



# GRUNDSCHALTUNGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

## ÜBUNG

### Inhalte:

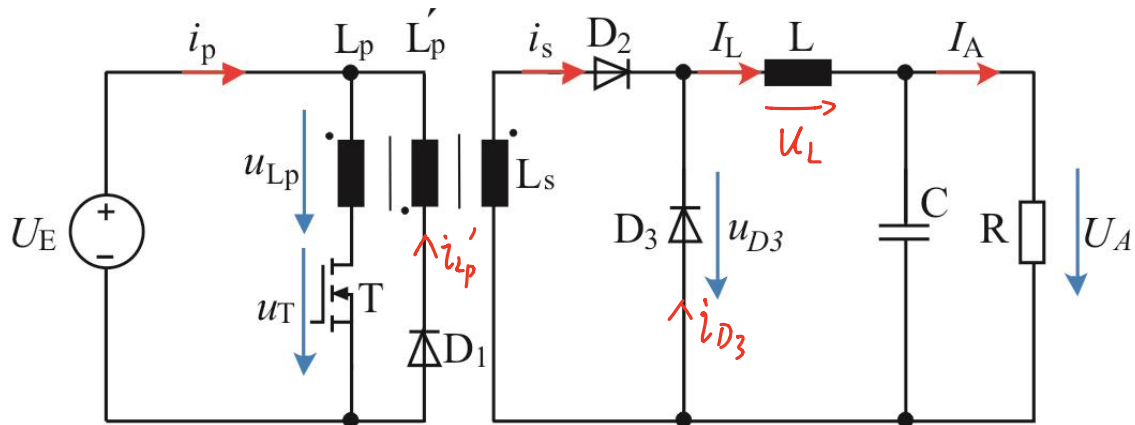
- Überblick Eintakt-Durchflusswandler
- Berechnung eines Eintakt-Durchflusswandlers

Diese Arbeitsblätter werden in der Übung ausgefüllt/ergänzt

# 1 Überblick Eintakt-Durchflusswandler

Die Schaltung besteht aus einem primär getakteten Transformator. Er überträgt die Energie in der Einschaltphase an den sekundären Gleichrichter mit induktiver Glättung und Freilaufdiode. Da keine negative Spannung für eine Ummagnetisierung sorgen kann, ist eine eigene Entmagnetisierungswicklung im Transformator vorhanden, welche über eine Diode die magnetische Energie während der Ausschaltphase in die primäre Gleichspannungsquelle zurückspeist.

Im ersten Takt leitet der Schalttransistor. Die Polung der Wicklungen ist so, dass auch die Diode  $D_2$  leitet und damit in dieser Phase Energie übertragen wird. Der sekundär fließende Strom erscheint mit dem Übersetzungsverhältnis reduziert in der Primärwicklung. Zusätzlich fließt in dieser Wicklung ein im Vergleich zum Laststrom kleiner Magnetisierungsstrom  $i_{Lp}'$ . Der Verlauf des Sekundärstromes und damit auch des größten Teils des Primärstromes wird durch die Spannung an der sekundären Glättungsdrossel bestimmt. Wird der Schalter geöffnet, wird der Strom der Primärwicklung unterbrochen. Sowohl der transformierte Strom als auch der Magnetisierungsstrom werden schlagartig Null.



Die gespeicherte magnetische Energie des Kerns erzwingt einen Entmagnetisierungsstrom in der dritten Wicklung über die Entmagnetisierungsdiode  $D_1$ .

Die sekundäre Glättungsdrossel  $L$  bewirkt, dass ihr Strom über die Freilaufdiode  $D_3$  weiterfließen kann. Er nimmt jedoch wegen der fehlenden Trafospannung rasch ab.

Der Trafokern wird nur durch einen Bruchteil des fließenden Stromes magnetisiert. Bei gleicher Baugröße des Transformators kann hier wesentlich mehr Leistung übertragen werden als beim Sperrwandler.

