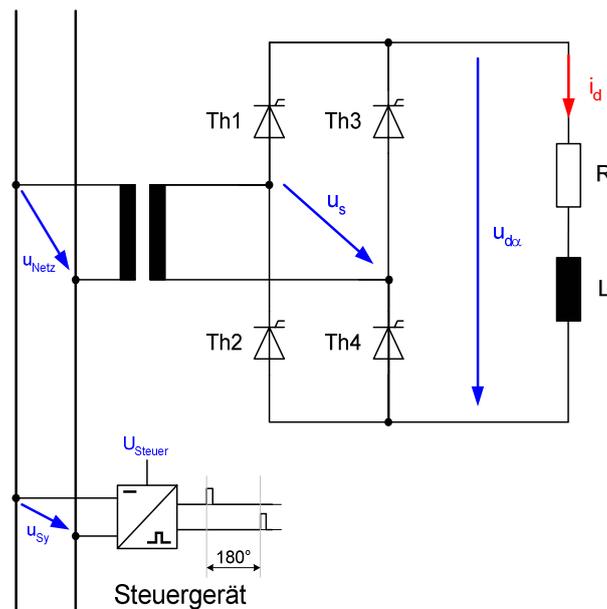
$$I_d = 20,7 \text{ A}$$

Bemerkung

Zur Dämpfung der Schwingungen die durch die RL-Last und die RC-Beschaltung der Thyristoren (TSE-Schaltung) entstehen, wird parallel zur Last eine ohmsche, hochohmige Grundlast gelegt.

2.5 B2C-R und B2C-RL

Werden die Dioden der B2U-Schaltung durch Thyristoren ersetzt, so erhält man die vollgesteuerte Zweipuls-Brückenschaltung B2C. Zur Steuerung der Thyristoren ist ein Steuersatz erforderlich, welcher zwei Impulse im Abstand von 180° liefert.

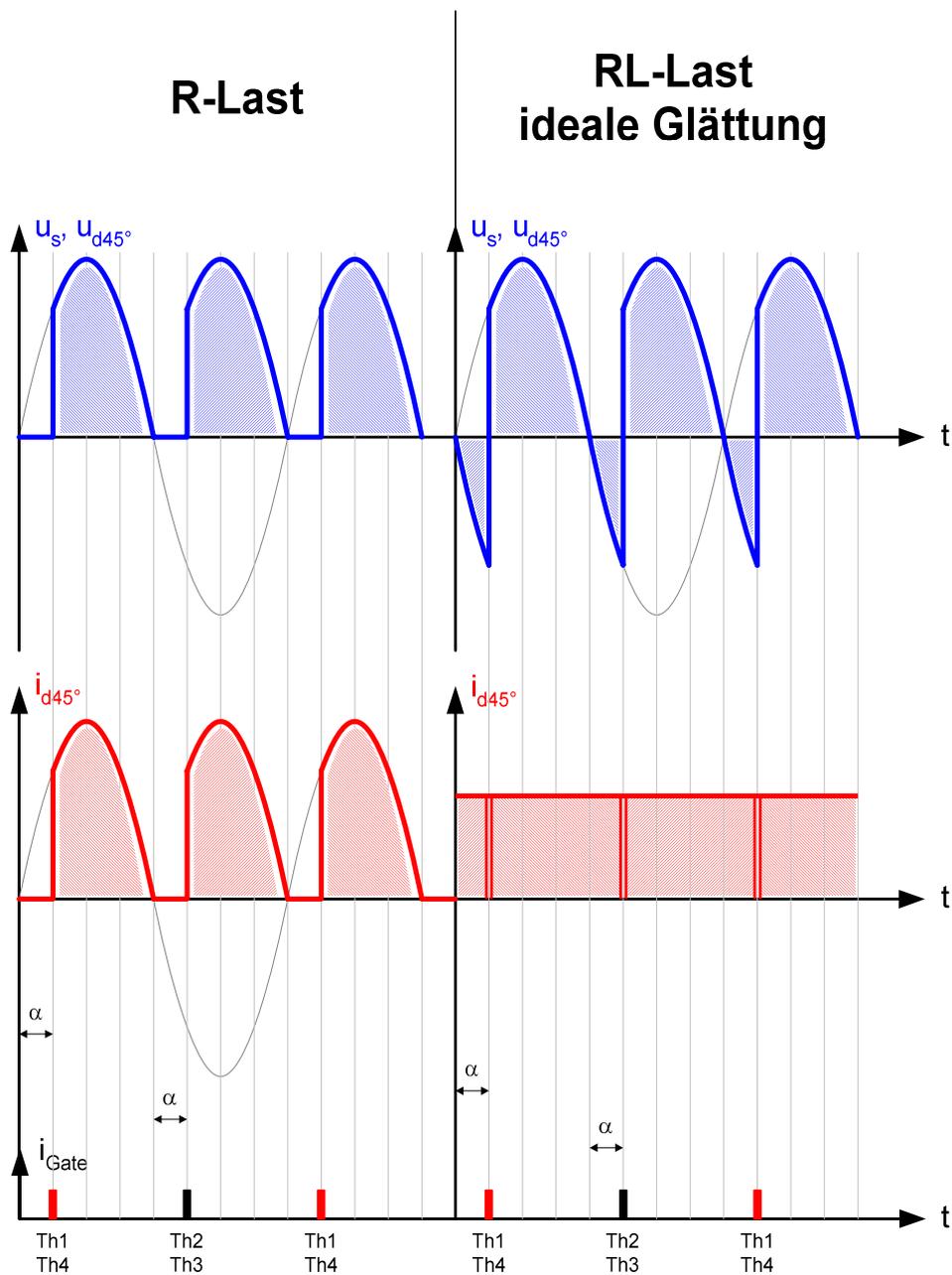


Die beiden Ventile, die gleichzeitig leiten, können denselben Impuls erhalten, also zum Beispiel die Thyristoren Th1 und Th4 den Impuls bei 0° , die Thyristoren Th2 und Th3 den Impuls bei 180° .

Bei ohmscher Last tritt für jeden Steuerwinkel $\alpha > 0^\circ$ Lückbetrieb auf ($\alpha_{\text{krit}} = 0^\circ$).

Bei induktiver Last entstehen für jeden Steuerwinkel $\alpha > 0^\circ$ negative Spannungs-Zeit-Flächen. Bei $\alpha = 90^\circ$ sind die positiven und die negativen Flächen gleich groß, so dass der Mittelwert der Ausgangsspannung Null wird.

