



GRUNDSCHALTUNGEN DER LEISTUNGSELEKTRONIK

ÜBUNG

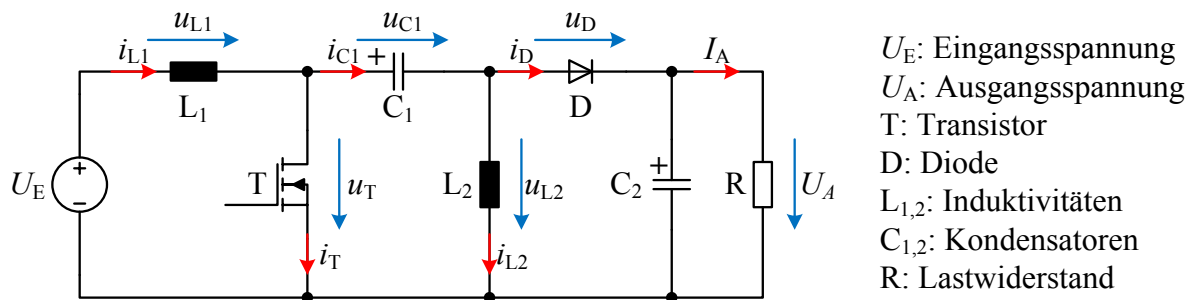
Inhalte:

- Überblick SEPIC-Wandler
- Berechnung eines SEPIC-Wandlers

Diese Arbeitsblätter werden in der Übung ausgefüllt/ergänzt

1 Überblick SEPIC-Wandler

Der “Single Ended Primary Inductance Converter” ist ein Gleichstromsteller ohne galvanische Trennung, der aus einer Eingangsgleichspannung U_E eine Ausgangsgleichspannung U_A erzeugt. Diese kann je nach Tastverhältnis **größer oder kleiner als die Eingangsspannung** sein, ist aber wie die Eingangsspannung stets positiv. Energiefluss ist nur in einer Richtung möglich.



Die Funktion der Schaltung beruht auf dem periodischen Ein- und Ausschalten des Transistors T und ähnelt in Aufbau und Funktion dem **Hochsetzsteller**. Während der Einschaltzeit T_e nimmt der Strom in L_1 zu, es wird Energie in der Drossel gespeichert. Während der Ausschaltzeit T_a wird der Strom dann durch den Kondensator C_1 und die Diode D zur Last getrieben. Die Induktivität L_2 sorgt dafür, dass C_1 während der nächsten Einschaltphase wieder etwas entladen wird, um einen im Mittel konstanten Spannungswert zu halten. Der Strom i_{L2} ist bei der eingezeichneten Zählpfeilrichtung stets negativ.

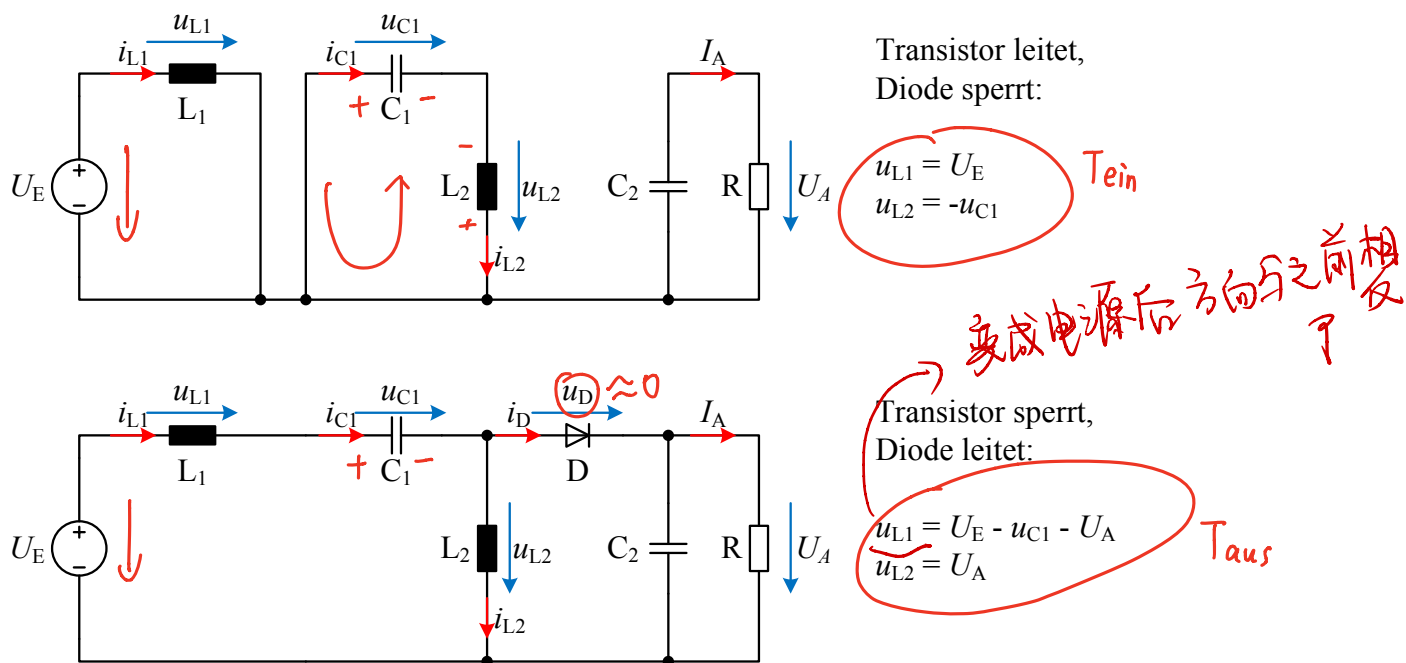
Es lässt sich zeigen, dass sich der **Kondensator C_1 im Mittel auf den Wert der Eingangsspannung auflädt**. Bei ausreichender Kapazität wirkt er so als in Reihe geschaltete Gleichspannungsquelle und erlaubt dadurch das Erreichen von Ausgangsspannungen, die kleiner als die Eingangsspannung sind.

