

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 fast allen netzbetriebenen Elektronikgeräten kleiner bis mittlerer Leistung (wenige Watt bis ca. 500W) 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.

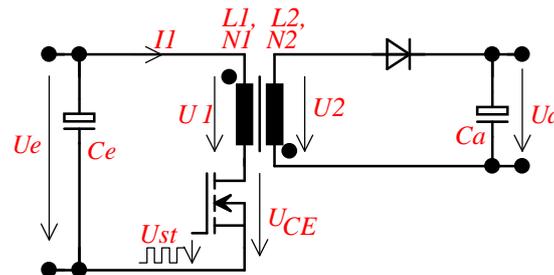


Abbildung 2.1.1: Sperrwandler

Abbildung 2.1.1 zeigt das prinzipielle Schaltbild eines Sperrwandlers. Der Transistor arbeitet als Schalter, der mittels einer pulswidenmodulierten Steuerspannung U_{st} ein- und ausgeschaltet wird. Während der Leitendphase des Transistors ist die Primärspannung des Speichertransformators gleich der Eingangsspannung U_e und der Strom I_1 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_1 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_a weiter.

Während der Leitendphase der Transistors ist die Drain-Source-Spannung U_{DS} gleich Null. Während der Sperrphase wird die Ausgangsspannung U_a auf die Primärseite rücktransformiert, sodaß dann die Drain-Source-Spannung theoretisch den Wert $U_{DS} = U_e + U_a \cdot \frac{N_1}{N_2}$ annimmt. Beim Betrieb am 230V/50Hz-Netz entstehen so bei üblicher Dimensionierung des Sperrwandlers ca. 700V. In der Praxis liegt diese Spannung sogar noch höher, weil eine Induktionsspannung infolge der Transformatorstreuinduktivitäten dazukommt. Der Transistor in Sperrwandlern für das 230V-Netz muß daher mindestens eine Sperrspannung von 800V 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.

