

Hinweis: Bei der Prüfung *Leistungselektronik* ist derzeit keine Formelsammlung zugelassen. Daher kann diese Sammlung wichtiger Formeln und Schaltungen lediglich als Hilfe bei der Prüfungsvorbereitung dienen.

Bilder: Viele Bilder dieser Formelsammlung stammen aus dem Übungskript zum Fach Leistungselektronik: Grundlagen und Standardanwendungen. Bei diesen Bildern liegt das Copyright beim Lehrstuhl für Elektrische Antriebssysteme und Leistungselektronik - TU München

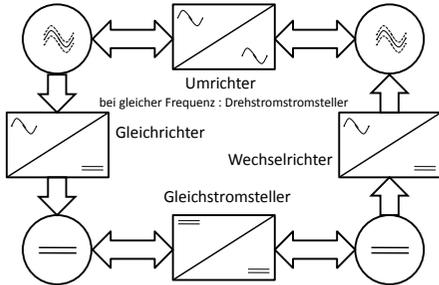
Allgemeines

Mittelwert: $u_M = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) dt$

Effektivwert (RMS): $U_{\text{eff}} = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T u^2(t) dt}$

1. Grundlagen

1.1. Elektrische Energiewandlung durch Stromrichter



2. Leistungshalbleiter

b aktiver Betrieb von Halbleitern wird bewusst vermieden. Leistungshalbleiter sind keine idealen Schalter → Verluste

2.1. Hartschaltende Bauelemente

- Sehr hohe Halbleiterbelastung
- Große Safe Operating Area erforderlich
- Niedrige Schaltfrequenz
- Problematisch bei hohen Leistungen

2.2. Weichschaltende Bauelemente

- Niedrige Halbleiterbelastung
- Höherer Ausschaltstrom
- Hohe Schaltfrequenz
- Einfacherer Gate-Treiber
- Zusätzliche Leistungskomponenten

3. Kühlung von Leistungshalbleitern

Abgestrahlte Leistung: $P_{\text{rad}} = \sigma \epsilon A (T_K^4 - T_a^4)$
 Strahlungskonstante: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$

4. Netzgeführte Schaltungen

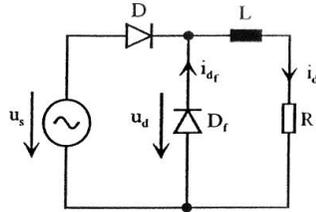
4.1. Netzteile

Grundstruktur



Gleichrichter Gleichrichterschaltungen unterscheidet man in Mittelpunkt- und Brückenschaltungen. Außerdem unterscheidet man aufgrund der Anzahl an Kommutierungen pro Periode.

Hinweis: An einer (idealen) Diode können nur positive Ströme auftreten. Allerdings ist (bei induktiven Lasten) das auftreten von negativen Spannungen möglich.
 ⇒ die Ausgangsspannung hängt immer auch von der Art der Last ab! mit Freilaufdiode

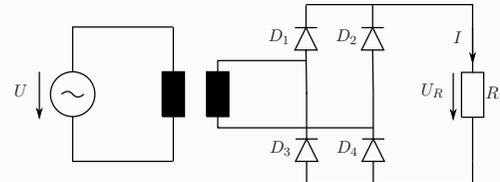


4.2. B2-Schaltung (Graetz-Brücke)

mit Transformator zur galvanischen Trennung.

für $U > 0$: i fließt über $D1$, Last, $D4$

für $U < 0$: i fließt über $D2$, Last, $D3$



Last	Strom	Spannung
R	-	-
RL	Glättung: wird nicht zu null	gleichgerichteter Sinus
RC	hoher Aufladestrom	Glättung: sinkt langsam ab

Voltage Ripple: $U_{\text{max}} - U_{\text{min}}$

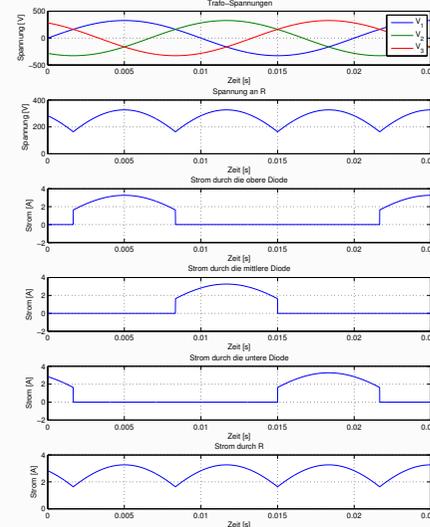
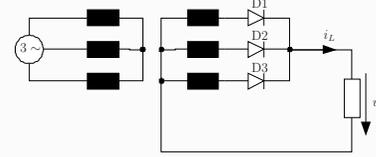
- a Zahl der ausfallenden Halbwellen
- f Frequenz der Halbwelle

Dimensionierung des Glättungskondensators

- Festlegung I_{max}
- Festlegung Voltage Ripple oder min. Spannung
 ⇒ Ladepausendauer = 1 Halbwelle
- Ausfallende Halbwellen?
 ⇒ $t_{\text{LP}} \approx (a + 1) \frac{1}{f}$
- Kondensator: $i = C \frac{du}{dt}$ $i = I_{\text{max}} = \text{const.}$
 $C = \frac{I_{\text{max}} t_{\text{LP}}}{U - U_{\text{min}}}$