Aufgabe Zeichne und erkläre den zeitlichen Verlauf der Lastspannung und des Laststromes für B2C-R und für B2C-RL, ideale Glättung. ($\alpha = 45^\circ$)



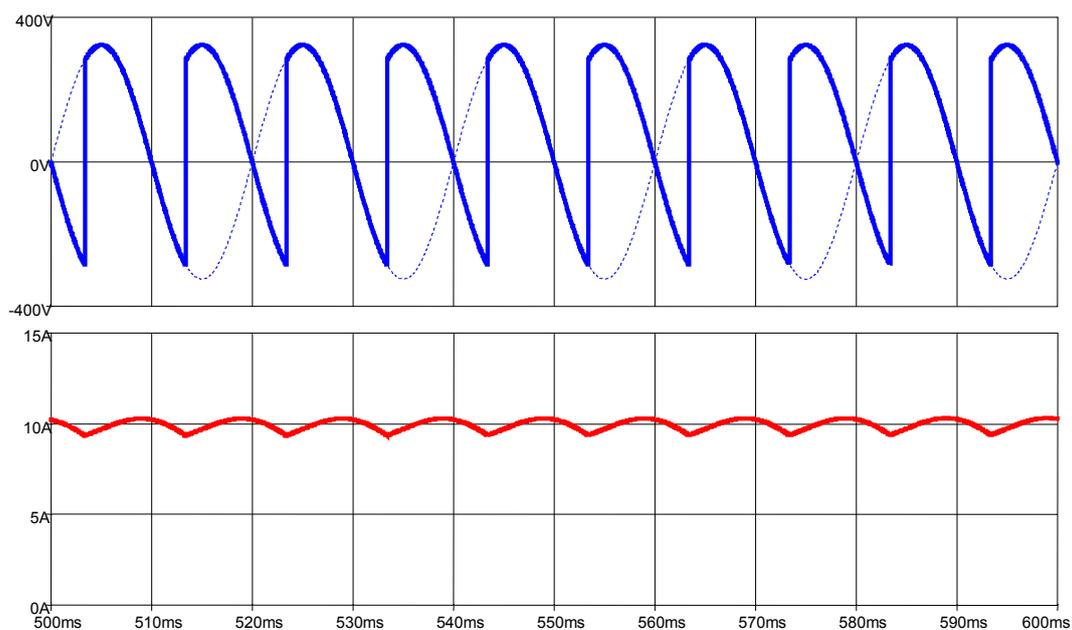
Feststellungen B2C-R

- Die Lastspannung ist immer positiv bzw. Null.
- Der Laststrom und die Lastspannung sind in Phase.
- Wird der Haltstrom unterschritten, so sperren die Thyristoren.
- Der Zündwinkel kann zwischen 0° und 180° eingestellt werden.

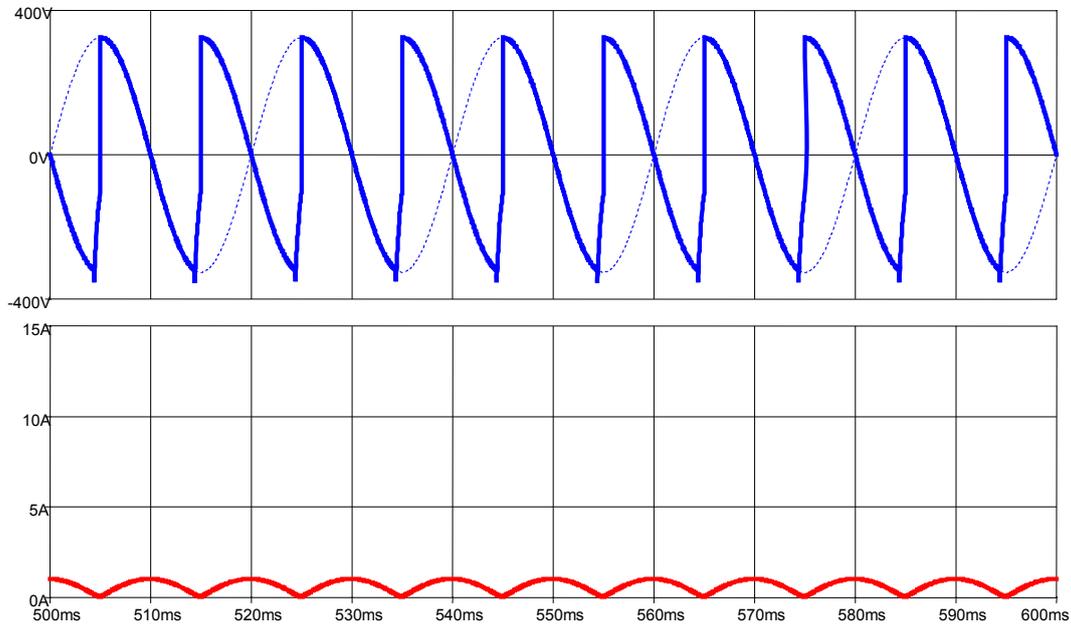
Feststellungen B2C-RL, ideale Glättung bzw. lückfreier Stromfluss

- Die Lastspannung wird auch negativ. Die Selbstinduktionsspannung treibt den Strom auch in der negativen Halbwelle der Netzspannung weiter. Dadurch entstehen neben den positiven auch negative Spannungs-Zeit-Flächen.
- Die negativen Spannungs-Zeit-Flächen nehmen mit dem Steuerwinkel zu und die positiven nehmen ab. Der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung wird kleiner.
- Die positiven und die negativen Spannungs-Zeit-Flächen sind für $\alpha = 90^\circ$ gleich groß. Der arithmetische Mittelwert der Lastspannung ist gleich Null.
- Aus Energiegründen können die negativen Spannungs-Zeit-Flächen nicht größer werden als die positiven (RL: passive Last)
- Mit zunehmendem Steuerwinkel wird die Amplitude des Stromes geringer, es kommt zu einem lückenden Strom. Der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung ist immer gleich null.

B2C-RL, $U_S = 230V$, $R = 10\Omega$, $L = 1H$: $\alpha = 60^\circ$



B2C-RL, $U_S = 230V$, $R = 10\Omega$, $L = 1H$: $\alpha = 90^\circ$



b. Arithmetischer Mittelwert der Ausgangsspannung: $U_{di\alpha}$

R-Last: Gleichrichterbetrieb

$$U_{di\alpha} = U_{di0} \frac{(1 + \cos \alpha)}{2}$$

B2C-R, Lückbetrieb, Gleichrichterbetrieb

$$U_{di0} = 0,9 U_S$$

$$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

RL-Last, lückfreier Betrieb: Gleichrichterbetrieb

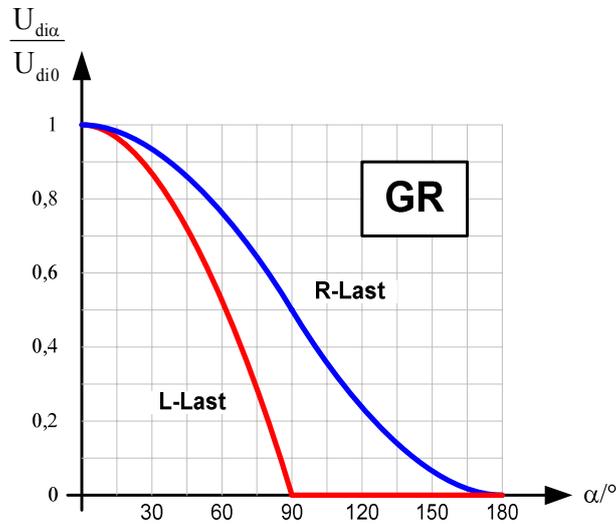
$$U_{di\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

