



# GRUNDSCHALTUNGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

## ÜBUNG

### Inhalte:

- Überblick Gegentaktwandler
- Berechnung eines Gegentaktwandlers

Diese Arbeitsblätter werden in der Übung ausgefüllt/ergänzt

V11 P10-13

# 1 Überblick Gegentaktwandler

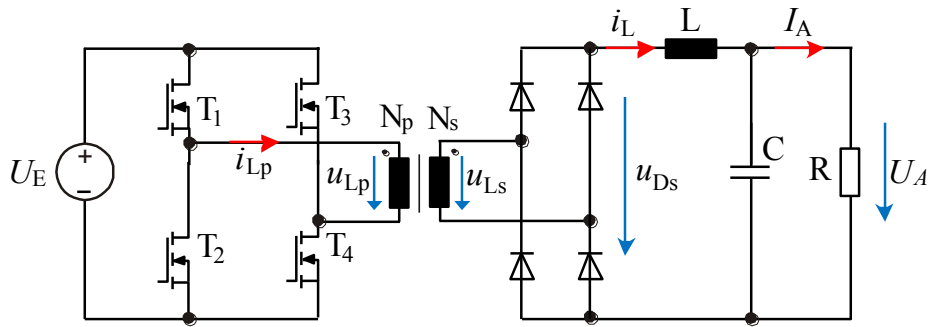


Abbildung 1.1: Vollbrücken-Gegentaktwandler

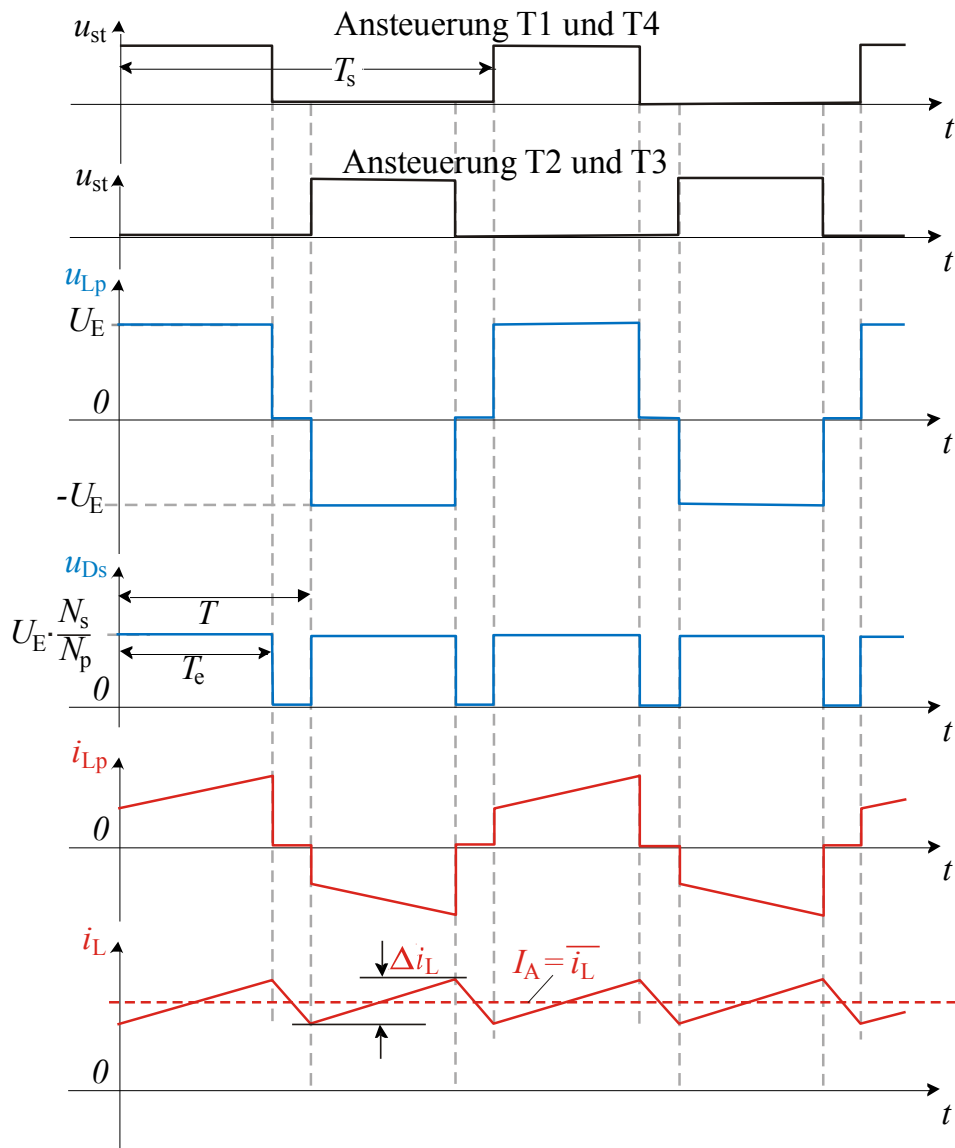


Abbildung 1.2: Strom- und Spannungsverläufe beim Vollbrücken-Gegentaktwandler

Der in Abb. 1.1 dargestellte Vollbrücken-Gegentaktwandler (Push-pull converter) ist für höchste Leistungen geeignet. Der Gegentaktwandler betreibt einen potentialtrennenden Transformator mit einer Wechselspannung, bei der **beide Halbschwingungen zur Energieübertragung genutzt werden**. Die Transformatorspannung  $u_{Lp}$  kann, je nachdem, ob die Transistoren  $T_1, T_4$  oder  $T_2, T_3$  oder keiner leitend ist, die Zustände  $u_{Lp} = U_E, -U_E$  oder 0 annehmen. Auf der Sekundärseite wird die Wechselspannung gleichgerichtet und über L und C geglättet.