Zur Herleitung der mathematischen Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung und den Schaltzeiten T_e und T_a im eingeschwungenen Zustand werden folgende Vereinfachungen getroffen:

- Alle Bauteile werden als ideal, also nicht verlustbehaftet, angenommen.
- Ein- und Ausgangsspannung sowie die Last R sind konstant.
- L_2 , C_1 , C_2 sind sehr groß.

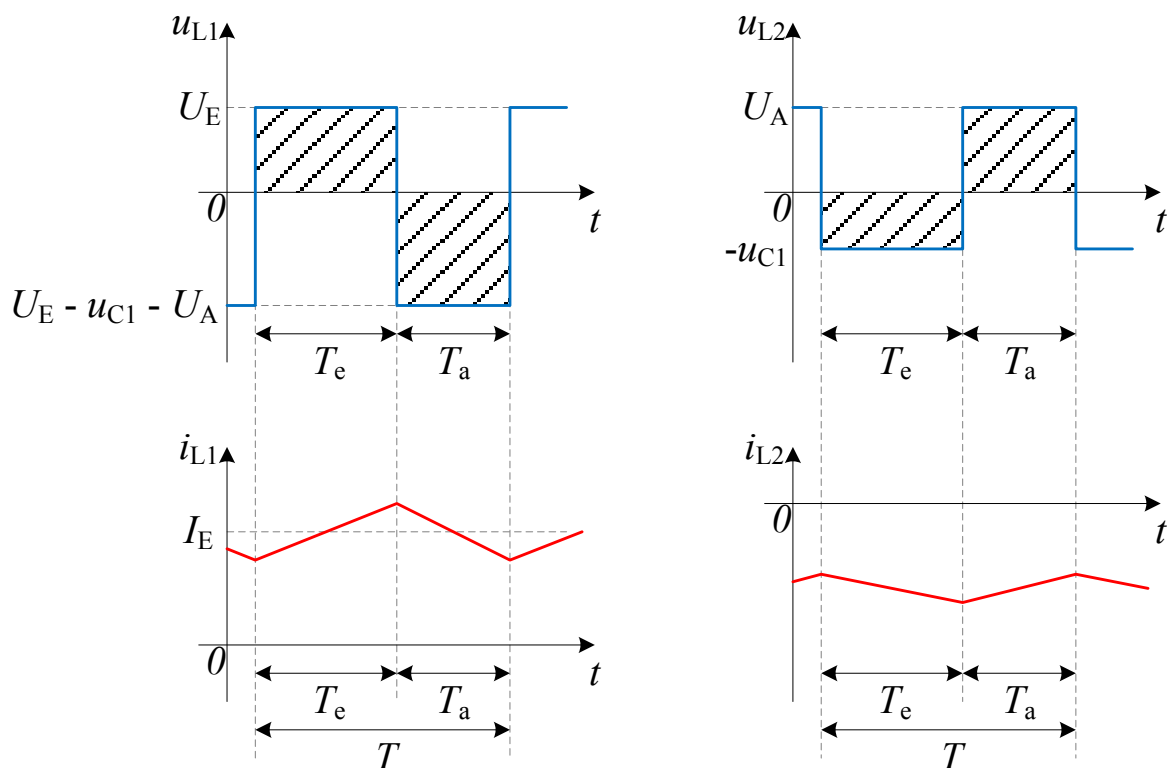
Aufgrund der über C_1 anliegenden Spannung kann davon ausgegangen werden, dass die Diode D stets sperrt, wenn T leitet. Solange die Schaltung nicht lückt, ist die Diode dann wiederum genau solange leitend, wie der Transistor sperrt.

