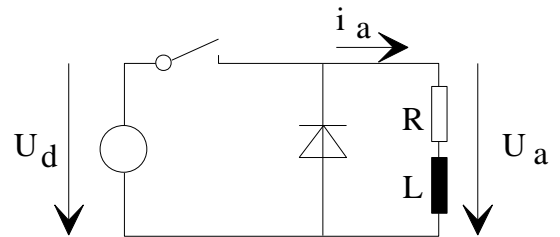


## Gleichstromsteller:

Um Gleichstromverbraucher verlustfrei steuern zu können, wird zwischen Gleichspannungsquelle und Verbraucher ein Gleichstromsteller geschaltet. Ist die Verbraucherspannung stets kleiner als die Spannung der Quelle, wird ein Tiefsetzsteller (Abwärtswandler); ist sie größer, so wird ein Hochsetzsteller (Aufwärtswandler) eingesetzt.

### a) Tiefsetz-Steller (Abwärtsregler) mit passiver Last

Bei geschlossenem Schalter wird der Strom durch die induktive Last entsprechend dem Induktionsgesetz vergrößert. Bei offenem Schalter treibt die Induktivität den Strom über die Freilaufdiode weiter. In dieser Phase nimmt der Strom exponentiell ab. Das Verhältnis von Einschalt- und Ausschaltdauer bestimmt die mittlere Ausgangsspannung.



Für die Einschaltphase gilt:

$$i_a(t) = \frac{U_d}{R} \left\{ \frac{\exp(-T_A / \tau) - 1}{1 - \exp(-T / \tau)} \exp(-t / \tau) + 1 \right\} \quad \text{mit } \tau = L/R$$

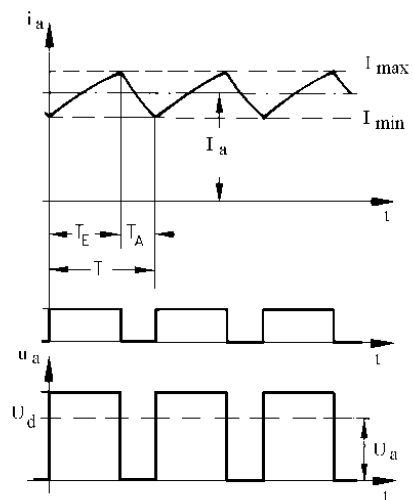
Für die Ausschaltphase gilt:

$$i_a(t) = \frac{U_d}{R} \left\{ \frac{-\exp(-T_E / \tau) + 1}{1 - \exp(-T / \tau)} \exp(-\frac{t - T_E}{\tau}) \right\}$$

Für genügend hohe Schaltfrequenz ( $T / \tau \ll 1$ ) lassen sich Laststrom und Spannung vereinfacht ermitteln:

$$U_a = \bar{u}_a = \frac{T_E}{T} U_d \quad I_a = \bar{i}_a = \frac{U_d T_E}{R T} \quad P = \frac{U_d^2}{R} \left( \frac{T_E}{T} \right)^2 = U_d I_d$$

$$f = 1 / T = 1 / (T_E + T_A)$$



Stromlücken werden vermieden, wenn der Strom während der Ausschaltphase nicht zu Null wird:

$$\text{Grenze: } I_{a \min} = \frac{1}{2} \Delta I \approx \frac{T}{2L} U_a \left( 1 - \frac{U_a}{U_d} \right)$$

Die Betriebsfrequenz  $f$  wird so hoch gewählt, wie die Schalter es zulassen, damit die Induktivität möglichst klein wird:

$$I_{\max} - I_{\min} = \Delta I \approx \frac{1}{L} (U_d - U_a) * T_E \quad \Delta I = \max \quad \text{für } T_E = T_A \Rightarrow L * f = \frac{U_d}{4\Delta I}$$

$$\text{Ventilbelastung: } I_{TAV} = I_d = I_a \frac{T_E}{T} \quad I_{TRMS} = I_a \sqrt{\frac{T_e}{T}} \quad I_{FAV} = I_a \left( 1 - \frac{T_E}{T} \right) \quad I_{FRMS} = I_a \sqrt{1 - \frac{T_E}{T}}$$

