



GRUNDSCHALTUNGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

ÜBUNG

Inhalte:

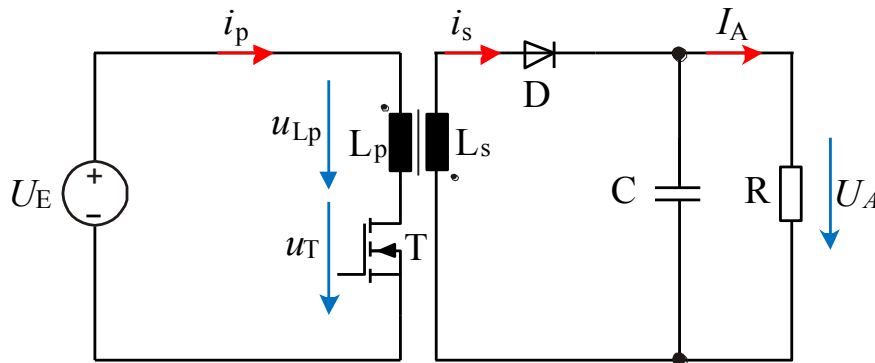
- Überblick Sperrwandler
- Berechnung eines Sperrwandlers

Diese Arbeitsblätter werden in der Übung ausgefüllt/ergänzt

1 Überblick Sperrwandler

Der Sperrwandler (englisch: Flyback-converter) gehört zu den primär getakteten Wandlern, d. h. er besitzt eine galvanische Trennung zwischen Ein- und Ausgang. Sperrwandler werden heute in vielen netzbetriebenen Elektronikgeräten kleiner bis mittlerer Leistung (wenige Watt bis ca. 500 W) eingesetzt, wie z. B. Fernsehgeräte, Personal-Computer, Drucker, etc..

Sperrwandler zeichnen sich durch geringen Bauteilaufwand aus. Sie haben gegenüber fast allen anderen Schaltnetzteilen den Vorteil, dass man mehrere, galvanisch getrennte und geregelte Ausgangsspannungen verwirklichen kann.



Die obige Abbildung zeigt das prinzipielle Schaltbild eines Sperrwandlers. Der Transistor arbeitet als Schalter, der mittels einer pulsweitenmodulierten Steuerspannung ein- und ausgeschaltet wird. Während der Leitendphase des Transistors ist die Primärspannung des Speichertransformators gleich der Eingangsspannung U_E und der Strom I_p steigt linear an. Während dieser Phase wird Energie in den sogenannten Speichertransformator geladen. Die Sekundärwicklung ist in dieser Phase stromlos, weil die Diode sperrt. Wird der Transistor nun gesperrt, so wird I_p unterbrochen und die Spannungen am Transformator polen sich wegen des Induktionsgesetzes um. Die Diode wird nun leitend und die Sekundärwicklung gibt die Energie an den Kondensator C weiter.

Während der Leitendphase des Transistors ist die Drain-Source-Spannung u_T gleich Null. Während der Sperrphase wird die Ausgangsspannung U_A auf die Primärseite rücktransformiert, sodass dann die Drain-Source-Spannung theoretisch den Wert $u_T = U_E + (U_A \cdot N_p / N_s)$ annimmt. Beim Betrieb am 230V/50Hz-Netz entstehen so bei üblicher Dimensionierung des Sperrwandlers ca. 700 V. In der Praxis liegt diese Spannung sogar noch höher, weil eine Induktionsspannung infolge der Transformatorstreuinduktivitäten dazukommt. Der Transistor in Sperrwandlern für das 230 V-Netz muss daher mindestens eine Sperrspannung von 800 V haben.

Der Transformator ist kein "normaler" Transformator. Vielmehr hat er die Aufgabe Energie während der Leitendphase des Transistors zu speichern und diese während der Sperrphase an die Sekundärseite abzugeben. Der Transformator ist demnach eine Speicherdrossel mit Primär- und Sekundärwicklung. Er hat deswegen einen Luftspalt. Transformatoren für Sperrwandler heißen daher **Speichertransformator**. Damit die mit dem Primärstrom eingespeicherte Energie beim Ausschalten des Transistors sekundärseitig wieder abgegeben werden kann, müssen beide Wicklungen sehr gut magnetisch gekoppelt sein.