## 2 Auslegung eines Eintakt-Durchflusswandlers

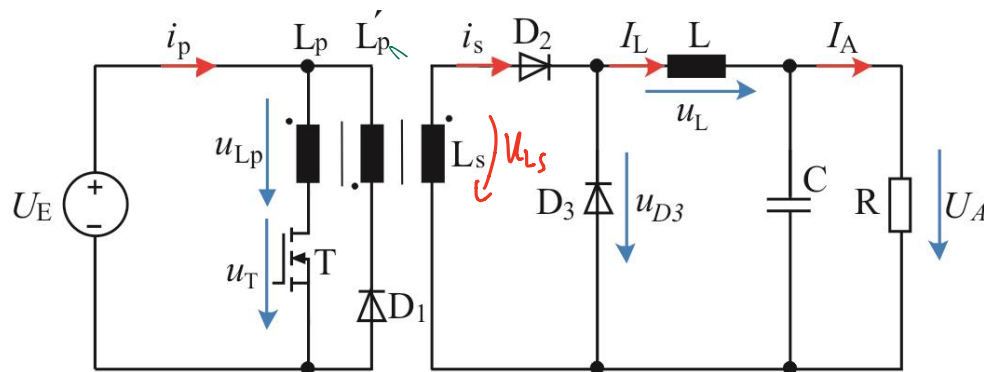


Abbildung 2.1: Prinzipieller Schaltplan eines Eintakt-Durchflusswandlers

Gegeben sind:

Eingangsspannung:  $U_E = 330 \text{ V}$

Ausgangsspannung:  $U_A = 5 \text{ V}$  Ladegerät Smartphone

Schaltfrequenz:  $f_s = 100 \text{ kHz}$

Windungszahlen:  $N_p = N'_p$

a) Skizzieren Sie die zeitlichen Verläufe von

- der Spannung über dem Transistor T und der Primärwicklung  $L_p$
- dem Strom im Transistor T und der Entmagnetisierungswicklung  $L'_p$
- der Spannung über der Sekundärwicklung  $L_s$  und dem Strom in  $L_s$
- dem Strom in der Glättungsdrossel L und in der Freilaufdiode  $D_3$