Die Verluste des Schalters setzen sich zusammen aus den Durchlaßverlusten, Schaltverlusten und den Verlusten, die durch die Streuinduktivität  $L_s$  in der Batteriezuleitung entstehen:

$$P_v = P_T + (W_{on} + W_{off}) f + \frac{1}{2} L_s I_a^2 * f \quad (\hat{P}_s \approx I_a)$$

Die Streuinduktivität führt zu einer Überspannung am Schalter:  $\Delta U = I_a \sqrt{\frac{L_s}{C}}$  mit  $C$  = Schalterkapazität

Ohne Beschaltung kann diese Überspannung dazu führen, daß die Sperrspannung des Schalters überschritten wird. Bei kleinen Leistungen ertragen Avalanche-feste MOSFET's eine bestimmte Avalanche-Energie. In einem solchen Fall ist keine Beschaltung des Schalters erforderlich. Bei größeren Leistungen bzw. nicht avalanche-festen Bauelementen ist eine zusätzliche RC-Beschaltung notwendig.

**Steuerverfahren:**

Pulsbreitensteuerung: Bei konstanter Taktfrequenz  $f$  wird die Einschaltdauer  $T_E$  verändert:  $P \cong T_E^2$

Pulsfrequenzsteuerung: Bei konstanter Einschaltdauer wird die Taktfrequenz verändert:  $P \cong f^2 = \frac{1}{T^2}$

Das Takten mit der Frequenz  $1/T$  erzeugt Oberschwingungen, welche bei nicht konstanter Taktfrequenz schwer auszufiltern sind. Daher wird die Pulsbreitensteuerung bevorzugt.

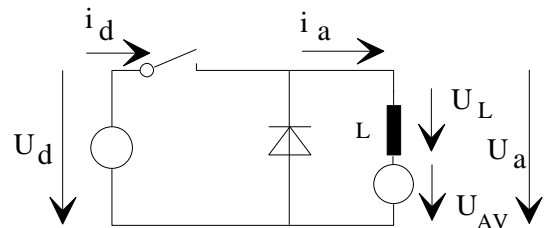
**b) Tiefsetzsteller mit Gegenspannung (motorische Last)**

Die Last (z. B. ein Gleichstrommotor) liefert die Gleichspannung  $U_{AV}$ . Mit der vorher getroffenen Näherung ( $T / \tau \ll 1$ ) gilt für den

**nichtlückenden Betrieb:**

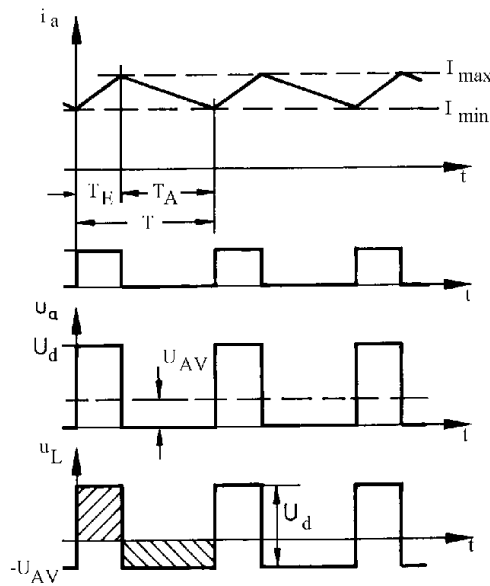
$$U_{AV} = \frac{T_E}{T} U_d \quad I_a \approx \frac{1}{2} (I_{\max} + I_{\min})$$

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} = \frac{U_d - U_{AV}}{L} T_E \quad P = I_a U_{AV} = U_d I_d$$