2 Auslegung eines Sperrwandlers

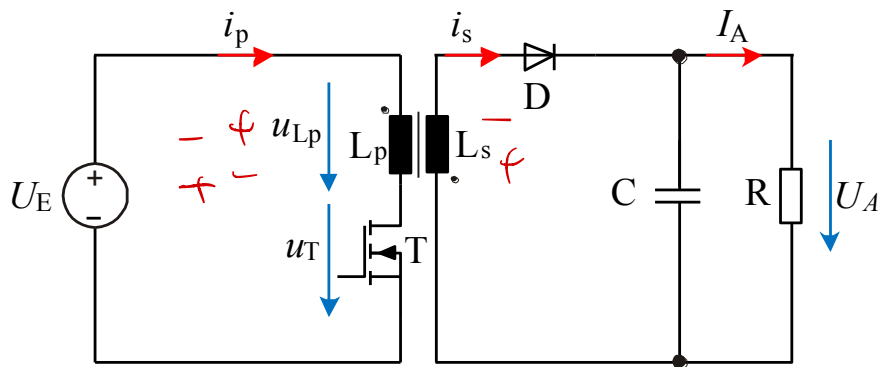


Abbildung 2.1: Prinzipieller Schaltplan eines Sperrwandlers

Gegeben sind:

Übersetzungsverhältnis:	$\ddot{u} = N_p/N_s = 1$
Eingangsspannung:	$U_E = 200 \text{ bis } 300 \text{ V}$
Ausgangsspannung:	$U_A = 100 \text{ V}$
Periodendauer:	$T = 1/f_s = 21 \mu\text{s}$
Lastwiderstand:	$R = 20 \Omega$

Der Übergang vom nichtlückenden zum lückenden Betrieb ist bei $U_E = 200 \text{ V}$.

无间隙

- Nennen Sie die Vor- und Nachteile dieses Stellers.
- Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Ströme i_p und i_s sowie der Spannungen u_{Lp} und u_T für nichtlückenden Betrieb. *Tern Tang*
- Berechnen Sie die Ein- und Ausschaltzeiten T_e und T_a für die beiden Eingangsspannungen $U_E = 200 \text{ V}$ und $U_E = 300 \text{ V}$.
- Bei welcher Eingangsspannung entsteht die maximale Spannung $u_{T,max}$ am Transistor und wie groß ist diese? *最大电压 uT, max 在哪个输入电压处出现在晶体管上, 该电压多大?*
- Berechnen Sie den Wert der Primärinduktivität des Speichertransformators so, dass bei $U_E = 200 \text{ V}$ der Übergang vom nichtlückenden zum lückenden Betrieb erreicht wird. *计算存储变压器的初级电感值, 以便在 $U_E = 200 \text{ V}$ 时实现从不连续运行到不连续运行的过渡。*
- Welcher Luftspalt muss bei Verwendung eines Kerns mit $B_{max} = 200 \text{ mT}$ und $A_{Fe} = 220 \text{ mm}^2$ eingestellt werden?
- Welche Ursachen und welche Auswirkungen hat ein Kopplungsfaktor $k < 1$ des Speichertransformators?

($k < 1 \Rightarrow$ 漏感)

zu a) Vor-/Nachteile des Sperrwandlers:

Vorteile:

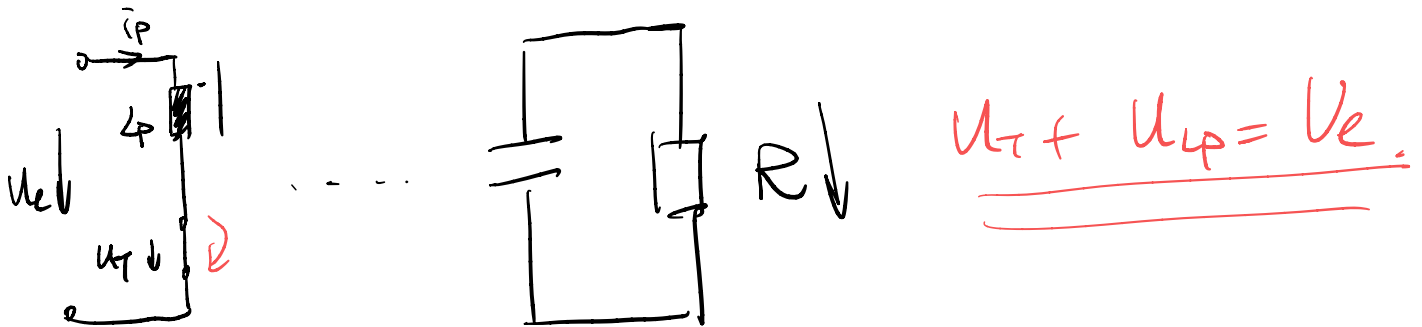
- einfache Schaltung, wenige Bauelemente, leichte Regelbarkeit der Ausgangsspannung
- guter Wirkungsgrad
- mehrere Ausgangsspannungen möglich.

