



GRUNDSCHALTUNGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

ÜBUNG

Inhalte:

- Überblick Gegentaktwandler
- Berechnung eines Gegentaktwandlers

Diese Arbeitsblätter werden in der Übung ausgefüllt/ergänzt

1 Überblick Gegentaktwandler

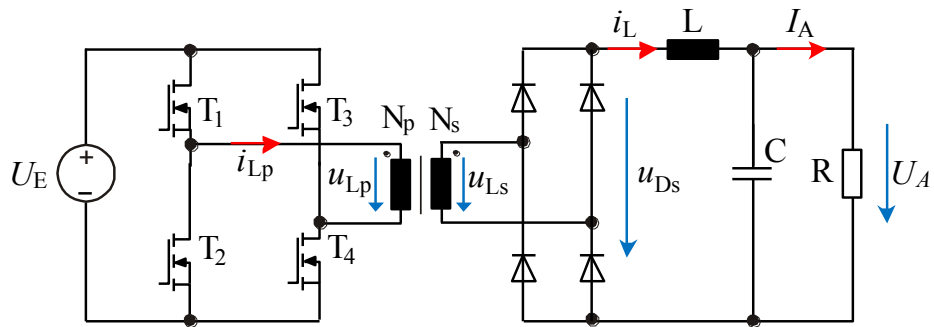


Abbildung 1.1: Vollbrücken-Gegentaktwandler

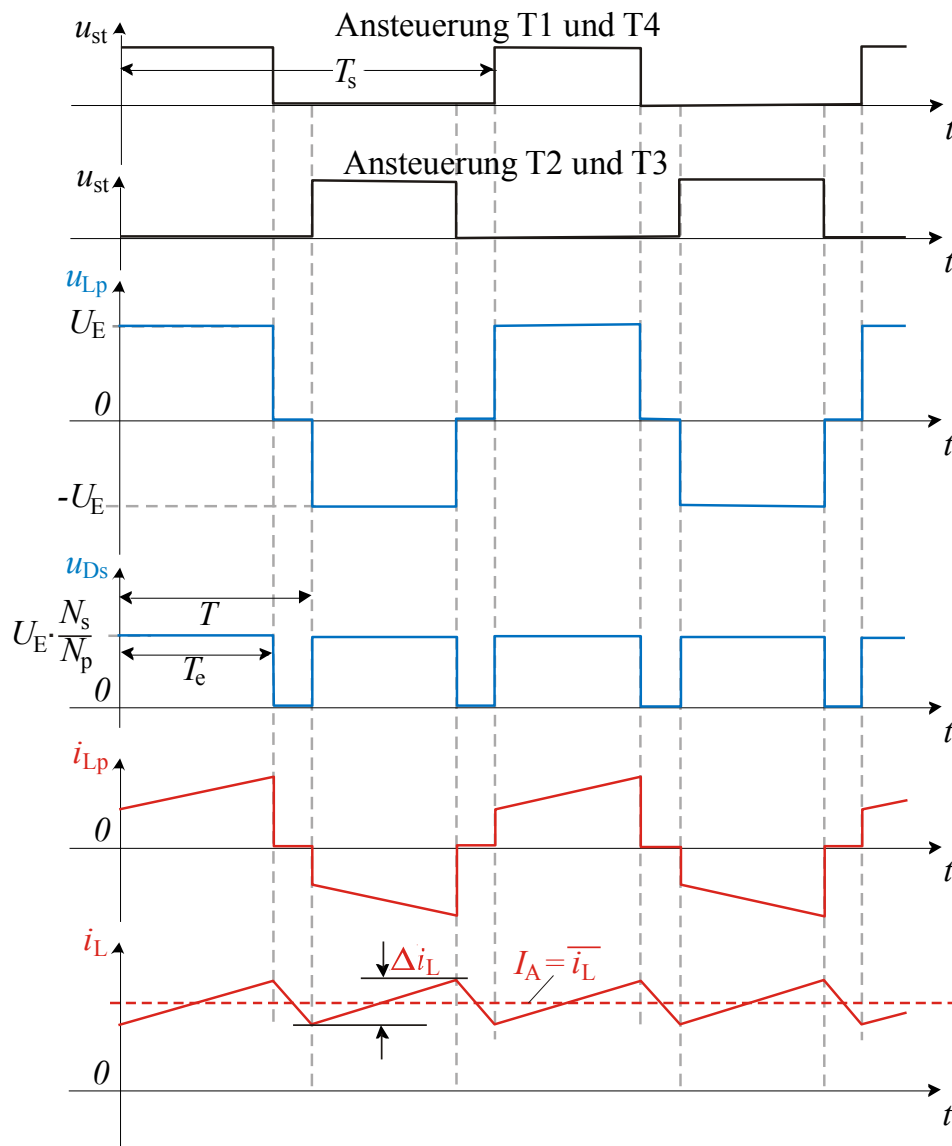


Abbildung 1.2: Strom- und Spannungsverläufe beim Vollbrücken-Gegentaktwandler

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

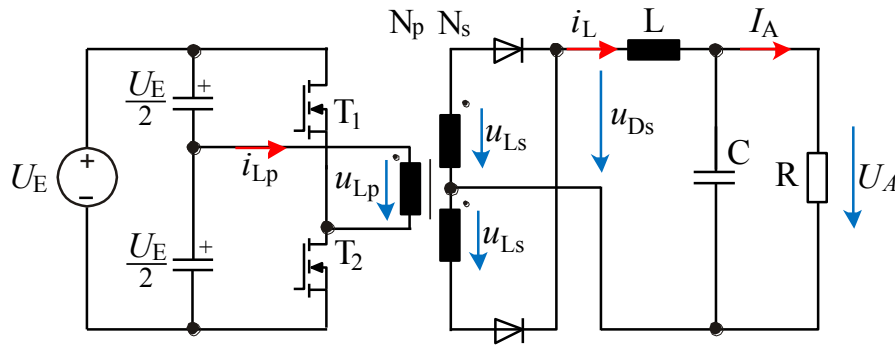


Abbildung 1.3: Halbbrücken-Gegentaktwandler mit Zweiweggleichrichtung