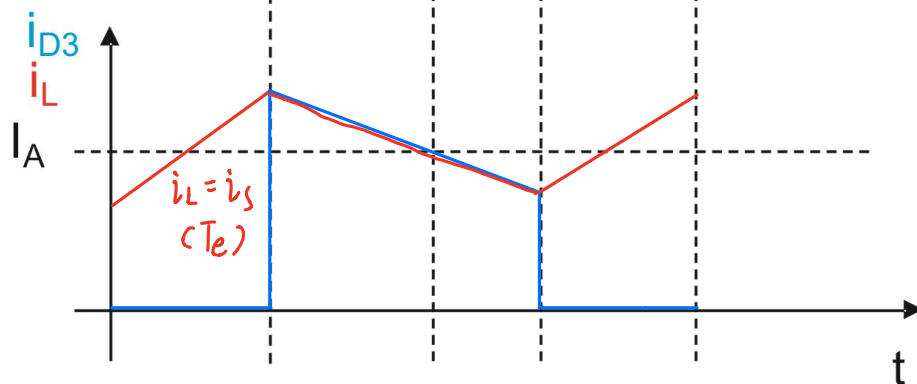
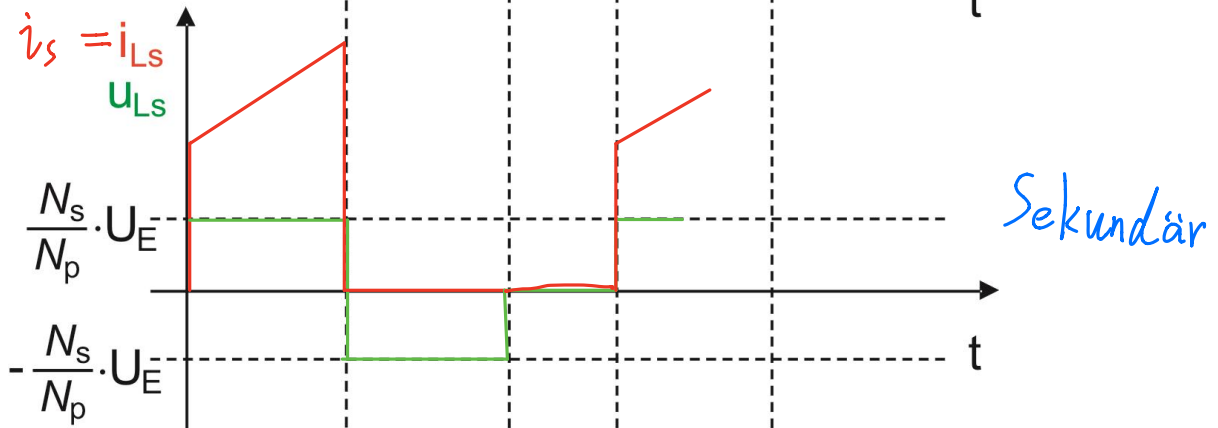
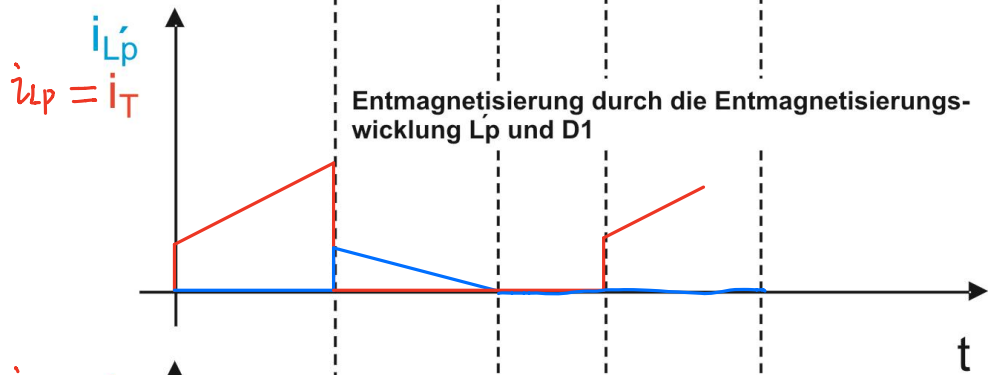
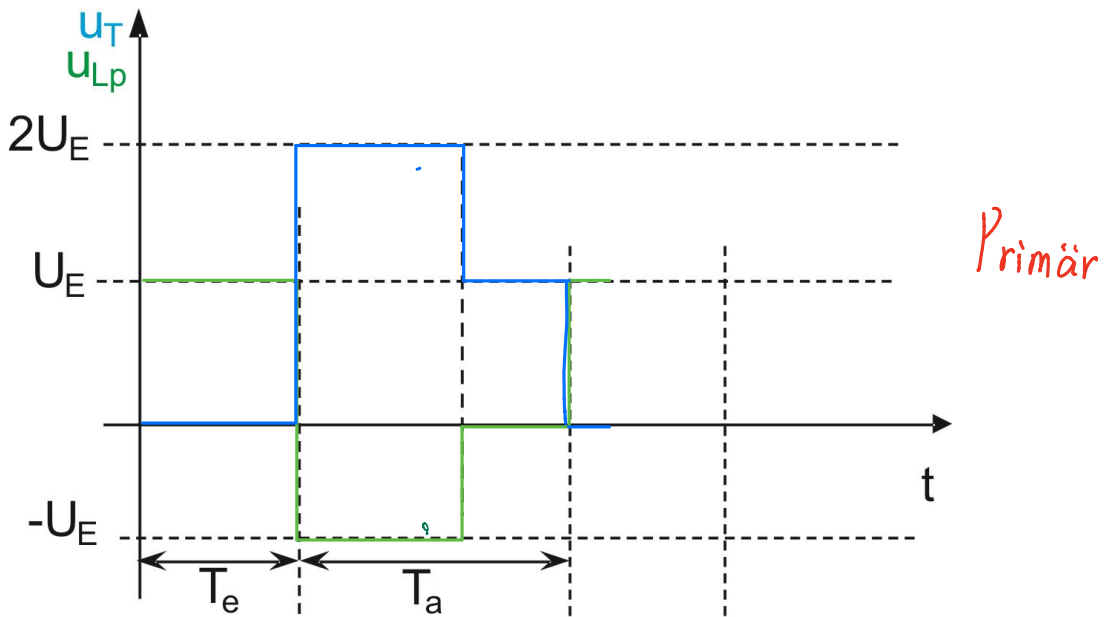
b) Geben Sie eine Gleichung für das Tastverhältnis  $\underline{D} = \frac{T_e}{T}$  in Abhängigkeit vom Übersetzungsverhältnis  $\frac{N_s}{N_p}$  sowie der Spannungen  $U_E$  und  $U_A$  an.

Wie groß darf  $D$  maximal werden?

c) Für welche Spannung muss der Transistor ausgelegt werden?

d) Berechnen Sie die Windungszahlen der drei Transformatorwicklungen bei Verwendung des gegebenen Kerns (siehe Anhang) mit  $D = 0,5$ .

zu **a)** Zeitliche Verläufe



zu b) Berechnung von  $D$ :

In erster Linie ist die Ausgangsspannung unabhängig vom Ausgangsstrom  $I_A$  ( $U_A = \text{const}$ ) und gleich dem Mittelwert der gleichgerichteten Sekundärspannung (ähnlich wie beim Tiefsetzsteller). Bei Gleichheit der Spannungszeitflächen der Glättungsdrossel  $L$  kann man schreiben:

$$T_e: U_L = U_{D3} - U_A$$

$\downarrow$

$$U_E \cdot \frac{N_s}{N_p}$$

$$T_a: U_L = -U_A$$

das ist  $U_A$  ist  
in einem Wert  
um  $U_A$  herum  
fluktuiert?