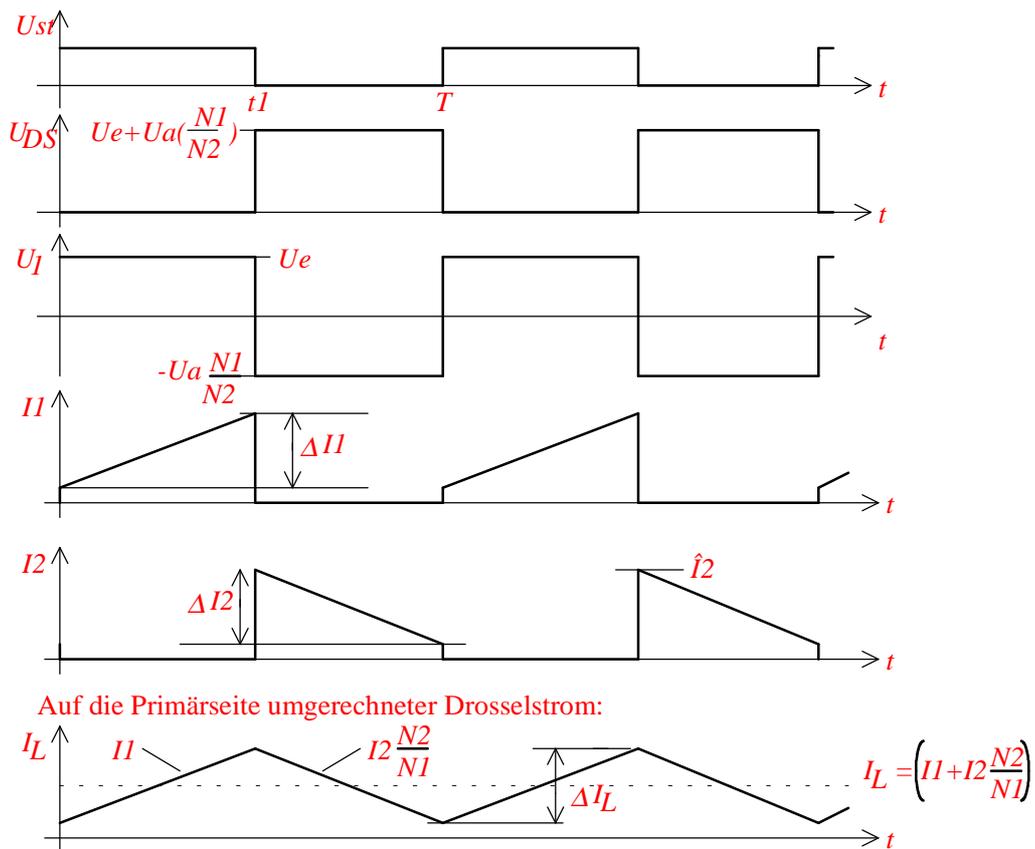


Abbildung 2.1.2: Spannungen und Ströme beim Sperrwandler

Dimensionierung des Sperrwandlers:

Für die Primärspannung am Speichertransformator U_1 muß gelten, daß im stationärem Betrieb ihr Mittelwert \bar{U}_1 gleich Null sein muß (andernfalls würde der Strom auf unermeßlich hohe Werte ansteigen). Daraus folgt: $U_e \cdot t_1 = U_a \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot (T - t_1)$ und:

$$U_a = U_e \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{t_1}{T - t_1}$$

Man wählt das Übersetzungsverhältnis so, daß im Nennbetrieb die Aufmagnetisierzeit t_1 gleich der Abmagnetisierzeit $(T - t_1)$ ist. Daraus folgt für das Übersetzungsverhältnis:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_e}{U_a}$$

Für die notwendigen Sperrspannungen für den Transistor und die Diode folgt daraus:

Transistor:	$U_{DS} = U_e + U_a \cdot \frac{N_1}{N_2} \approx 2U_e$
Diode:	$U_R = U_a + U_e \cdot \frac{N_2}{N_1} \approx 2U_a$

In der Praxis muß die Sperrspannung für den Transistor deutlich höher gewählt werden, da im Abschalt Augenblick die Energie aus der primären Streuinduktivität L_s nicht von der Sekundärwicklung übernommen wird. Um die damit verbundenen Überspannungen auf akzeptablen Werten zu halten, benötigt man ein **Entlastungsnetzwerk** (englisch: snubber circuit), siehe Abbildung 2.1.3. Der Strom in der Streuinduktivität L_s wird beim Abschalten von der Diode D übernommen und lädt den Kondensator C . Der Widerstand R führt die Verlustleistung ab. R und C werden für 230V~-Anwendungen so bemessen, daß über C näherungsweise eine Gleichspannung von 100V steht.

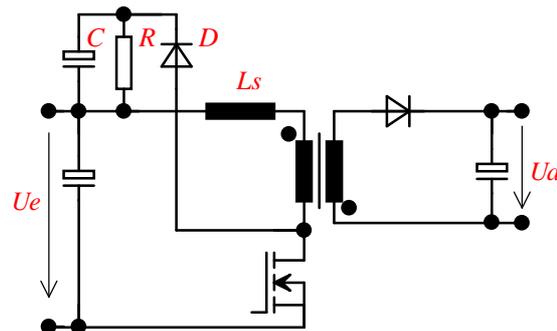


Abbildung 2.1.3: Entlastungsnetzwerk zur Aufnahme des Streuleistung

Für die Dimensionierung des **Speichertransformators** wird zunächst die Primärinduktivität L_1 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 halben Periodendauer in die Primärinduktivität geladen werden, damit die zweite Hälfte der Periodendauer für den Stromfluß in der Sekundärseite zur Verfügung steht (siehe oben). Desweiteren wird die Primärinduktivität so ausgelegt, daß das Netzteil im Nennbetrieb gerade an der Grenze zwischen diskontinuierlichem und kontinuierlichem Betrieb läuft, d.h. der Primärstrom beginnt in jeder Periode bei Null (siehe Abbildung 2.1.4). Dadurch erhält der