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 Ausgangstrom hat die Zweiweggleichrichtung den Vorteil geringerer Durchlassverluste an den Gleichrichterdioden, erfordert jedoch eine zusätzliche Sekundärwicklung am Transformator.

2 Auslegung eines Halbbrücken-Gegentaktwandlers

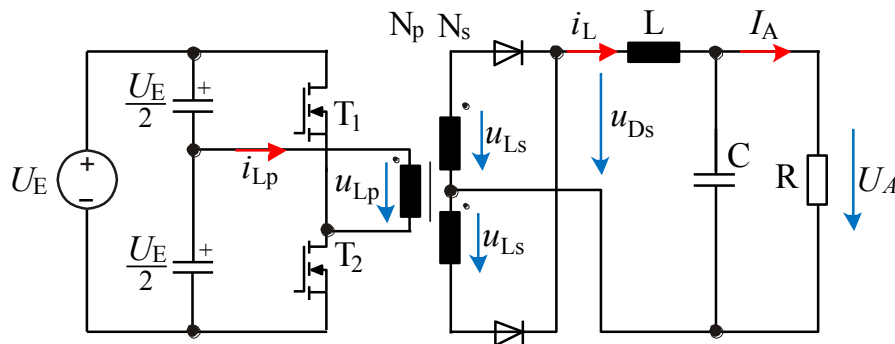


Abbildung 2.1: Prinzipieller Schaltplan eines Halbbrücken-Gegentaktwandlers

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 $1 \mu s$.
- 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 A wird?
- Berechnen Sie die Primär- und Sekundärwindungszahl des Transformators sowie die Induktivität der Wicklungen. Die Daten des verwendeten ETD 44-Kerns aus dem Ferritmaterial N27 (siehe Anhang) lauten:

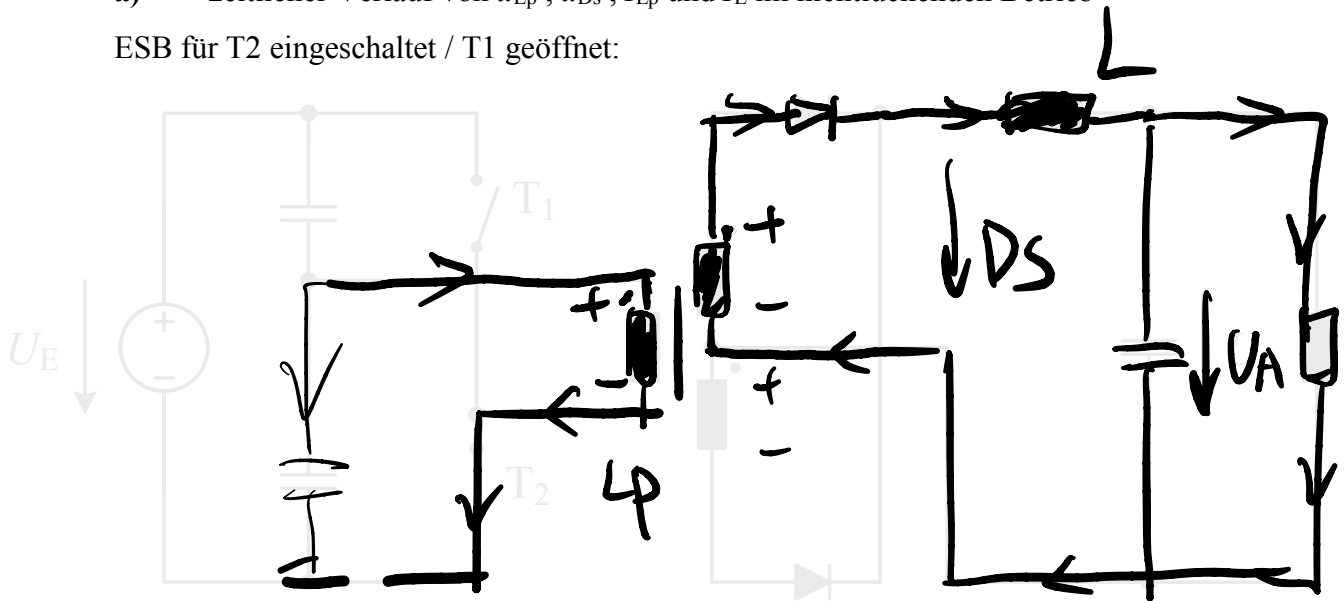
$$B_{max} = 200 \text{ mT}$$

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

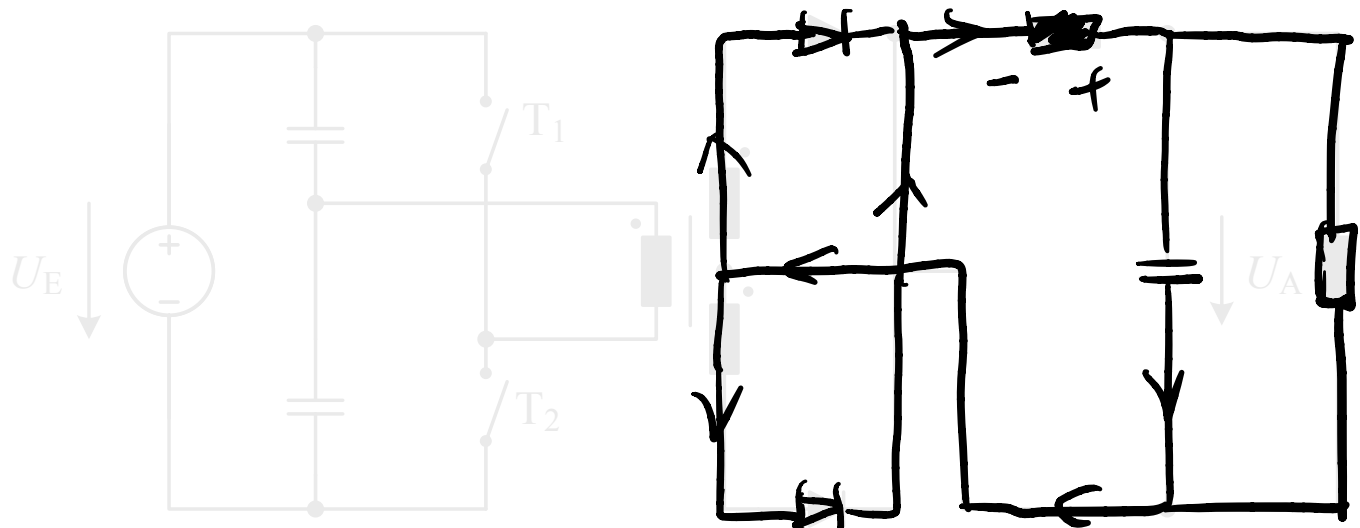
$$A_L = 3300 \text{ nH}$$