Während der Ein- und Ausschaltzeiten des Transistors T gelten somit folgende Zusammenhänge:



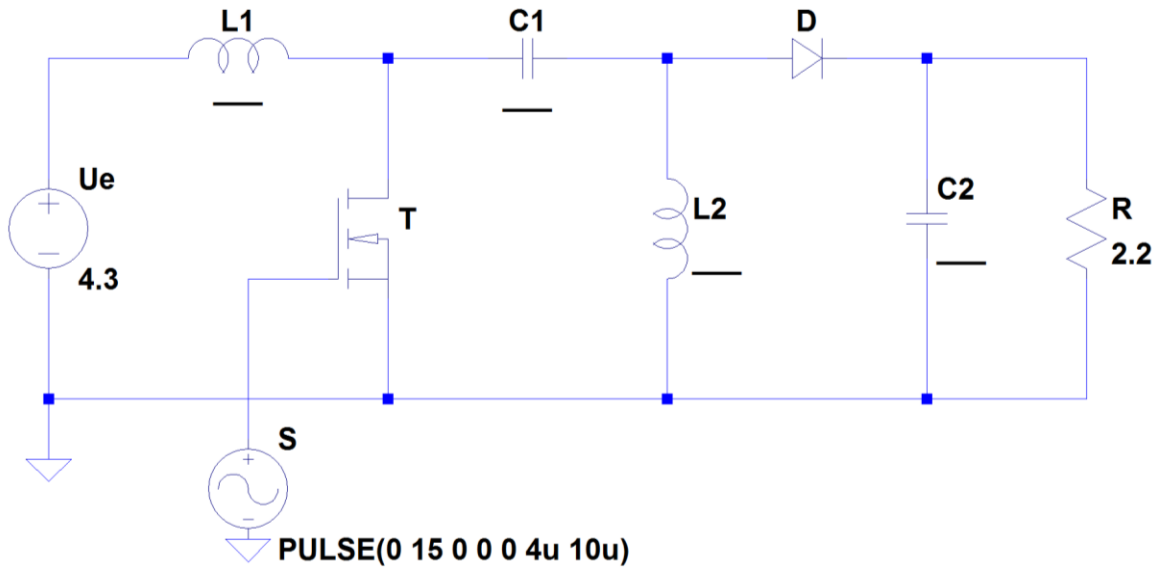
稳定

Im eingeschwungenen Zustand müssen die Spannungs-Zeit-Flächen über den Induktivitäten im zeitlichen Mittel Null betragen. Es ergeben sich zwei Gleichungen, aus denen u_{C1} eliminiert werden kann. Anschließend kann nach dem Verhältnis U_A/U_E aufgelöst werden.



2 Auslegung eines SEPIC-Wandlers

.tran 0 10m 0 10n



Der abgebildete SEPIC-Wandler soll in einem Smartphone eingesetzt werden. Die Lithium-Ionen-Zelle liefert eine Spannung von 2,5 V bis 4,3 V, für diverse Digitalelektronik werden konstante 3,3 V benötigt. Die Schaltung wird maximal mit 5 W belastet.

Zunächst gegeben:

$$U_E = 2,5..4,3 \text{ V}$$

$$U_A = 3,3 \text{ V}$$

$$P_{A,max} = 5 \text{ W}$$

$$L_1 = 100 \text{ } \mu\text{H}$$

$$L_2 = \infty$$

$$C_1 = \infty$$

$$C_2 = \infty$$

$$f_s = 100 \text{ kHz} \Rightarrow T = \frac{1}{f_s} = 10 \mu\text{s}$$

Alle Bauelemente sollen als ideal angenommen werden!

Gefragt:

- Berechnen Sie das Tastverhältnis $D = T_e/T$ für minimale und maximale Eingangsspannung!
- Wie groß ist der Eingangsstrom i_{L1} bei maximaler Eingangsspannung? Wie sieht sein Verlauf aus? Wie groß ist der Ripple? Welchen Vorteil hat ein kleiner Stromripple?
- Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung und des Stromes ($L_1 = \infty$) der nun endlichen Kapazität C_1 . Berechnen Sie deren Wert für den Fall, dass der Ripple 1 V beträgt.
- Für welche Spannung muss C_1 dimensioniert werden? *求电感 U_{C1} 电压*
- Wie klein darf die Drossel L_1 werden, damit der Steller bei maximaler Eingangsspannung gerade nicht lückt?

a)