Nachteile:

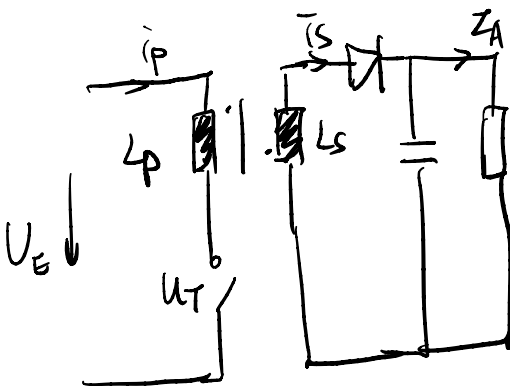
- hohe Spannungsbelastung des Transistors
- relativ großer Trafo mit Luftspalt (Streuinduktivität)
- begrenzte Leistung (wenige 100 W)

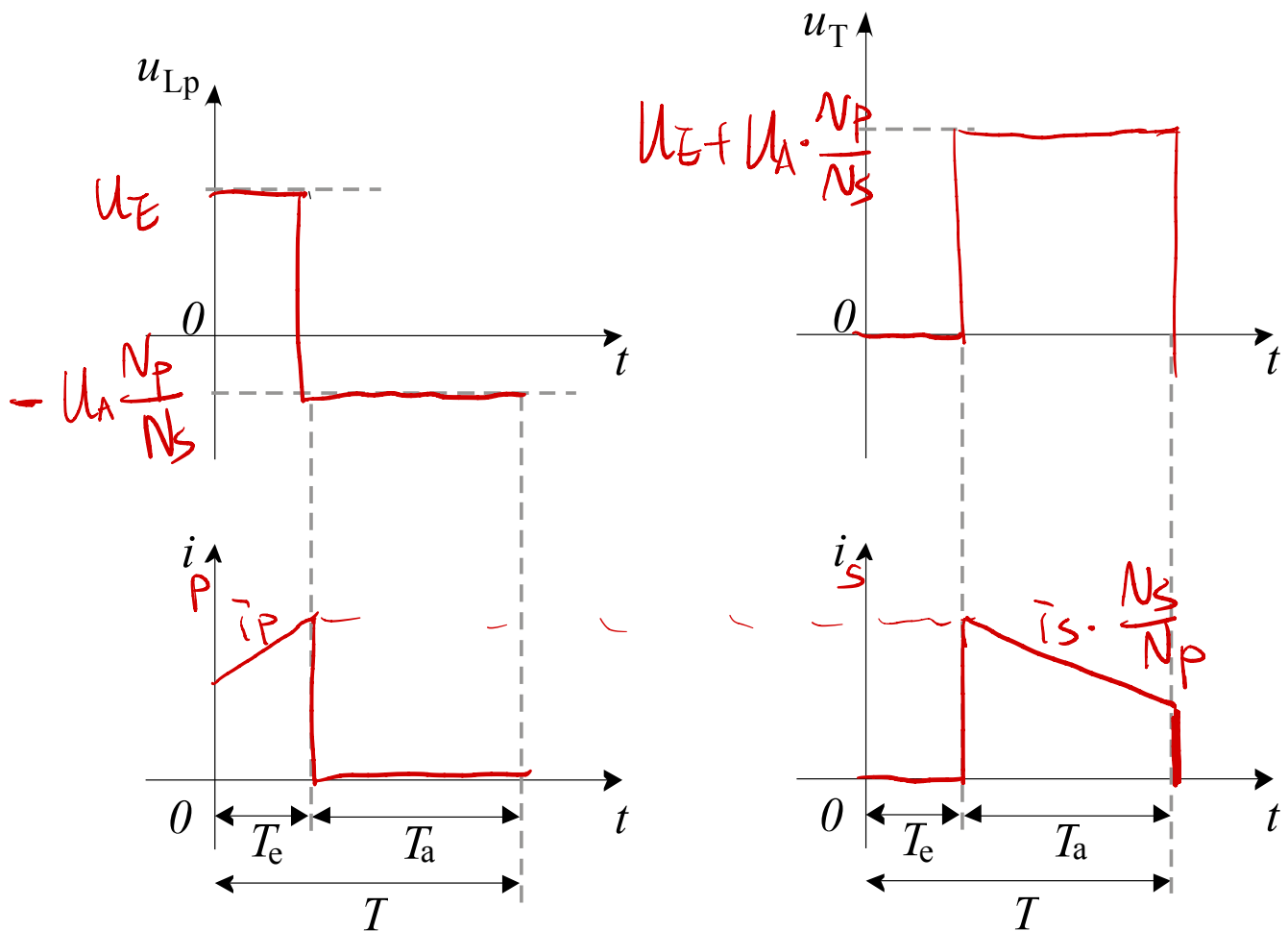
zu b) Zeitliche Verläufe von i_p und i_s sowie der Spannungen u_{Lp} und u_T :