Wenn alle vier Transistoren gesperrt sind (z. B. für eine kurze Zeit beim Umschalten oder während  $T_a$ ), fließt der primärseitige Trafostrom über die Inversdioden von zwei diagonalen Transistoren weiter. Dabei spielt es keine Rolle, welche Richtung der Strom hat. Die Vollbrücke erlaubt in jedem Fall, dass der Strom in die Eingangsspannungsquelle zurückfließt. Sie hat dadurch den Vorteil, dass die Energie in den Streuinduktivitäten des Trafos bei jeder Umschaltung automatisch auf die Primärseite zurückspeist wird und nicht verloren geht. Das ergibt einen **besseren Wirkungsgrad** des Wandlers und weniger Aufwand für die Kühlung der Transistoren oder der Entlastungsnetzwerke. Oft können die Brückentransistoren ganz ohne Kühlkörper betrieben werden.

Für den kontinuierlichen Betrieb gilt:

$$U_A = U_E \cdot \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{T_e}{T}$$

Die Transistoren des Gegentaktwandlers können maximal mit dem Tastverhältnis  $T_e/T_s = 0,5$  angesteuert werden. Das ergibt hinter der Gleichrichtung ein Tastverhältnis von  $T_e/T = 1$ . Dieser wird in der Praxis jedoch nicht ganz erreicht, weil übereinanderliegende Transistoren  $T_1, T_2$  bzw.  $T_3, T_4$  mit einem Zeitversatz geschaltet werden müssen, damit kein sogenannter Brückenkurzschluss entsteht. Das Windungsverhältnis wird deshalb gewählt zu:

$$\frac{N_s}{N_p} \geq \frac{U_A}{U_E}$$

## Halbbrücken-Gegentaktwandler

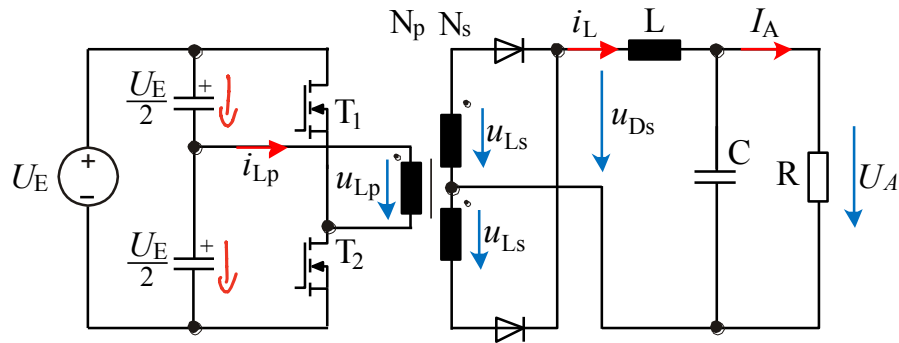


Abbildung 1.3: Halbbrücken-Gegentaktwandler mit Zweiweggleichrichtung

Eine Variante des Gegentaktwandlers ist der Halbbrücken-Gegentaktwandler (Single-ended push-pull converter).

Bei der Halbbrücke auf der Eingangsseite wird eine künstliche Mittenspannung mit zwei Elkos hergestellt, die die Eingangsspannung  $U_E$  in zweimal  $U_E/2$  aufteilt. Diese Variante eignet sich besonders für hohe Eingangsspannungen, wo eine Halbierung der Spannungsfestigkeit von  $T_1$  und  $T_2$  einen zusätzlichen Vorteil bedeutet.

Durch die Kondensatoren erreicht man eine automatische Symmetrierung. Selbst für den Fall der unsymmetrischen Ansteuerung der Transistoren  $T_1$  und  $T_2$  verschiebt sich die künstliche Mittenspannung so, dass der Transformator gleichmäßig in beiden Richtungen angesteuert wird.

Durch die Aufteilung der Eingangsspannung beträgt die Amplitude der Primärspannung am Transformator  $U_E/2$ . Gegenüber dem Vollbrücken-Gegentaktwandler muss das Windungsverhältnis entsprechend gewählt werden zu:

$$\frac{N_s}{N_p} \geq 2 \cdot \frac{U_A}{U_E}$$

In Abbildung 1.3 ist statt des Brückengleichrichters aus Abbildung 1.1 eine Zweiweggleichrichtung gezeichnet worden. Die Wahl zwischen Brücken- und Zweiweggleichrichtung hängt von der Ausgangsstromstärke bzw. von der Ausgangsspannung ab. Bei niedriger Ausgangsspannung und hohem Ausgangsstrom hat die Zweiweggleichrichtung den Vorteil geringerer Durchlassverluste an den Gleichrichterdiolen, erfordert jedoch eine zusätzliche Sekundärwicklung am Transformator.

## 2 Auslegung eines Halbbrücken-Gegentaktwandlers

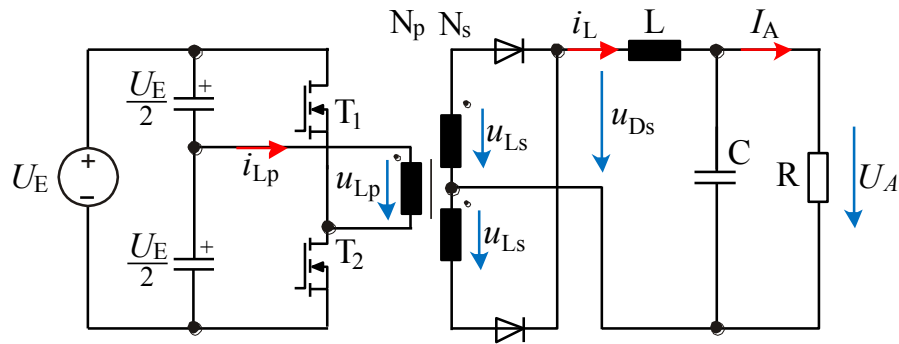


Abbildung 2.1: Prinzipieller Schaltplan eines Halbbrücken-Gegentaktwandlers

Gegeben sind:

Eingangsspannung:  $U_E = 220 \text{ bis } 340 \text{ V}$

Ausgangsspannung:  $U_A = 24 \text{ V}$

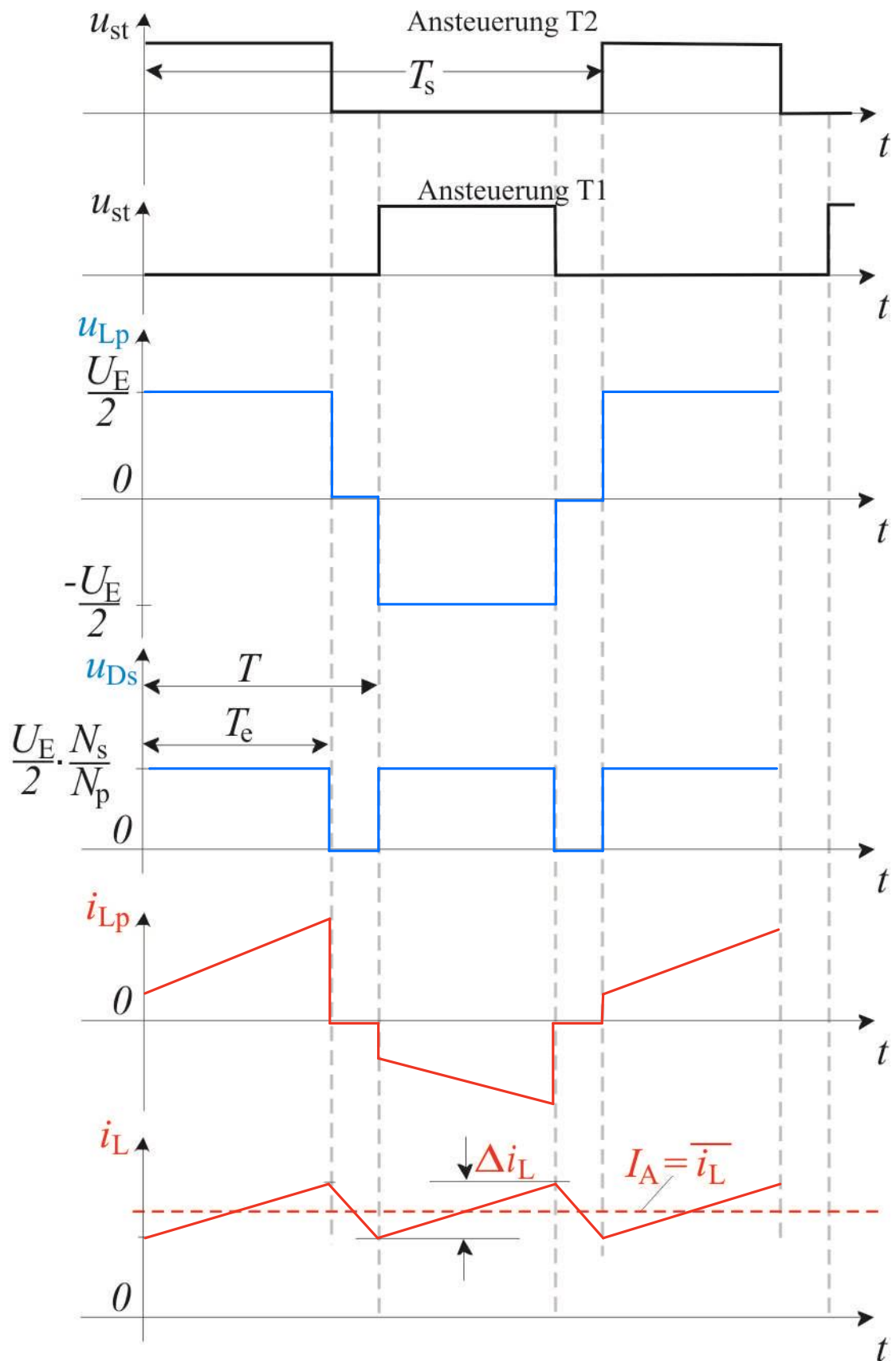
Schaltfrequenz:  $f_s = 25 \text{ kHz}$

- Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannungen  $u_{Lp}$  und  $u_{Ds}$  sowie der Ströme  $i_{Lp}$  und  $i_L$  im nichtlückenden Betrieb.
- Berechnen Sie die maximale Einschaltdauer  $T_{e,max}$  für eine Totzeit von  $1 \mu\text{s}$ .
- Berechnen Sie das passende Windungszahlverhältnis für den Transformator so, dass auch noch bei minimaler Eingangsspannung die geforderte Ausgangsspannung erreicht wird.
- Wie groß muss die Glättungsinduktivität sein, damit der Stromripple auch bei maximaler Eingangsspannung nicht größer als  $1 \text{ A}$  wird?
- Berechnen Sie die Primär- und Sekundärwindungszahl des Transformators. Die Daten des verwendeten ETD 44-Kerns lauten:

$$B_{max} = 200 \text{ mT}$$

$$A_{Fe} = 172 \text{ mm}^2$$

- a) zeitlicher Verlauf von  $u_{Lp}$ ,  $u_{Ds}$ ,  $i_{Lp}$  und  $i_L$  im nichtlückenden Betrieb