B2C-RL, lückfreier Betrieb, Gleichrichterbetrieb

$$U_{di0} = 0,9 U_S$$

$$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

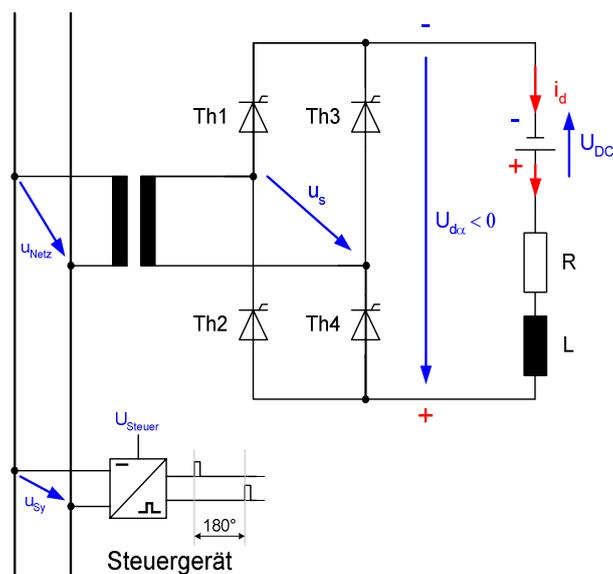
c. Steuerkennlinie des B2-Stromrichters im Gleichrichterbetrieb GR



Steuerkennlinie des B2-Stromrichters im Gleichrichterbetrieb

2.6 B2C-aktive Last: Wechselrichterbetrieb

Damit die negativen Spannungszeit-Flächen größer werden als die positiven, muss die passive RL-Last durch eine **aktive Last**, z.B. ein **Gleichstromgenerator**, ersetzt werden. Der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung wird somit negativ. Der Strom kann jetzt als lückefreier Gleichstrom in der gleichen Richtung weiterfließen. Der Stromrichter arbeitet jetzt im **Wechselrichterbetrieb**.



Gesteuerte Zweipuls-Brückenschaltung mit aktiver Last

Arithmetischer Mittelwert der Ausgangsspannung

$$U_{di\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

B2C, aktive Last

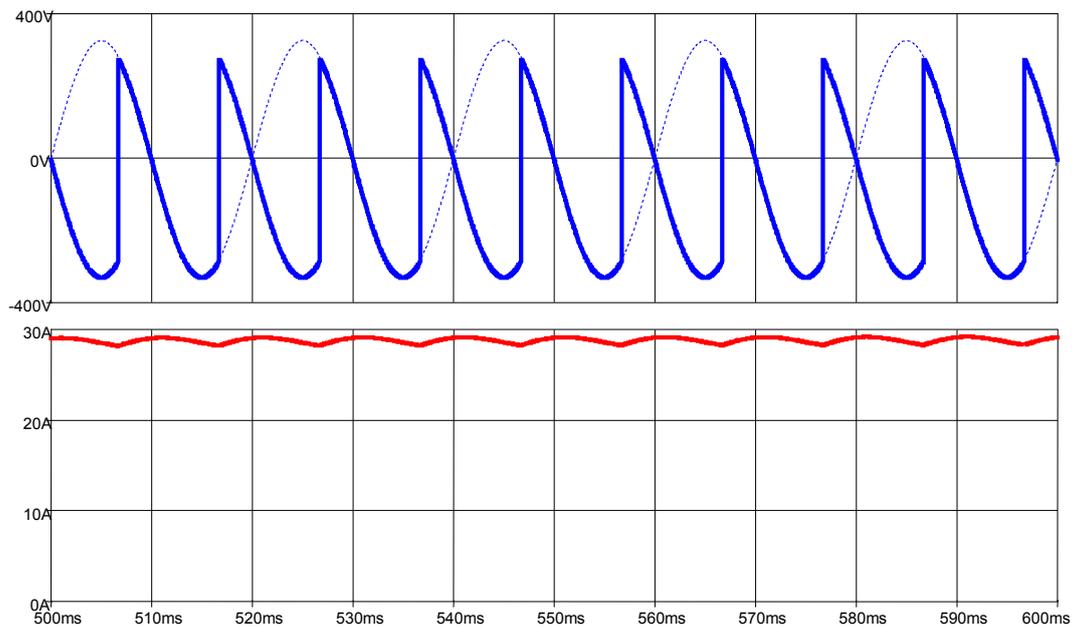
Wechselrichterbetrieb

$$U_{di0} = 0,9 U_S$$

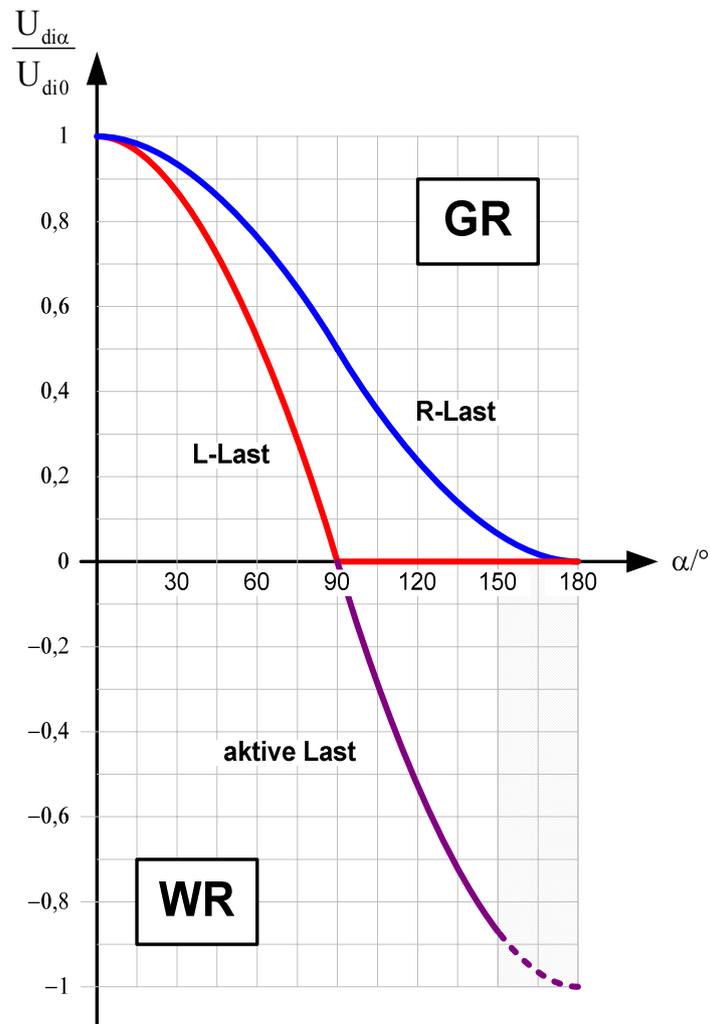
$$90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