a) zeitlicher Verlauf von u_{Lp} , u_{Ds} , I_{Lp} und I_L im nichtlückenden Betrieb

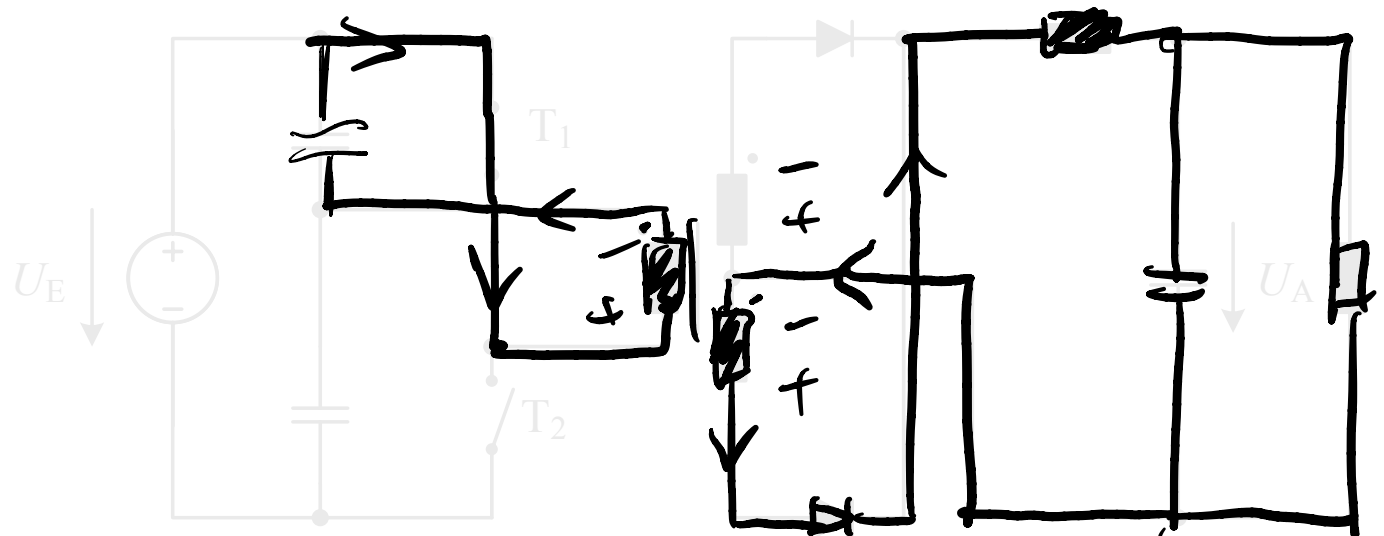
ESB für T2 eingeschaltet / T1 geöffnet:



ESB für T1 und T2 geöffnet:



ESB für T1 eingeschaltet / T2 geöffnet:



假设下关不开 在 T_2 周期中即 $\frac{1}{2}T_c$ 中

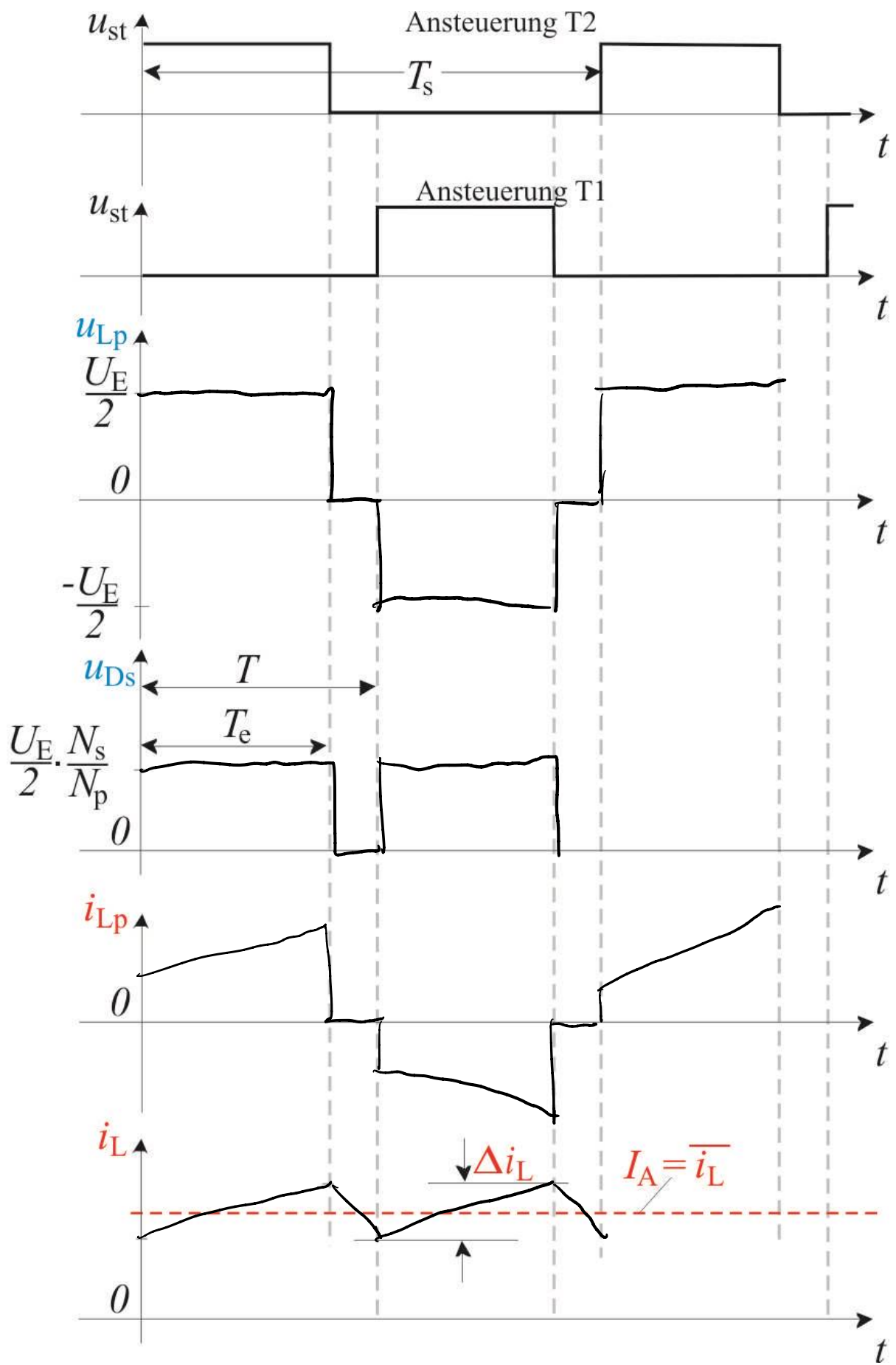
$$T_{2\text{ein}}: U_L = \frac{1}{2}U_E - U_A$$

$$T_{2\text{aus}}: U_L = U_A$$

$$\therefore T_{2\text{ein}} \cdot \left(\frac{1}{2}U_E - U_A\right) = T_{2\text{aus}} \cdot U_A$$

$$T_{2\text{ein}} + T_{2\text{aus}} = T_2$$

$$\Rightarrow \frac{T_{2\text{ein}}}{T_2} = \frac{2U_A}{U_E} \Rightarrow U_E \text{ 越小 } T_{2\text{ein}} \text{ 越大}$$