Spannungszeitflächen  
gleich groß

$$: T_e \cdot \left( \frac{N_s}{N_p} \cdot U_E - U_A \right) \stackrel{!}{=} T_a \cdot U_A$$

$$\Rightarrow T_e \cdot \frac{N_s}{N_p} \cdot U_E = T_e \cdot U_A + T_a \cdot U_A \quad \text{mit } T_e + T_a = T$$

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

$U_A$  konstant  
bleiben?

$L_p$  hat die gleiche Windungszahl wie  $L_s$  und dadurch benötigt die Entmagnetisierung die gleiche Zeit, wie die Magnetisierung. Der Transistor muss daher mindestens so lange ausgeschaltet bleiben, wie er vorher eingeschaltet war. Die maximale Einschaltzeit beträgt damit 0,5 T.

$$D_{\max} = 0,5 \quad \text{entspricht} \quad T_e = T_a = 5 \mu s$$

zu c)

$$U_{T, \max} = 2 \cdot U_E = 660 \text{ V}$$

zu d) Windungszahlen der Transformatorwicklungen

Die Windungszahlen von  $L_p$  und  $L_s$  sind meistens in der Praxis gleich, wodurch auch Magnetisierungsdauer und Entmagnetisierungsdauer gleich sind. Das Windungszahlverhältnis zwischen  $L_p$  und  $L_s$  lässt sich bei Vernachlässigung der Verluste und mit dem vorgegebenen Tastverhältnis  $D = 0,5$  wie folgt berechnen:

# Anhang Datenblatt:

## ETD 34/17/11

### Core

#### Magnetic characteristics (per set)

$$\Sigma/A = 0,81 \text{ mm}^{-1}$$

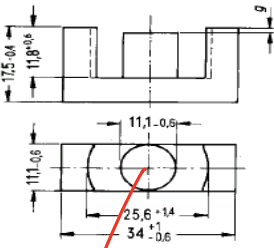
$$l_e = 78,6 \text{ mm}$$

$$A_e = 97,1 \text{ mm}^2$$

$$A_{min} = 91,6 \text{ mm}^2$$

$$V_e = 7630 \text{ mm}^3$$

Approx. weight 40 g/set



Amin

### Ungapped

Material	A <sub>L</sub> value nH	μ <sub>e</sub>	A <sub>L1min</sub> nH	P <sub>V</sub> W/set
N27	2400 + 30/- 20 %	1540	1940	1,48 (200 mT, 25 kHz, 100 °C)
N67	2450 + 30/- 20 %	1580	1940	5,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)
N87	2600 + 30/- 20 %	1670	1940	4,00 (200 mT, 100 kHz, 100 °C)

### Gapped

Material	g mm	A <sub>L</sub> value approx. nH	μ <sub>e</sub>
N27,	0,10 ± 0,02	790	508
N67,	0,20 ± 0,02	482	310
N87	0,50 ± 0,05	251	161
	1,00 ± 0,05	153	98

The A<sub>L</sub> value in the table applies to a core set comprising one ungapped core (dimension g = 0) and one gapped core (dimension g > 0).