In der Praxis wird der Zündwinkel aus Sicherheitsgründen im Wechselrichterbetrieb auf $\alpha = 150^\circ$ begrenzt. (Gefahr des Wechselrichterkippens)

B2C-RL, $U_S = 230V$, $R = 10\Omega$, $L = 1H$, $U_{DC} = 400V$: $\alpha = 120^\circ$



Steuerkennlinie des B2-Stromrichters im Gleichrichter- und im Wechselrichterbetrieb



Steuerkennlinie des B2-Stromrichters

$$U_{di\alpha} = U_{di0} \cdot \frac{(1 + \cos \alpha)}{2}$$

B2C-R

Gleichrichterbetrieb

$$U_{di0} = 0,9 U_S$$

$$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

$$U_{di\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

B2C-RL, lückfreier Betrieb

Gleichrichterbetrieb

$$U_{di0} = 0,9 U_S$$

$$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$U_{di\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

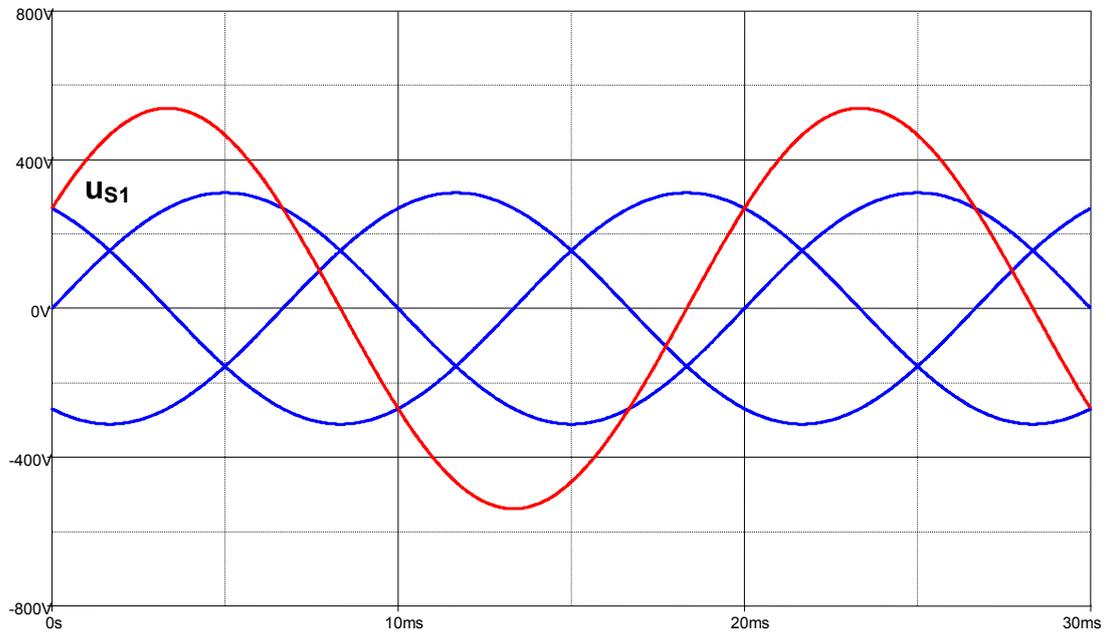
B2C-aktive Last

Wechselrichterbetrieb

$$U_{di0} = 0,9 U_S$$

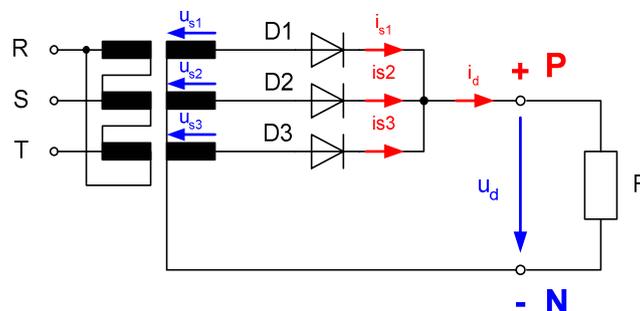
$$90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$$

2.7 Dreipuls-Mittelpunktschaltung: M3



Dreiphasenwechselfspannung

Die Grundsaltung aller am 3-Phasen-Netz arbeitenden Stromrichter ist die **Dreipuls Mittelpunktschaltung M3**. Bei der **M3K**-Schaltung sind die Katoden der Ventile miteinander verbunden und bilden den **+** Pol der Ausgangsspannung, während der **-** Pol der Transformator-Mittelpunkt ist.

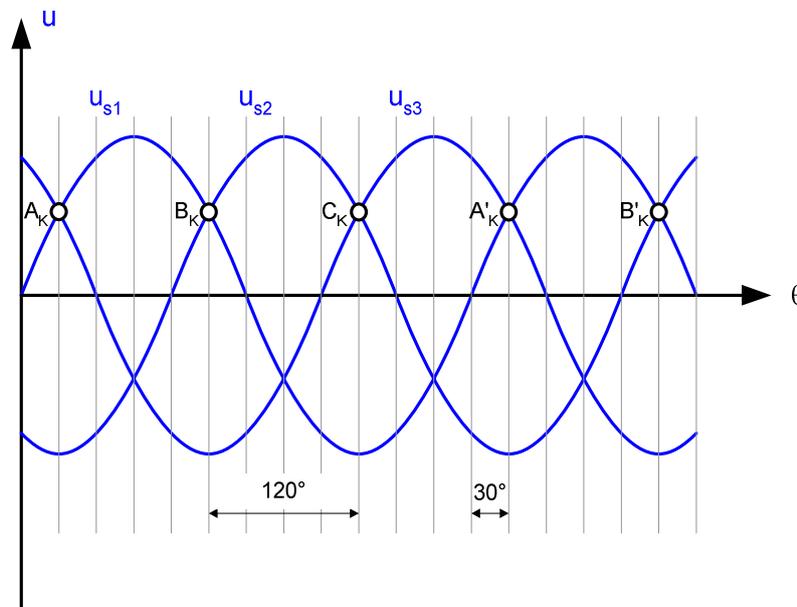


Ungesteuerte Drei-Puls-Mittelpunkt-Schaltung mit ohmscher Last: M3UK-R

Bemerkung Die M3UA-Schaltung wird nicht behandelt.