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

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

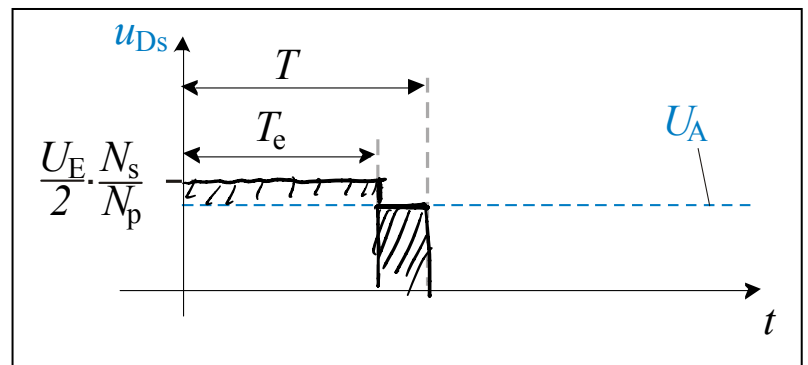
Periodendauer T für Verläufe auf Sekundärseite: $T = T_s/2 = 20 \mu\text{s}$

c) Windungszahlverhältnis Transformator

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

Berechnungsansatz: Summe der Spannungs-Zeit-Flächen über der Glättungsdrossel muss im zeitlichen Mittel Null ergeben

伏秒平衡.



$$T_{e,max} U_L = (T - T_{e,max}) U_L, aus$$

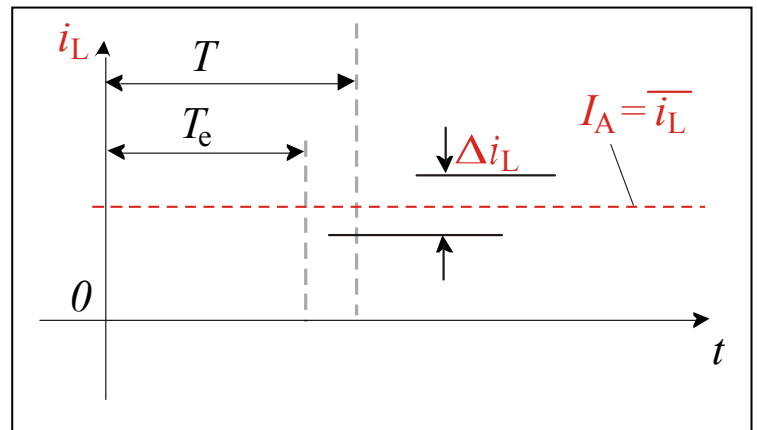
$$U_L = U_A - U_{Ls} = U_A - \frac{N_s}{N_p} U_{Lp}$$

$$= U_A - \frac{N_s}{2N_p} U_e$$

$$U_{L,aus} = U_A$$

d) Induktivität der Glättungsdrossel

Spannung über der Drossel während T_e :



Anhang:

ETD 44/22/15

Core

B66365

- To IEC 61185
- For SMPS transformers with optimum weight/performance ratio at small volume
- Delivery mode: single units

Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma l/A = 0.6 \text{ mm}^{-1}$$

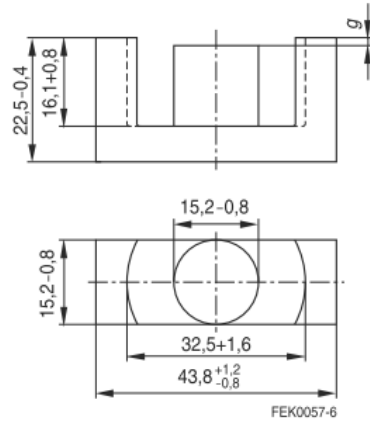
$$l_e = 103 \text{ mm}$$

$$A_e = 173 \text{ mm}^2$$

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

$$V_e = 17800 \text{ mm}^3$$

Approx. weight 94 g/set



FEK0057-6

Ungapped

Material	A_L value nH	μ_e	B_S^* mT	P_V W/set	Ordering code
N27	3300 +30/-20%	1560	320	< 3.48 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)	B66365G0000X127
N87	3500 +30/-20%	1650	320	< 9.40 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B66365G0000X187
N97	3600 +30/-20%	1720	320	< 8.00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B66365G0000X197
N95	4400 +30/-20%	2085	330	< 8.85 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)	B66365G0000X195

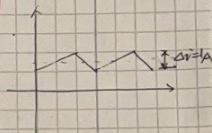
e) Primär- und Sekundärwindungszahl des Transformators

Berechnung der Windungsspannung

28

d) wie groß muss die Glättungsinduktivität sein, damit der Stromrippel auch bei maximaler Eingangsspannung nicht größer als 1A wird.