b) max. Einschaltdauer  $T_{e,max}$ :

Transistorschaltfrequenz  $f_s = 25 \text{ kHz} \Rightarrow$  Schalt-Periodendauer pro Transistor  $T_s = 40 \mu\text{s}$

Periodendauer  $T$  für Verläufe auf Sekundärseite:  $T = T_s/2 = 20 \mu\text{s}$

$$T_{e,max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{f_s} - T_{tot} = 20 \mu\text{s} - 1 \mu\text{s} = 19 \mu\text{s}$$

c) Windungszahlverhältnis Transformator

Wahl des Übersetzungsverhältnisses so, dass auch noch bei (minimaler Eingangsspannung) (mit (maximaler Einschaltdauer)) die Ausgangsspannung erreicht wird.

$T_{e,max}$

$U_{E,min}$

Berechnungsansatz:

Spannungs-Zeit-Flächen über der  
Glättungsdrossel müssen im zeitlichen

Mittel Null ergeben

$$U_L = U_{Ds} - U_A$$

$$T_e: U_L = \frac{U_E}{2} \cdot \frac{N_s}{N_p} - U_A$$

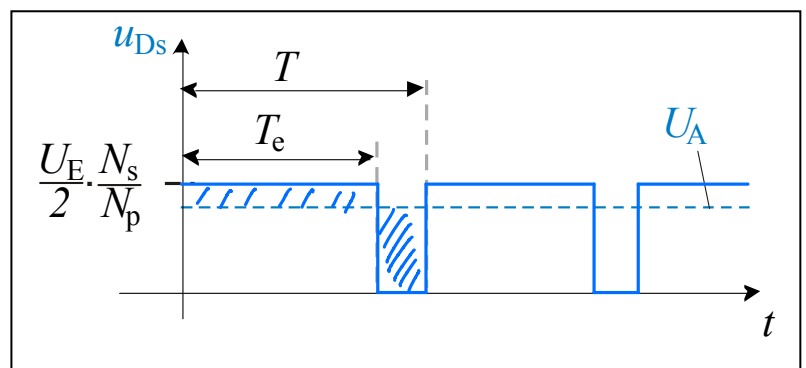
$$T - T_e: U_L = -U_A$$

$$\Rightarrow T_e \cdot \left( \frac{U_E}{2} \cdot \frac{N_s}{N_p} - U_A \right) \stackrel{!}{=} (T - T_e) \cdot U_A$$