2.8 Ungesteuerte Dreipuls-Mittelpunktschaltung: M3U-R

Werden als Ventile Dioden verwendet, so fließt durch sie ein Strom, sobald die Anode positiv gegenüber der Katode ist.



A_K, B_K, C_K : natürliche Kommutierungspunkte des Katodensystems

Diode 1 bleibt nur solange leitend, wie u_{s1} die positivste Spannung ist. Dies trifft bis zum Punkt B_K , dem Phasen-Schnittpunkt zwischen u_{s1} und u_{s2} zu. Die Diode 2 erhält positive Anoden-Kathoden-Spannung und wird daher leitend. Ihr Anodenpotential wird an die Kathoden der Dioden 1 und 3 durchgeschaltet, wodurch an diesen Sperrspannung anliegt. Damit ergibt sich von B_K bis C_K folgender Schaltzustand: Diode 2 ist leitend und die Dioden 1 und 3 sind gesperrt.

Diode 2 führt nun Strom bis zum Punkt C_K , dann übernimmt Diode 3 den Strom bis Punkt A'_K , wo der Strom von Diode 3 an Diode 1 übergeht.

Dieser **Kommutierungsvorgang** wiederholt sich zyklisch mit der durch die Netzspannung vorgegebenen Frequenz. (netzgeführter Stromrichter oder Stromrichter mit natürlicher Kommutierung)

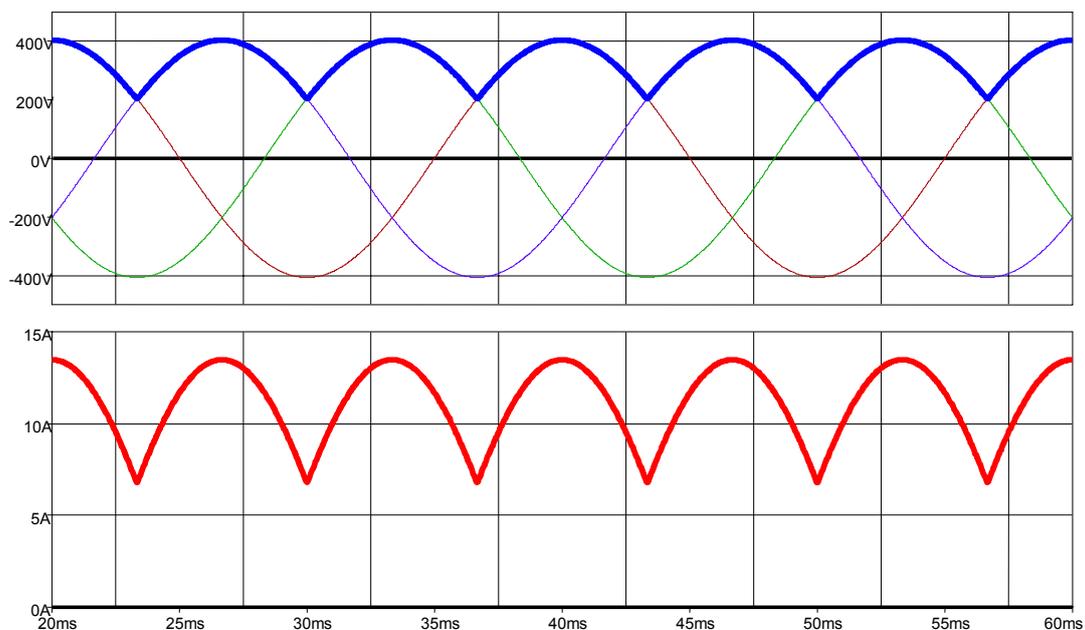
Die Schnittpunkte der Strangspannungen sind die **natürlichen Kommutierungspunkte**. Sie liegen 30° nach den Nulldurchgängen der Strangspannungen. (A_K , B_K , C_K etc.: natürliche Kommutierungspunkte des M3K-Systems.)

In der M3-Schaltung treten während einer Netzperiode 3 Kommutierungen auf. Deshalb nennt man diese Schaltung **3 pulsige Schaltung**.

- In einer M3-Schaltung leitet immer nur ein Ventil, und zwar dasjenige, das an der Anode das höchste positive Potential hat.
- In einem M3K-System wird der Strang mit der momentan höchsten positiven Phasenspannung an die Last gelegt.

Aufgabe Zeichne und erkläre den zeitlichen Verlauf von u_d und i_d für M3U-R.

M3U-R, $U_S = 280V$, $R = 20\Omega$



Feststellungen M3U

- Der natürliche Kommutierungspunkt ist für die Dreipulsschaltung 30° hinter dem Nulldurchgang der Phasenspannung.
- Anders als bei den vorherigen Gleichrichterschaltungen, wird die Ausgangsspannung zu keinem Zeitpunkt Null.
- In der 3-pulsigen M3U-Schaltung leitet jedes Ventil über ein Drittel der Netzperiode und ist während den restlichen zwei Drittel gesperrt. Die Leitdauer beträgt also $t_F = \frac{T}{3}$ bzw. 120° .
- Der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung U_{di0} beträgt:

$$U_{di0} = 1,17 \cdot U_s$$

Der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung der M3U-Gleichrichterschaltung ist also größer als der Effektivwert der Eingangs-Strangspannung.

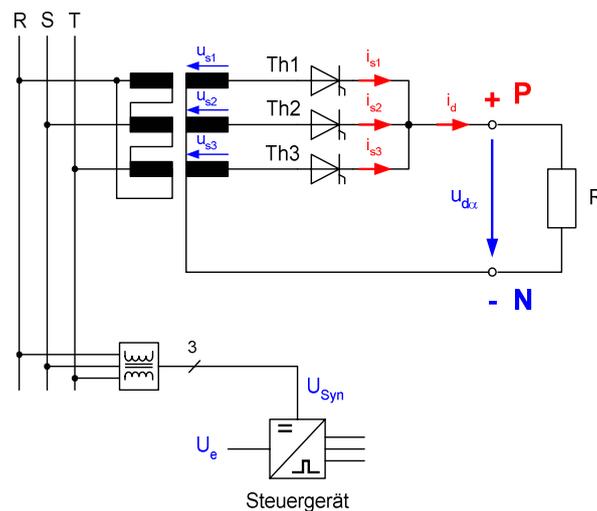
2.9 Gesteuerte Dreipuls-Mittelpunktschaltung: M3C-R

Werden anstelle der Dioden steuerbare Ventile (Thyristoren) verwendet, so erhält man die vollgesteuerte M3-Schaltung: **M3C**

Für die Inbetriebnahme der Schaltung ist daher darauf zu achten, dass der Steuersatz und die Thyristoren aus Synchronisationsgründen am gleichen Netz betrieben werden.