思路分析: ① 已知 Glättungsinduktivität & Spannung.
 ② 根据 $U = L \cdot \frac{di}{dt}$, 已知 U , di 求 $t \rightarrow t_{\text{min}}$
 ③ $\frac{N_2}{N_1} = \frac{2U_a}{U_E} \cdot \frac{I}{I_E}$ 已知 $U_E \text{ max} \rightarrow I_{E \text{ min}}$
 将 $U_E \text{ max}$ 代入上式, 即可求出 $I_{E \text{ min}}$.



解: $U_L = U_{DS} - U_A$ $U_{DS} = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_E}{2}$
 又: $U_L = L \cdot \frac{di}{dt}$ $(\frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_E}{2}) = L \cdot \frac{\Delta i}{t_{\text{min}}}$
 $2: \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_E}{2U_a} \cdot \frac{I_{E \text{ min}}}{I}$ $\text{max } U_E \rightarrow \text{min } t_{\text{min}}$
 $t_{\text{min}} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{2U_a}{U_E} \cdot I$
 $= \frac{4.35 \cdot 24}{340} \cdot 20 \text{ ms} = 12.28 \text{ ms}$
 $\therefore L = \frac{U \cdot t}{\Delta i} = \frac{544.728}{1} = 544.728 \text{ H}$
 $= \frac{(\frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_E}{2} - U_a) \cdot t_{\text{min}}}{\Delta i} = \frac{(\frac{4.35}{2} \cdot 24 - 24)}{1} \cdot 12.28 \text{ ms}$
 $= 185 \mu\text{H}$

e): Berechnen Sie die Primär- und Sekundärwindungszahl des Transformators sowie die Induktivität der Wicklungen, die Daten des verwendeten ETD 44-Kerns aus dem Ferritmaterial N27 (siehe Tabelle) lauten:

思路分析: 1. 先求单根线圆的电压 U^*

2. 再用单根线电压 U^* 求 N_p 匝数.

变压器化 $\rightarrow N_p$

3. 再用 $U_E = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_A$ 求 N_s 匝数.

变压器化 \rightarrow 反线圆 $U_E = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_a$

求匝数 N_p 匝数.

$B_{\text{max}} = 200 \text{ mT}$
 $A_{Fe} = 172 \text{ mm}^2$
 $AL = 3300 \text{ nT}$

解: $U^* = \frac{dB}{dt} = A_{Fe} \cdot \frac{dB}{dt}$ $\phi = B \cdot A_{Fe}$ 注: 由于磁芯为矩形, 电压方向沿磁芯线圆周长
 $t_{\text{min}}: B \rightarrow -B$ $\therefore U^* = \frac{2B}{t_{\text{min}}} \cdot A_{Fe} = \frac{2 \cdot 0.2}{19 \mu\text{s}} \cdot 172 = 3.62 \text{ V/m}$ $\Delta = B - (-B) = 2B$
 $t_{\text{max}}: -B \rightarrow B$
 $\Delta B = 2B$
 $N_p = \frac{U_c}{U^*}$ 注: t_{min} max 求 U_c 求 N_p
 $\therefore N_p = \frac{1}{2} \frac{U_{E \text{ min}}}{U^*}$ 注: 电压为提供 / 输入电压 求匝数 N_p
 $N_s = \frac{30}{4.35} = 6.98 \approx 7 \text{ 匝}$ 电感量: $L_p = A_L \cdot N_p^2$ $L_s = A_L \cdot N_s^2$

b) Berechnen Sie die maximale Einschaltdauer $T_{e,max}$ für eine Totzeit von $1\mu s$.

