



GRUNDSCHALTUNGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

ÜBUNG

Inhalte:

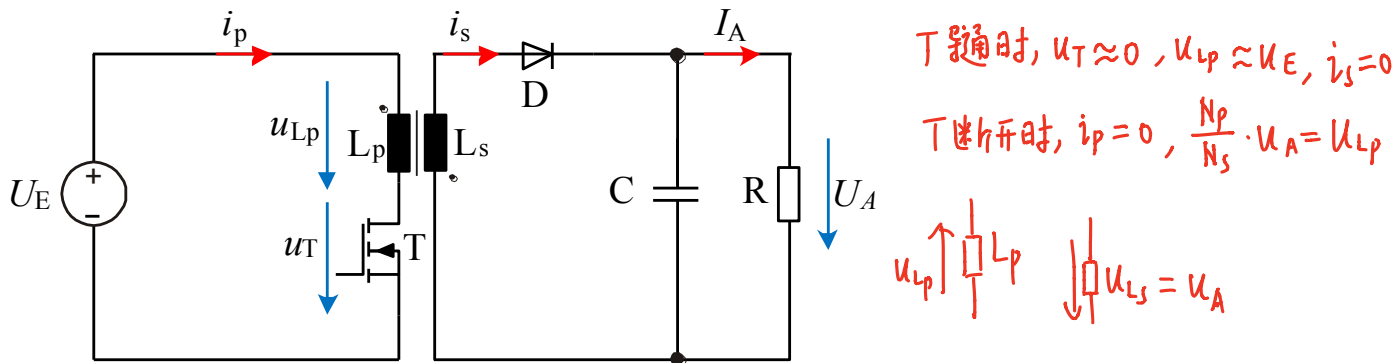
- Überblick Sperrwandler
- Berechnung eines Sperrwandlers

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 pulswertenmodulierten 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

工作模式分析

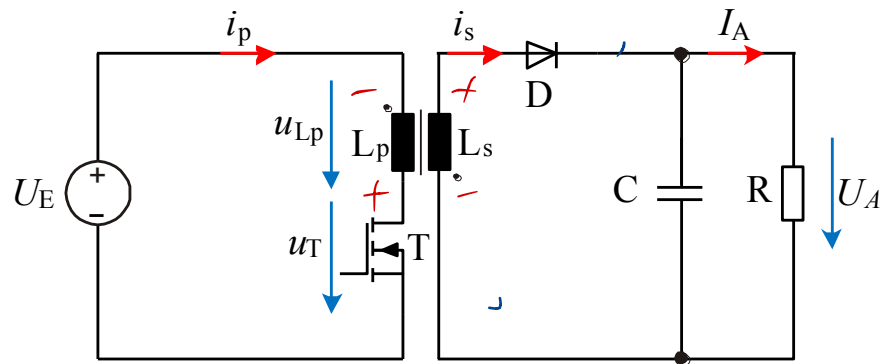


Abbildung 2.1: Prinzipieller Schaltplan eines Sperrwandlers

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:	$T = 1/f_s = 21 \text{ } \mu\text{s}$
Lastwiderstand:	$R = 20 \text{ } \Omega$

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

- 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.
- 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?
- 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.
- 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?

zu a) Vor-/Nachteile des Sperrwandlers:

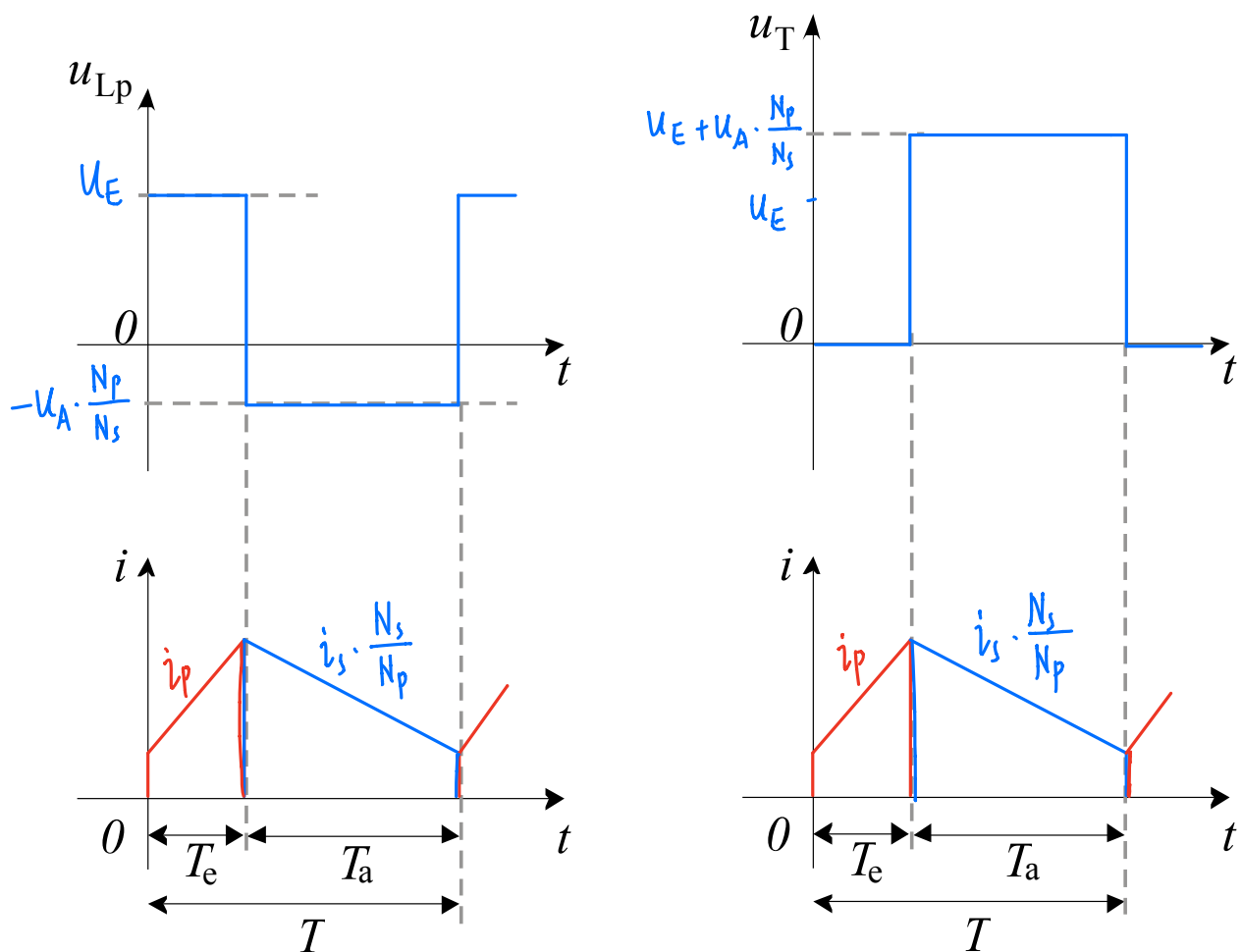
Vorteile:

- 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 :



zu c) Berechnung der Ein- und Ausschaltzeiten:

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:

$$U_E \cdot T_e = U_A \cdot \frac{N_P}{N_S} \cdot T_a \quad \text{mit } T_a = T - T_e, \quad T = 21 \text{ ms}$$

$$\Rightarrow T_e = T \cdot \frac{U_A \cdot \frac{N_P}{N_S}}{U_E + U_A \cdot \frac{N_P}{N_S}}$$

$$U_E = 200 \text{ V}: \quad T_e = 21 \text{ ms} \cdot \frac{100 \text{ V}}{300 \text{ V}} = 7 \text{ ms} = T_{e, \max}$$

$$T_a = 21 \text{ ms} - 7 \text{ ms} = 14 \text{ ms} = T_{a, \min}$$

$$U_E = 300 \text{ V}: \quad T_e = 21 \text{ ms} \cdot \frac{100 \text{ V}}{400 \text{ V}} = 5.25 \text{ ms} = T_{e, \min}$$