ESB für Einschaltzeit T_e :



ESB für Ausschaltzeit T_a :





zu c) Berechnung der Ein- und Ausschalzeiten:

Für die Primärspannung am Speichertransformator muss gelten, dass im stationären Betrieb ihr Mittelwert gleich Null ist (andernfalls würde der Strom auf unendlich hohe Werte ansteigen). Daraus folgt:

对于存储变压器上的初级电压，在稳态运行中平均值必须为零（否则电流将上升到无限高的值）。它遵循：

$$U_E \cdot T_{\text{ein}} = U_A \frac{N_P}{N_S} \cdot T_a \quad T_e + T_a = T$$

$$200V: T_e = 7 \mu s^{\text{max}} \quad T_a = 14 \mu s^{\text{min}}$$

$$300V: T_e = 5,25 \mu s^{\text{min}}$$

$$T_a = 15,75 \mu s^{\text{max}}$$

zu d): Eingangsspannung, bei der u_T maximal wird:

$$u_T = u_E - u_{Lp} = u_E + u_A \cdot \frac{N_p}{N_s} = 400 \text{ V}$$

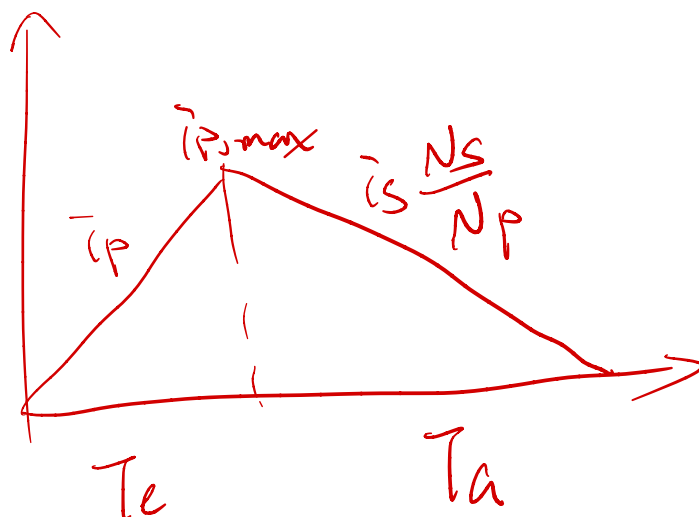
Für die Dimensionierung des Speichertransformators wird zunächst die Primärinduktivität L_p berechnet. Diese muss während der Leitendphase jeweils die am Ausgang benötigte Energie speichern. Diese beträgt: $W = P_A \cdot T$ mit T als Periodendauer der Schaltfrequenz. Diese Energie muss im Nennbetrieb während der Einschaltdauer in die Primärinduktivität geladen werden, damit sie während der Ausschaltphase für den Stromfluss in der Sekundärseite zur Verfügung steht.