Geht: max. Einschaltdauer $T_{e,max}$:

Transistorschaltfrequenz $f_s = 25 kHz \Rightarrow$ Schalt-Periodendauer pro Transistor

2: Totzeit ist jedes Schalt in Totzeit

aber T_s ist Totzeit

folgt $\frac{T_s}{2} = \text{Totzeit}$, also $\frac{T_s - \text{Totzeit}}{2}$

$$T_s = \frac{1}{25k} = 4\mu s$$

periodendauer T für Verläufe auf Sekundärseite: $T = \frac{1}{f_s} = 2\mu s$

Erst: für Gegenaktwandler \Rightarrow Schaltperiodendauer T_s und Periodendauer T .

T_s beträgt 50%, also $\frac{T_s}{T} = 0.5$. Schaltverhältnis = 0.5.

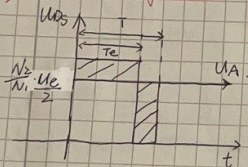
folgt für Periodendauer T . also $\frac{T_s}{T} = 1$. Schaltverhältnis = 1.

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

c) Berechnen Sie das passende Windungszahlverhältnis für den Transformator so, dass auch noch bei minimaler Eingangsspannung die geforderte Ausgangsspannung erreicht wird.

Windungszahlverhältnis Transformator

Berechnungsansatz: Summe der Spannungs-Zeit-Flächen über der Lückenspannung muss im zeitlichen Mittel Null ergeben. $\int u_A dt = 0$



Geht: direkt nach Berechnungsansatz

$$\text{links (Null): } T_e \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_e}{2} - U_A \right)$$

$$\text{rechts (Null): } (T - T_e) \cdot U_A$$

Spannung-Zeit-Flächen links und rechts gleich.

$$T_e \cdot \left(\frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{U_e}{2} - U_A \right) = (T - T_e) \cdot U_A$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{2}{U_e} \left(U_A \cdot \frac{T - T_e}{T_e} + U_A \right)$$

$$= \frac{2}{220V} \cdot \left(24 \cdot \frac{20-19}{19} + 24 \right)$$

$$= \frac{48}{209} = \frac{1}{435}$$

Übung 8. Gegenaktwandler

- Inhalte: 1. Überblick Gegenaktwandler
2. Berechnung eines Gegenaktwandlers.

1. Überblick:

1. Vollbrücken- Gegenaktwandler

Kontinuierlichen Betrieb: $U_A = U_E \cdot \frac{N_s}{N_p} \cdot \frac{I_o}{I}$

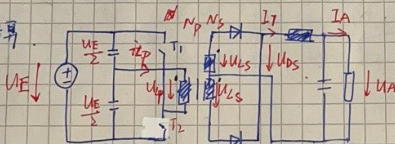
Windungsverhältnis: $\frac{N_s}{N_p} \geq \frac{U_A}{U_E}$

2. Halbbrücken- Gegenaktwandler

因有电感器分担了 $\frac{1}{2} U_E$ 的电压

Windungsverhältnis: $\frac{N_s}{N_p} \geq 2 \frac{U_A}{U_E}$

= 计算



$U_E = 220V$ bis $340V$

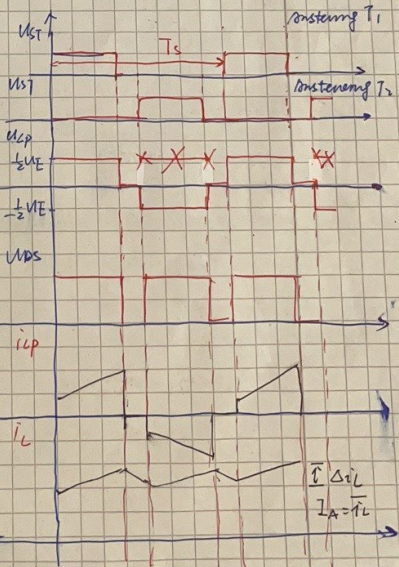
$U_A = 24V$

$f_s = 25 kHz$

22
b
p

a) Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannungen U_{Tp} und U_{Ts} sowie der Ströme I_{Tp} und I_L im nicht lückenden Betrieb.

ESB für T_2 ein / T_1 geöffnet



ESB für T_1, T_2 geöffnet

ESB für T_1 ein / T_2 geöffnet