Das Steuergerät muss je Periode drei Steuerimpulse in einen Abstand von 120° liefern. Die zeitliche Lage der Steuerimpulse gegenüber dem natürlichen Zündzeitpunkt, also der Steuerwinkel, wird für die Impulse aller Ventile gemeinsam, durch eine Steuergleichspannung U_e , festgelegt.

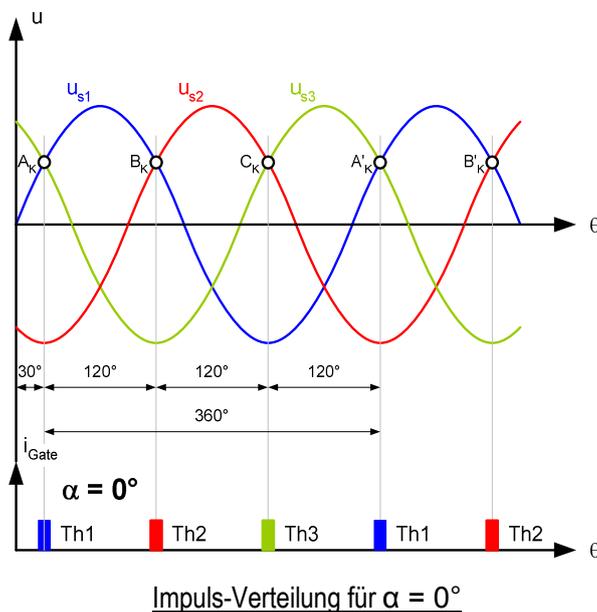
Um maximale Ausgangsspannung zu erhalten, müssen die Thyristoren dort leitend werden, wo es die Dioden wurden, also im Phasenschnittpunkt (natürlicher Kommutierungspunkt). Dies ist also der früheste mögliche Zeitpunkt zur Stromübernahme. Eine frühere Zündung der Thyristoren ist also nicht möglich.



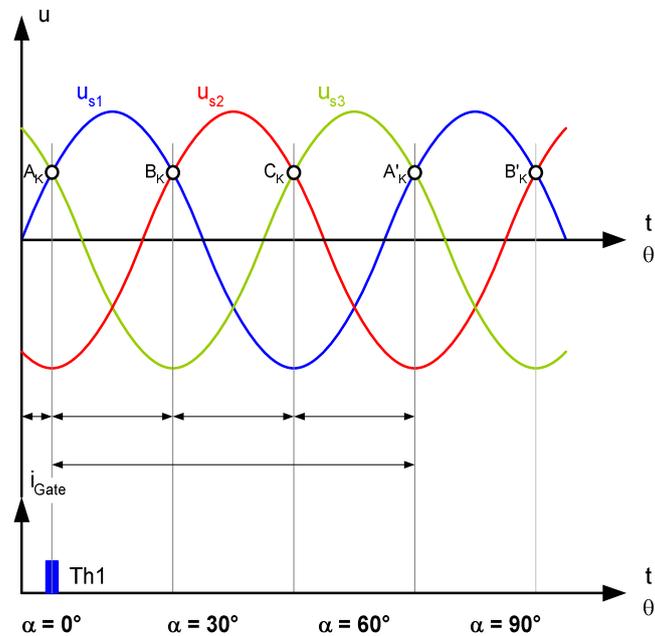
Gesteuerte Drei-Puls-Mittelpunkt-Schaltung mit ohmscher Last: M3C-R

Der natürliche Kommutierungspunkt ($\alpha = 0^\circ$) ist für die Dreipuls-schaltung 30° hinter dem Nulldurchgang der Phasenspannung.

Man erhält also folgende Impuls-Verteilung für den Zündwinkel $\alpha = 0^\circ$.

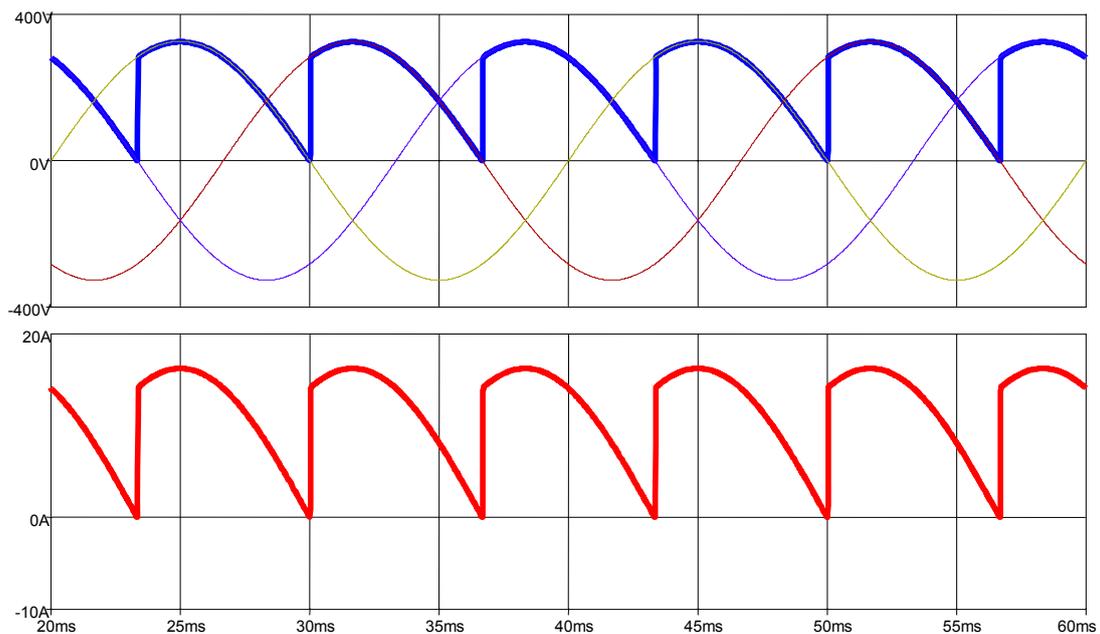


Aufgabe Trage in das folgende Diagramm die Zündimpulse für $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$.