$$T_a = 21 \text{ ms} - 5.25 \text{ ms} = 15.75 \text{ ms} = T_{a, \max}$$

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

$$\text{Mosche: } U_T = U_E + U_A \cdot \frac{N_P}{N_S}$$

$$\Rightarrow U_{T, \max} = U_{E, \max} + U_A \cdot \frac{N_P}{N_S}$$

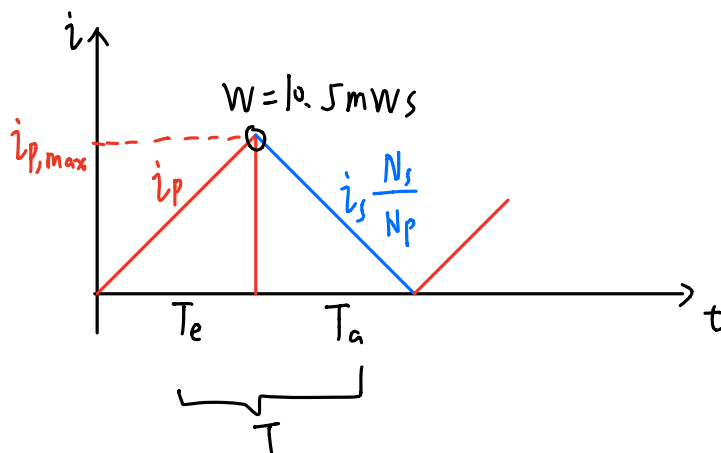
$$\text{Bei } U_{E, \max} = 300 \text{ V} \Rightarrow U_{T, \max} = 400 \text{ V}$$

zu e) Primärinduktivität des Speichertransformators

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.

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.

$$W = P_A \cdot T = \frac{U_A^2}{R} \cdot T = \frac{(100V)^2}{20\Omega} \cdot 21ms = 10.5 \times 10^{-3} W \cdot s$$



最关键的一步转换

$$\textcircled{1} U_E = L_p \cdot \frac{\Delta i_p}{\Delta t} \Rightarrow L_p = U_E \cdot \frac{T_e}{\Delta i_p} \Rightarrow L_p = U_E \cdot \frac{T_e}{i_{p,max}}$$



$$\textcircled{2} W = \frac{1}{2} \cdot L_p \cdot i_{p,max}^2 \Rightarrow L_p = \frac{U_E^2}{2W} \cdot T_e^2$$

两个未知数, 两个方程.

Aufgabenstellung: Lückengrenze bei $U_E = 200V$:



$$U_E = 200V, T_e = T_{e,max} = 7ms$$

$$\Rightarrow L_p = 93 \mu H$$

$$L_p \text{ in } \textcircled{1} \text{ eingesetzt: } i_{p,max} = 15A$$

zu f) Luftspalt für Kernausslegung:

Herleitung über Drosselberechnung : V_s
gespeicherte Energie : $W \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2}{\mu_0} \cdot \delta \cdot A_{Fe}$

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

Überprüfung der Berechnung per Schaltungssimulation \Rightarrow LTSpice

zu g) Kopplungsfaktor $k < 1$

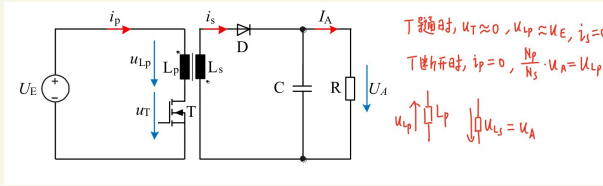
Ursache: Streuung wegen :

- geringe Verschachtelung von Primär und Sekundärwicklung
- große Wicklungsquerschnitte
- wenig Windungen
- große Isolationsabstände

Wirkung: Schaltüberspannung

Überprüfung per Schaltungssimulation durch Verringern des Kopplungsfaktors \Rightarrow LTSpice

1. Überblick Sperrwandler



Frage 1: Nennen Sie die Vor- und Nachteile dieses Stellers.

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)

Frage 2: Zeitliche Verläufe von i_P und i_S sowie der Spannungen u_{LP} und u_T :

Frage 3: Bei welcher Eingangsspannung entsteht die maximale Spannung $u_{T,max}$ am Transistor und wie groß ist diese?

für Taus:

$$\text{Mosche: } u_T = u_E + u_A \cdot \frac{N_P}{N_S}$$

$$\Rightarrow u_{T,max} = u_{E,max} + u_A \cdot \frac{N_P}{N_S}$$

Frage 4: Ursachen und welche Auswirkungen hat ein Kopplungsfaktor $k < 1$ des Speichertransformators?

Ursache: Streuung wegen:

- geringe Verschachtelung von Primär und Sekundär
- große Wicklungsquerschnitte
- wenig Windungen
- große Isolationsabstände

Wirkung: Schaltüberspannung