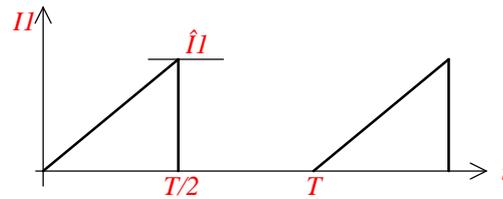
Transformator seine kleinstmögliche Baugröße. Die Energie beträgt dann:

Diese Energie wird in der Primärinduktivität L_1 gespeichert: $W = \frac{1}{2} L_1 \hat{I}_1^2$

Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Primärinduktivität zu: $L_1 \approx \frac{U_e^2}{8 P_a \cdot f}$. Berücksichtigt man zusätzlich den Wirkungsgrad η zwischen in L_1 gespeicherter Energie und der am Ausgang zur Verfügung stehenden Energie, ergibt sich für L_1 :

$$L_1 \approx \frac{U_e^2}{8 P_a \cdot f} \cdot \eta$$

η muß hier geschätzt werden, weil zu diesem Zeitpunkt der Berechnung noch kein konkreter Wert vorliegt. $\eta \approx 0,75$ ist in vielen Fällen angemessen.

Abbildung 2.1.4: Verlauf des Eingangsstromes I_1 bei Nennbetrieb

Der Scheitelwert des Stromes I_1 beträgt: $\hat{I}_1 = \frac{4 \cdot P_a}{U_e \cdot \eta}$

Der Effektivwert des Stromes I_1 beträgt: $I_{1eff} = \frac{\hat{I}_1}{\sqrt{6}}$

Der Transformatorkern und die Wickeldaten können nun mittels der Berechnungen in Kapitel 5.: "Wickelgüter" ermittelt werden.

Die Wahl von C_a richtet sich nach der Welligkeit ΔU_a der Ausgangsspannung. Sie hängt maßgeblich von der Impedanz Z_{max} des Kondensators C_a ab:

$$\Delta U_a \approx \hat{I}_2 \cdot Z_{max}$$

Z_{max} kann aus dem Datenblatt des Kondensators entnommen werden.

Für den Eingangskondensator C_e gilt für das 230V/50Hz-Netz:

$$C_e \approx 1 \frac{\mu F}{W} \cdot P_e$$

HINWEIS:

Der Kern des Speichertransformators muß einen hinreichend großen Luftspalt enthalten, in dessen Volumen der wesentliche Anteil der Energie im Magnetfeld gespeichert werden kann (siehe auch Kap. 5.: "Wickelgüter").

Eine Besonderheit des Sperrwandlers ist die Möglichkeit mehrere Ausgangsspannungen zu erzeugen und mittels einer Regelung konstant zu halten (Abbildung 2.1.5).

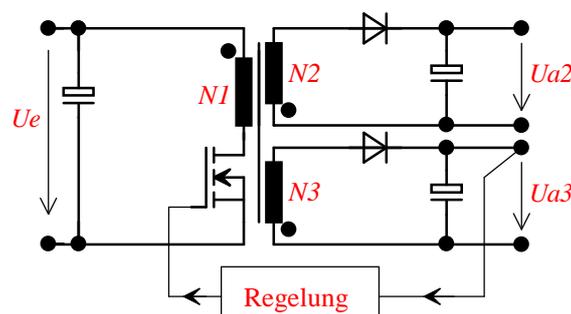


Abbildung 2.1.5: Sperrwandler mit mehreren Ausgangsspannungen

Wird eine Spannung geregelt (in Abbildung 2.1.5 U_{a3}), so ist die Spannung U_{a2} über das Windungsverhältnis fest an U_{a3} gekoppelt: $\frac{U_2}{U_3} = \frac{N_2}{N_3}$. Die in L_1 gespeicherte Energie wird während der Sperrphase immer gerade so aufgeteilt, daß die Spannungen U_{a2} und U_{a3} den Windungsverhältnissen entsprechen.