为了确定存储变压器的尺寸，首先要计算初级电感 L_p 。这必须在导电阶段存储输出所需的能量。这等于： $W = P_A \cdot T$ ，其中 T 为开关频率的周期。在正常运行中，必须在接通期间将这种能量充入初级电感中，以便在断开阶段可将其用于次级侧的电流。

$$W = \frac{U_A^2}{R} \cdot T = 10,5 \text{ mWJ}$$

Die Auslegung erfolgt entsprechend der Aufgabenstellung so, dass bei minimaler Eingangsspannung gerade die Grenze zum nichtlückenden Betrieb erreicht ist. Hierfür wird die minimale Induktivität berechnet, die selbst bei minimaler Eingangsspannung noch einen Stromanstieg von 0A auf $i_{p,max}$ (Grenze zum Lücken) erlaubt. Der Kern wird so in der Sperrphase gerade vollständig entmagnetisiert, wodurch er gut ausgenutzt wird. Der Strom ist dann dreieckförmig.

该设计基于当前的任务，因此只需最小的输入电压即可达到不连续操作的极限。为此，计算出最小电感，即使在最小输入电压的情况下，也允许电流从0A增大到 $i_{p,max}$ （限制间隙）。磁芯在阻塞阶段已完全消磁，这意味着磁芯得到了很好的利用。电流为三角形。



$$u_E = u_{Lp} = L_p \cdot \frac{\Delta i_p}{\Delta t} \Rightarrow L_p = \frac{u_E \cdot T_{e,n}}{\Delta i_p} = \frac{u_E \cdot T_{e,n}}{i_{p,max}}$$

$$W = \frac{1}{2} L_p \cdot \hat{i}_{p, \max}^2 \Rightarrow L_p = \frac{U_E^2 T_e^2}{2W}$$

$$U_E = 200 \text{ V} \rightarrow T_e = 7 \text{ ms} \quad L_p = 93 \text{ mH}$$

$$\hat{i}_{p, \max} = 15 \text{ A}$$

zu f) Luftspalt für Kernausslegung:

gespeicherte Energie: $W = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} \delta \cdot A_{Fe}$

δ (Luftspalt) \nearrow V_{δ}
 \uparrow
 Luftspalt

$$\delta = \frac{2W \mu_0}{B_{\max}^2 \cdot A_{Fe}} = 3 \text{ mm}$$

$$N \hat{i} = H l_e \leftarrow \text{Magnetisierfeld}$$

$$\varphi = B A_e \quad \frac{B}{H} = \mu_0 \mu_r$$

$$H l_e = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} l_e = \frac{\varphi}{A_e \mu_0 \mu_r}$$

$$\hat{i} = \frac{H l_e}{N} = \frac{\varphi l_e}{A_e \mu_0 \mu_r} \quad L = N \cdot \frac{\varphi}{\hat{i}} \Rightarrow \hat{i} = \frac{N B A_e}{L}$$

$$W = \frac{1}{2} L \cdot \hat{i}^2 = \frac{1}{2} \frac{N^2 B^2 A_e^2}{L} \left(L = N^2 \frac{A_e \mu_0 \mu_r}{l_e} \right) \Rightarrow W = \frac{1}{2} \frac{B^2 A_e l_e}{\mu_0 \mu_r}$$

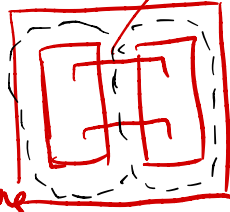
Überprüfung der Berechnung per Schaltungssimulation \Rightarrow LTSpice

zu g) Kopplungsfaktor $k < 1$

(Steuerinduktivität)

Ursachen von Streuung:

- geringe Verschachtelung von Primär- und Sek. Wicklung
- große Wicklungsquerschnitte
- wenig Windungen
- große Isolationsabstände



RCD 电路

Auswirkung: Schaltüberspannung ~~开关电压~~

Überprüfung per Schaltungssimulation durch Verringern des Kopplungsfaktors \Rightarrow LTSpice