$$\Rightarrow \frac{N_s}{N_p} = \frac{2 \cdot U_A}{U_E} \cdot \frac{T}{T_e}$$

mit  $U_{E,min}$  und  $T_{e,max}$

$$\Rightarrow \frac{N_s}{N_p} = \frac{2 \times 24 \text{ V}}{220 \text{ V}} \cdot \frac{20 \mu\text{s}}{19 \mu\text{s}} = \frac{1}{4.35}$$



d) Induktivität der Glättungsdrossel

Spannung über der Drossel während  $T_e$ :

$$U_L = U_{D_s} - U_A \text{ mit } U_{D_s} = \frac{U_E}{2} \cdot \frac{N_s}{N_p}$$

$$U_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} = L \cdot \frac{\Delta i_L}{T_e}$$

$$\Rightarrow L = U_L \cdot \frac{T_e}{\Delta i_L} = \left( \frac{U_E}{2} \cdot \frac{N_s}{N_p} - U_A \right) \cdot \frac{T_e}{\Delta i_L}$$

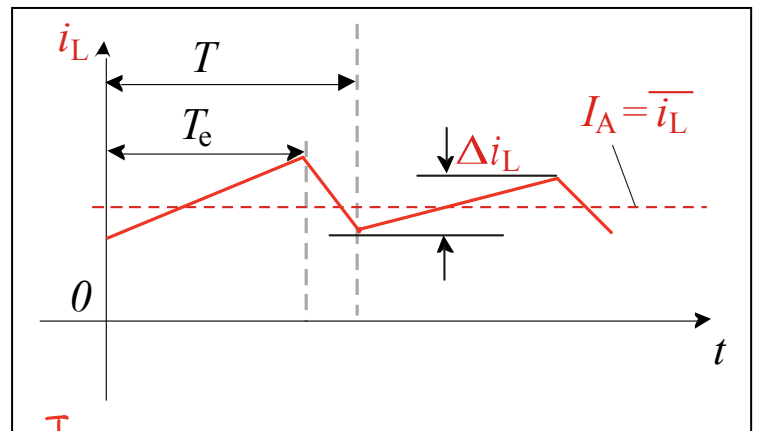
$T_e$  für  $U_{E,max}$  aus (c)

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{2 \cdot U_A}{U_E} \cdot \frac{T}{T_e} \Rightarrow T_{e,min} = \frac{N_p}{N_s} \cdot \frac{2 U_A}{U_{E,max}} \cdot T$$

$$T_{e,min} = 4.35 \cdot \frac{2 \times 24V}{340V} \cdot 20 \mu s = 12.28 \mu s$$

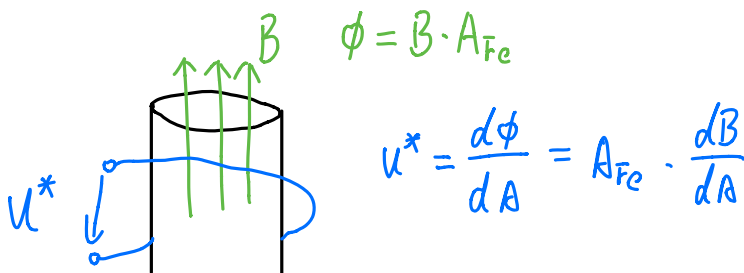
$$L = \left( \frac{U_{E,max}}{2} \cdot \frac{N_s}{N_p} - U_A \right) \cdot \frac{T_{e,min}}{\Delta i_L}$$

$$= \left( \frac{340V}{2} \times \frac{1}{4.35} - 24V \right) \cdot \frac{12.28 \mu s}{1A} \approx 185 \mu H$$



e) Primär- und Sekundärwindungszahl des Transformators:

Berechnung der Windungsspannung



$$\text{mit } dB = \pm \hat{B} = 2 \cdot B_{max}$$

-  $\hat{B}$  nach +  $\hat{B}$  ( $T_2$  eingeschaltet)

+  $\hat{B}$  nach -  $\hat{B}$  ( $T_1$  eingeschaltet)

$$U^* = A_{Fe} \cdot \frac{2 \cdot B_{max}}{T_{e,max}} = 172 \text{ mm}^2 \cdot \frac{2 \cdot 0.2 T}{19 \mu s}$$

$$= 3.62 \text{ V/wdg}$$

Primärwicklung:  $N_p = \frac{U_{Lp,max}}{U^*} = \frac{U_{E,max}}{2} \cdot \frac{1}{3.62} \approx 47 \text{ wdg}$

Sekundärwicklung:

$$\text{aus (c)} \frac{N_s}{N_p} = \frac{1}{4.35} \Rightarrow N_s = \frac{47}{4.35} \approx 11 \text{ wdg}$$

$\Rightarrow$  wdg. Spannungsreserve  $N_s \geq 11 \text{ wdg}$





# 1 Überblick Gegentaktwandler

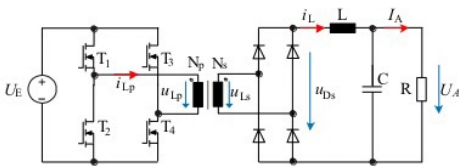


Abbildung 1.1: Vollbrücken-Gegentaktwandler

Für den kontinuierlichen Betrieb gilt:

$$U_A = U_E \cdot \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{T_e}{T}$$

Die Transistoren des Gegentaktwandlers können maximal mit dem Tastverhältnis  $T_e/T_s = 0,5$  angesteuert werden. Das ergibt hinter der Gleichrichtung ein Tastverhältnis von  $T_e/T = 1$ . Dieser wird in der Praxis jedoch nicht ganz erreicht, weil übereinanderliegende Transistoren  $T_1, T_2$  bzw.  $T_3, T_4$  mit einem Zeitversatz geschaltet werden müssen, damit kein sogenannter Brückenkurzschluss entsteht. Das Windungsverhältnis wird deshalb gewählt zu:

$$\frac{N_s}{N_p} \geq \frac{U_A}{U_E}$$

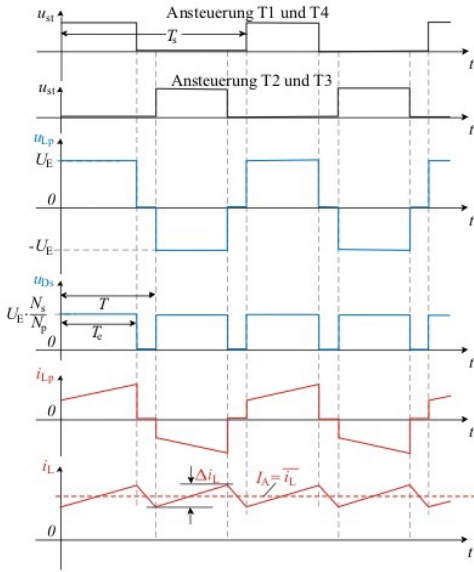


Abbildung 1.2: Strom- und Spannungsverläufe beim Vollbrücken-Gegentaktwandler

## Halbbrücken-Gegentaktwandler

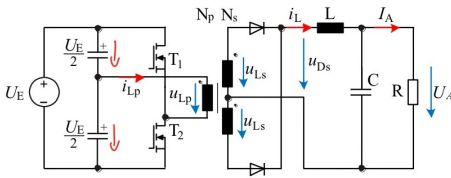


Abbildung 1.3: Halbbrücken-Gegentaktwandler mit Zweigweggleichrichtung

次级线圈侧有两种连接方式的 Gleichrichter  
 左边初级侧也可以是半桥或全桥.  
 Gegentaktwandler  
 (差模变压器)