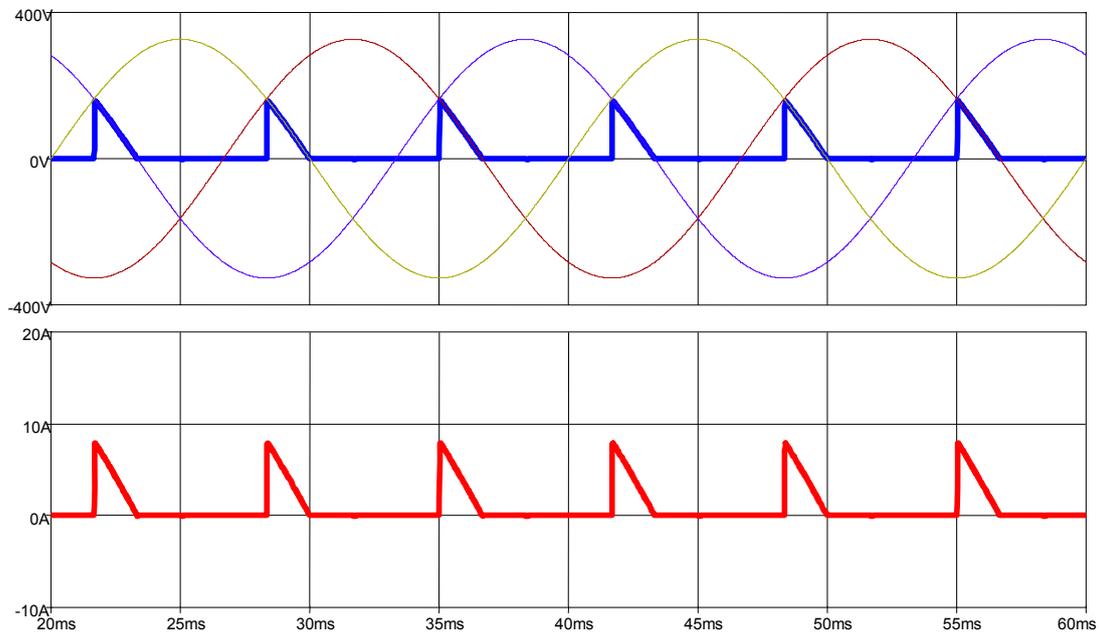


Impulse für $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ und 90°

M3C-R, $U_S = 230V, R = 20\Omega: \alpha = 30^\circ$



M3C-R, $U_S = 230V$, $R = 20\Omega$: $\alpha = 120^\circ$



- Der Strom beginnt zu lücken wenn der Zündwinkel 30° beträgt. Dieser Steuerwinkel ist der kritische Zündwinkel: $\alpha_{\text{krit}} = 30^\circ$.
- Schaut man sich den Verlauf von $u_{\text{di}\alpha}$ für $\alpha = 120^\circ$ an, so stellt man fest, daß noch 30° fehlen damit der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung Null wird: $\alpha_{\text{max}} = 150^\circ$

Arithmetischer Mittelwert der Ausgangsspannung M3C-R

Der arithmetische Mittelwert $U_{\text{di}\alpha}$ läßt sich mit Hilfe der folgenden Formeln berechnen:

$$U_{\text{di}\alpha} = U_{\text{di}0} \cdot \cos \alpha$$

$$U_{\text{di}0} = 1,17 \cdot U_S$$

$$0^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\text{krit}} = 30^\circ$$

M3C-R, nicht lückender Betrieb

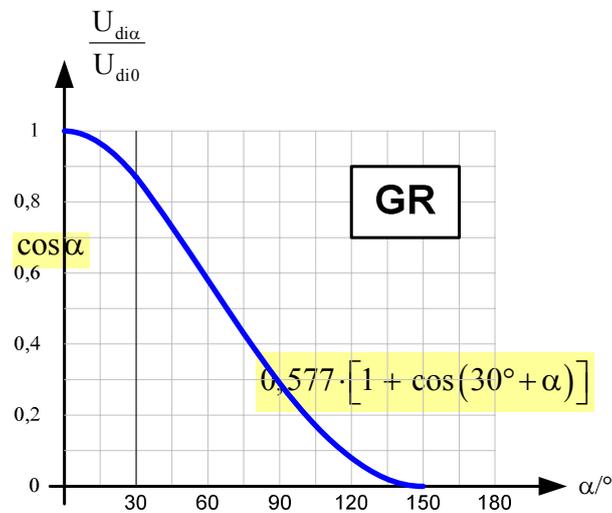
$$U_{\text{di}\alpha} = 0,577 \cdot U_{\text{di}0} \cdot [1 + \cos(30^\circ + \alpha)]$$

$$U_{\text{di}0} = 1,17 \cdot U_S$$

$$30^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\text{max}} = 150^\circ$$

M3C-R, Lückbetrieb

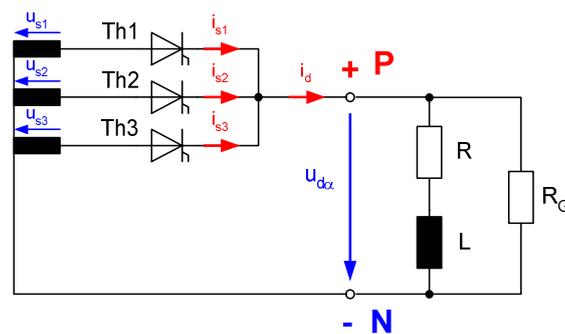
Steuerkennlinie des M3C-R-Gleichrichters



Steuerkennlinie des M3C-Gleichrichters mit ohmscher Last

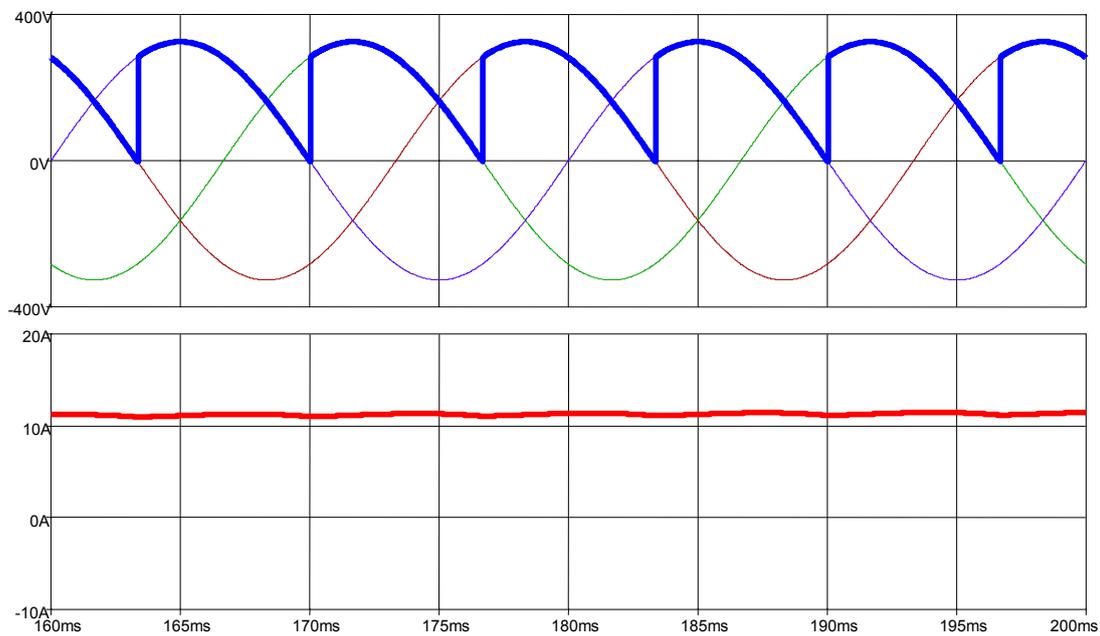
2.10 Gesteuerte Dreipuls-Mittelpunktschaltung: M3C-RL

Parallel zur RL-Last wird eine **ohmsche Grundlast** geschaltet. Diese dämpft die Schwingungen die bei ohmsch-induktiven Lasten entstehen. Außer der Induktivität als Energiespeicher sind noch die Kondensatoren der TSE-Beschaltung der Thyristoren vorhanden.