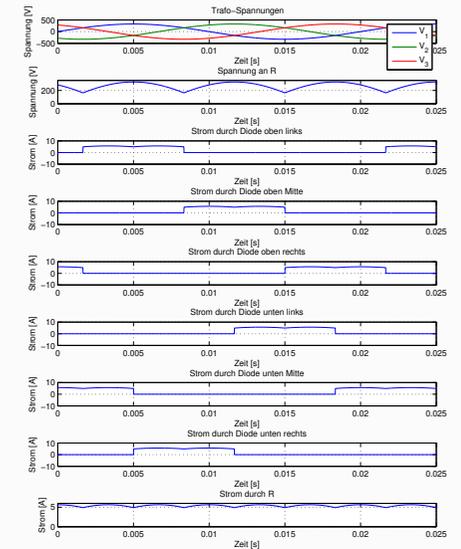
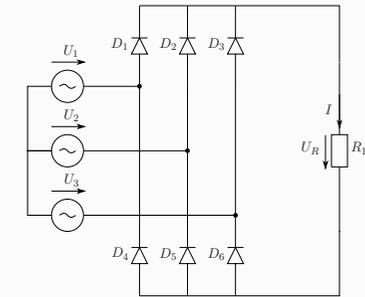
4.3. M3-Schaltung

Es leitet immer die Diode mit dem höchsten Potential.



4.4. B6-Schaltung

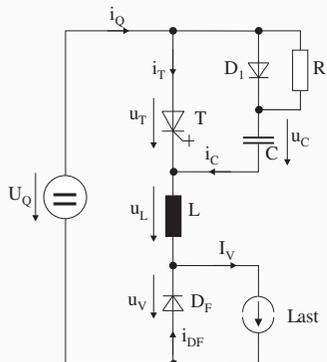
Oben: Es leitet immer die Diode mit dem höchsten Potential.
 Unten: Es leitet immer die Diode mit dem niedrigsten Potential.



$$U_{\text{di}\alpha} = 2 \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \hat{U} \sin(\omega t) d\omega t = \dots = U_{\text{di0}} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

5. Schutzbeschaltung

5.1. Snubber-Schaltung



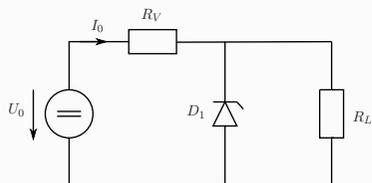
Die Kombination aus der dem RC -Glied mit zum Widerstand parallel geschalteter Diode nennt man *Snubber* Schaltung.

6. Schaltnetzteile

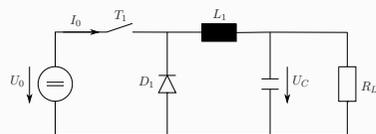
Ausgangsspannung: $U_A = U_0 \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}$

7. DC-DC-Converters

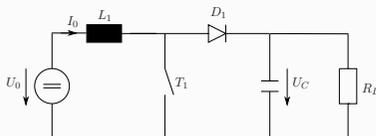
7.1. Linearregler



7.2. Tiefsetzsteller



7.3. Hochsetzsteller



8. Verlustleistung und Kühlung

8.1. Durchlassverluste

$$\text{zeitlicher Mittelwert: } I_{AV} = \frac{1}{T} \int_0^T i \, dt$$

$$\text{Effektivwert: } I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \, dt}$$

$$p_D = ui = U_S i + r_D i^2$$

$$P_D = \frac{1}{T} \int_0^T p_D \, dt = U_S \frac{1}{T} \int_0^T i \, dt + r_D \frac{1}{T} \int_0^T i^2 \, dt$$

8.2. Sperrverluste

für sinusförmige Sperrspannungen ($u_R(t) = \hat{u}_R \sin(\omega t)$)

$$P_R = \frac{1}{T} \int_0^T p_R(t) \, dt = \frac{1}{\pi} \hat{u}_R I_R$$

8.3. Ein- und Ausschaltverluste

$$\text{Einschaltverluste } W_{on} = \int_{t_0}^{t_0+t_{on}} p \, dt$$

$$\text{Ausschaltverluste } W_{off} = \int_{t_0}^{t_0+t_{off}} p \, dt$$

$$\text{gesamte Schaltverluste } P_s = f(W_{on} + W_{off})$$

9. Thermisches Ersatzschaltbild

9.1. Wärmeleitung

R_{th}	Wärmewiderstand
λ	Wärmeleitfähigkeit
A	Querschnitt d. Körpers
d	Dicke des Körpers

$$\text{Wärmeleitung: } R_{th} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{P}$$

$$R_{th} = \frac{d}{\lambda A}$$

9.2. Wärmespeicherung

C_{th}	Wärmekapazität
V	Volumen
γ	spez. Masse
c	spez. Wärmekapazität

$$P = C_{th} \frac{d\theta}{dt} = C_{th} \theta$$

9.3. Transiente Wärmewiderstände

$$Z_{thi}(t) = R_{thi} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{thi}}} \right)$$