$$L_p = N_p^2 \cdot A_{L,min}$$

$$= 99^2 \cdot 1940 \text{ nH}$$

$$= 19 \text{ mH}$$

$$= L_p'$$

$$L_s = N_s^2 \cdot A_{L,min}$$

$$= 3^2 \cdot 1940 \text{ nH}$$

$$= 17,4 \text{ uH}$$

Kern ETD34/17/11 ⇒ B<sub>max</sub> = 0.2T bei 100 kHz

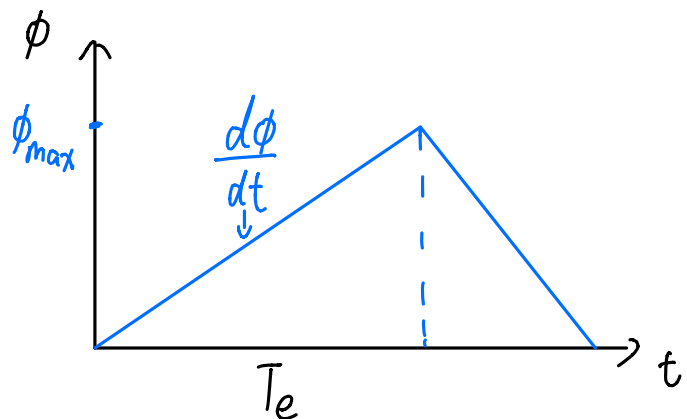
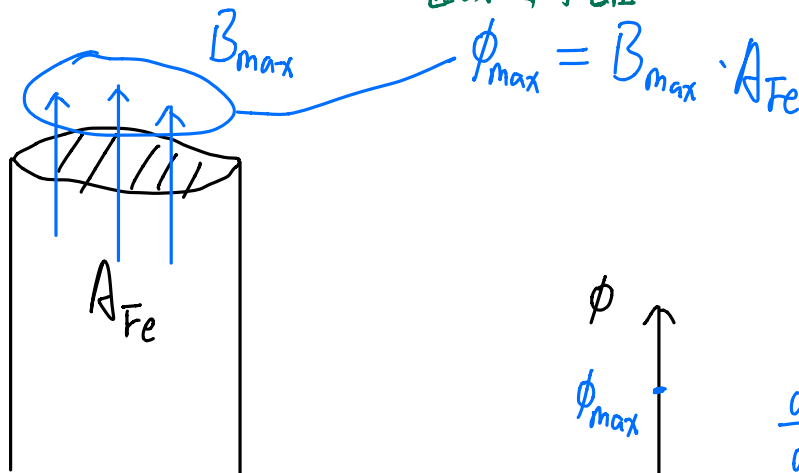
Minimale Querschnittsfläche: A<sub>min</sub> = 91.6 mm<sup>2</sup>

Windungsspannung:  $U^* = \frac{d\phi}{dt} = A_{Fe} \cdot \frac{dB}{dt} = A_{min} \cdot \frac{B_{max}}{T_e}$

—匝线圈的电压

$$= 91.6 \text{ mm}^2 \cdot \frac{0.2 \text{ T}}{5 \text{ uS}}$$

$$= 3.66 \frac{\text{V}}{\text{wdg}}$$



Primärwicklung, vorläufig:  $N_{p,vorl} = \frac{U_E}{U^*} = \frac{330 \text{ V}}{3.66 \text{ V/wdg}} = 90 \text{ wdg}$

Sekundärwicklung: aus (b)  $D = \frac{N_p}{N_s} \cdot \frac{U_A}{U_E} = 0.5 \Rightarrow N_s = \frac{N_{p,vorl}}{0.5} \cdot \frac{U_A}{U_E} = 2.7 \approx 3 \text{ wdg}$

Primärwicklung endgültig :  $N_p = 0.5 \cdot N_s \cdot \frac{U_E}{U_N} = 99 \text{ wdg}$

Entmagnet wicklung :  $N_{p'} = N_p = 99 \text{ wdg}$

# Auslegung eines Eintakt-Durchflusswandlers

## 正激变换器

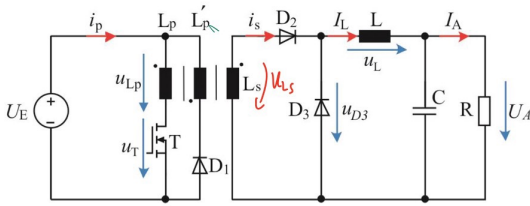


Abbildung 2.1: Prinzipieller Schaltplan eines Eintakt-Durchflusswandlers

Skizzieren Sie die zeitlichen Verläufe von

- der Spannung über dem Transistor T und der Primärwicklung  $L_p$
- dem Strom im Transistor T und der Entmagnetisierungswicklung  $L_p'$
- der Spannung über der Sekundärwicklung  $L_s$  und dem Strom in  $L_s$
- dem Strom in der Glättungsdrossel L und in der Freilaufdiode  $D_3$

Geben Sie eine Gleichung für das Tastverhältnis  $\underline{D} = \frac{T_{on}}{T}$  in Abhängigkeit vom Übersetzungsverhältnis  $\frac{N_s}{N_p}$  sowie der Spannungen  $U_E$  und  $U_A$  an.

Wie groß darf  $D$  maximal werden?

Frage 1: Berechnen Sie die Windungszahlen der drei Transformatorwicklungen bei Verwendung des gegebenen Kerns (siehe Anhang) mit  $D = 0,5$ .