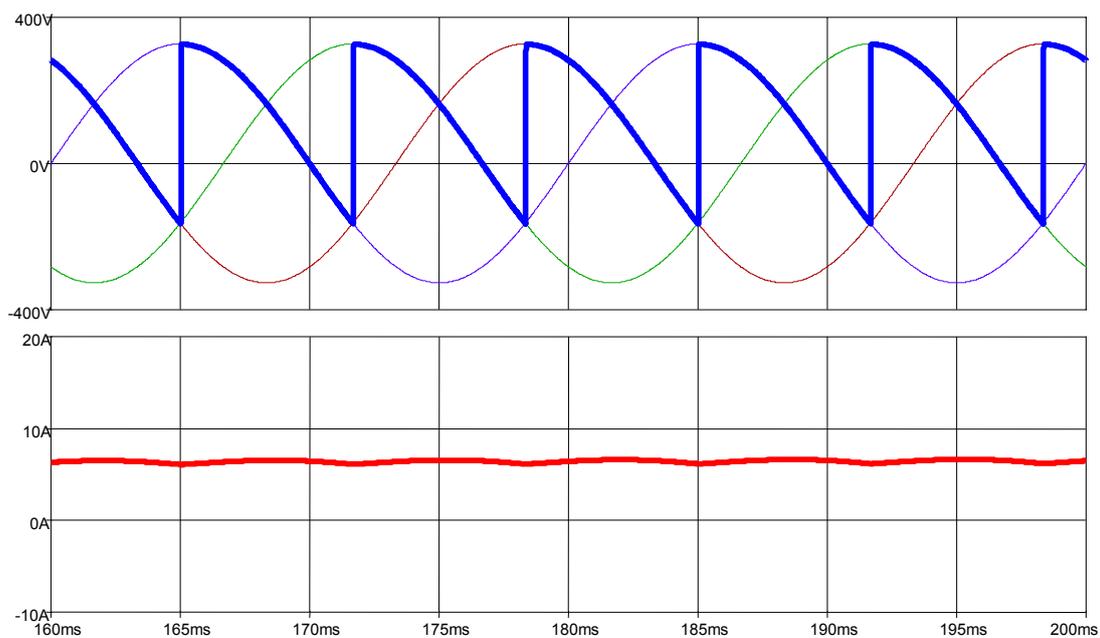


M3C-RL mit ohmscher Grundlast R_G

M3C-RL, $U_S = 230V$, $R = 20\Omega$, $L = 1H$: $\alpha = 30^\circ$



M3C-RL, $U_S = 230V$, $R = 20\Omega$, $L = 1H$: $\alpha = 60^\circ$



Feststellungen M3C-RL

- Für einen Zündwinkel zwischen 0° und 30° sind die Verläufe der Ausgangsspannungen für R- und RL-Last identisch.
- Ab dem Zündwinkel $\alpha = 30^\circ$ entstehen negative Spannungs-Zeit-Flächen.
- Ab dem Zündwinkel $\alpha = 90^\circ$ ist der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung gleich Null.
- Der Laststrom wird durch die RL-Last geglättet.
- Ein lückfreier Stromverlauf ist nur bis zu dem Zündwinkel $\alpha = 90^\circ$ möglich

Arithmetischer Mittelwert der Ausgangsspannung M3C-RL

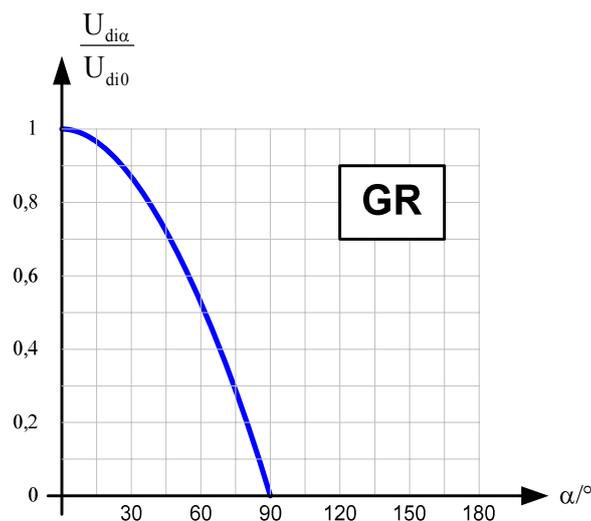
Der arithmetische Mittelwert $U_{di\alpha}$ läßt sich mit Hilfe der folgenden Formel berechnen:

$$U_{di\alpha} = U_{di0} \cdot \cos \alpha$$

$$U_{di0} = 1,17 \cdot U_S$$

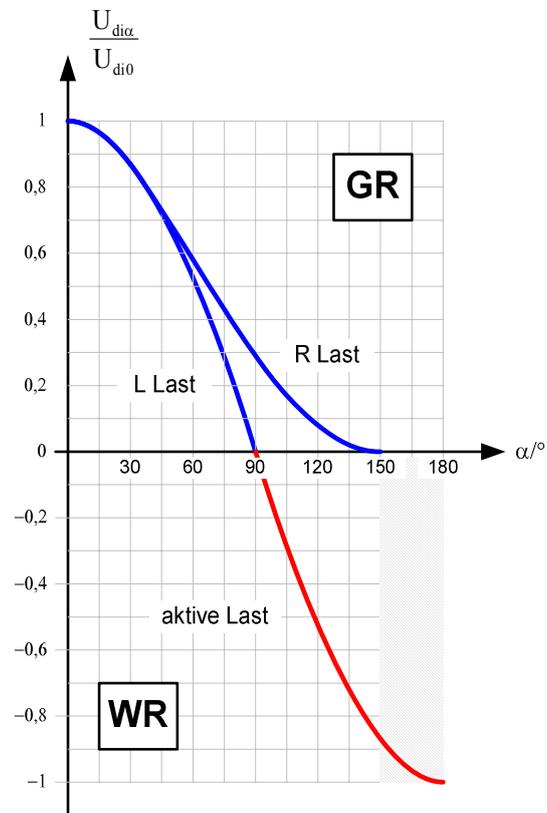
$$0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

M3C-RL, lückfreier Betrieb



Steuerkennlinie des M3C-Gleichrichters mit induktiver Last, lückfreier Betrieb

2.11 Steuerkennlinie der M3C-Schaltung: GR und WR



Steuerkennlinie des M3C-Stromrichters