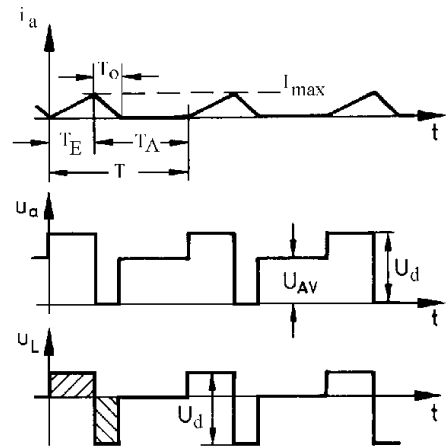


**Ventilbelastung:**

Wie bei passiver Last



nichtlückender Betrieb



lückender Betrieb

**Lückbetrieb:**

$$\frac{I_{\max}}{T_E} = \frac{1}{L} (U_d - U_{AV}) \quad \frac{I_{\max}}{T_0} = \frac{U_{AV}}{L} \quad I_a = \frac{I_{\max} (T_E + T_0)}{2T}$$

$$I_a = \frac{L}{2T} I_{\max}^2 \left( \frac{1}{U_{AV}} + \frac{1}{U_d - U_{AV}} \right) = \frac{L}{2T * U_{AV}} I_{\max}^2 \left( 1 + \frac{1}{U_d / U_{AV} - 1} \right)$$

### c) Hochsetzsteller (Aufwärtsregler):

In der Einschaltphase steigt der Strom durch die Induktivität an, in der Ausschaltphase treibt die Induktivität den Strom durch die Diode zur Last weiter.

Für nichtlückenden Betrieb gilt:

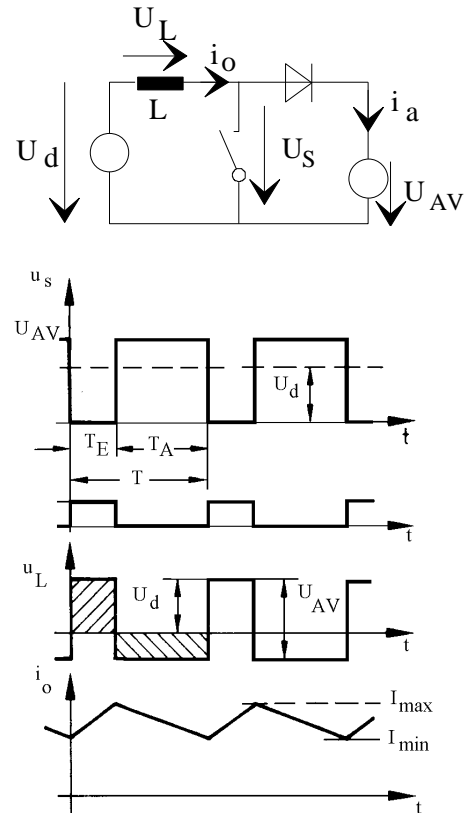
$$U_a = U_{AV} = \frac{T}{T_A} U_d \quad I_d = \frac{1}{2} (I_{\max} + I_{\min})$$

$$I_a = \frac{1}{2} (I_{\max} + I_{\min}) \frac{T_A}{T}$$

Der Strom an der Lückengrenze ist:

$$I_d = \frac{1}{2} I_{\max} = U_d \left(1 - \frac{U_d}{U_{AV}}\right) \frac{T}{2L}$$

$$I_a = I_d \frac{T_A}{T}$$



### d) Resonanz-Stromrichterschaltung

Der Nachteil, daß bei den gezeigten Stellerschaltungen die Halbleiterschalter bei voller Last ein- und ausschalten müssen, kann bei Resonanz-Schaltungen vermieden werden. Der nachfolgend gezeigte Tiefsetzsteller wurde durch einen Schwingkreis  $L_1$  und  $C$  ergänzt, welcher dafür sorgt, daß der Schalter im stromlosen Zustand ausschalten kann und somit die Ausschaltverluste sehr klein werden. Nachteilig ist, daß die Pulsbreite und damit die Ausgangsspannung nicht beliebig eingestellt werden kann: Zum stromlosen Schalten muß auf jeden Fall abgewartet werden, bis der Schalterstrom wieder auf Null abgeklungen ist.