Während T_e gilt: $U_{L1} = U_E$, $U_{L2} = -U_{C1}$

während T_a gilt: $U_{L1} = U_E - U_A - U_{C1}$, $U_{L2} = U_A$

Die Spannungszeitflächen über den beiden Drosseln während Aus- und Einschalten des Transistors müssen jeweils Null ergeben. Daraus folgt für L_1 und für L_2 :

$$L_1: T_e \cdot U_E + T_a \cdot (U_E - U_A - U_{C1}) = 0 \quad (1)$$

$$L_2: T_e \cdot (-U_{C1}) + T_a \cdot U_A = 0 \Rightarrow U_{C1} = \frac{T_a \cdot U_A}{T_e} \quad (2)$$

$$(2) \rightarrow (1): T_e \cdot U_E + T_a \cdot (U_E - U_A - \frac{T_a}{T_e} \cdot U_A) = 0$$

$$U_A = \frac{T_e}{T_a} \cdot U_E \text{ mit } T_a = T - T_e$$

$$\Rightarrow T_e = \frac{T \cdot \frac{U_A}{U_E}}{1 + \frac{U_A}{U_E}}$$

Die minimale Einschaltdauer $T_{e,min}$ ergibt sich für maximale Eingangsspannung und die maximale Einschaltdauer $T_{e,max}$ für minimale Eingangsspannung:

$$U_{E,max} \Rightarrow T_{e,min} = 10 \mu s \cdot \frac{3.3V}{4.3V} \\ \frac{\quad}{1 + \frac{3.3V}{4.3V}} = 4.34 \mu s$$

$$U_{E,min} \Rightarrow T_{e,max} = \frac{10 \mu s \cdot \frac{3.3V}{2.5V}}{1 + \frac{3.3V}{2.5V}} = 5.68 \mu s$$

Daraus resultieren die Tastverhältnisse $D = T_e/T$:

$$D_{\min} = \frac{T_{e,\min}}{T} = \frac{4.34 \mu s}{10 \mu s} = 0.434$$

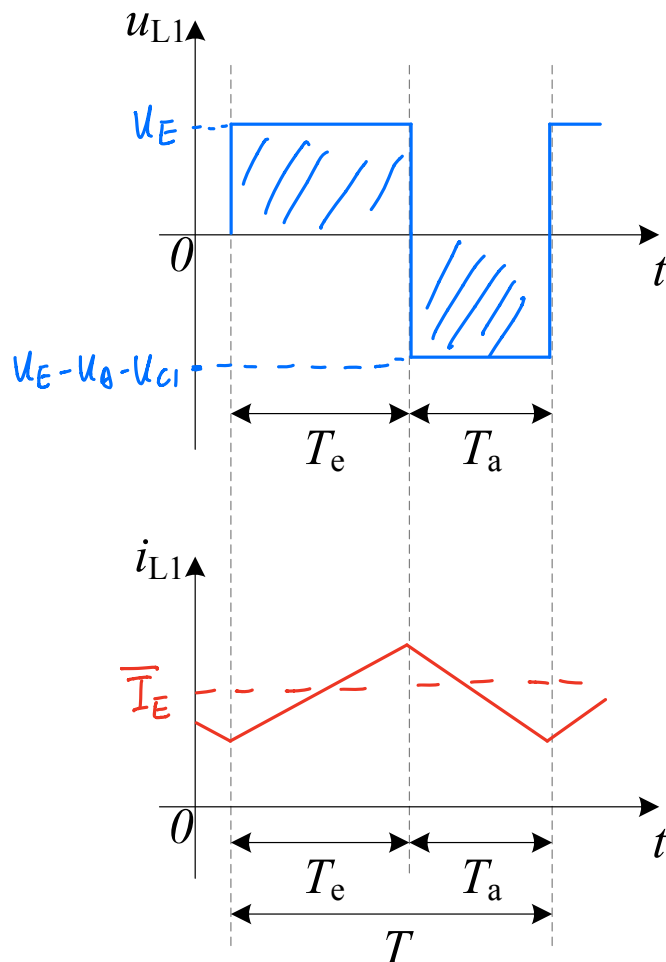
$$D_{\max} = \frac{T_{e,\max}}{T} = 0.568$$

b)

Der mittlere Eingangsstrom errechnet sich aus dem Leistungserhaltungsgesetz:

$$P_E = P_A \Rightarrow I_E \cdot U_E = I_A \cdot U_A$$

$$\bar{I}_E = \frac{P_A}{U_E} = \frac{5W}{4.3V} = 1.16A \quad \checkmark$$



Den Ripple berechnet man aus der Spulengleichung:

$$\text{Während } T_e: u_{L1} = L_1 \cdot \frac{\Delta i_{L1}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta i_{L1} = \frac{u_{L1}}{L_1} \cdot \Delta t = \frac{u_E}{L_1} \cdot T_e = \frac{4.3V}{100 \mu H} \cdot 4.34 \mu s$$

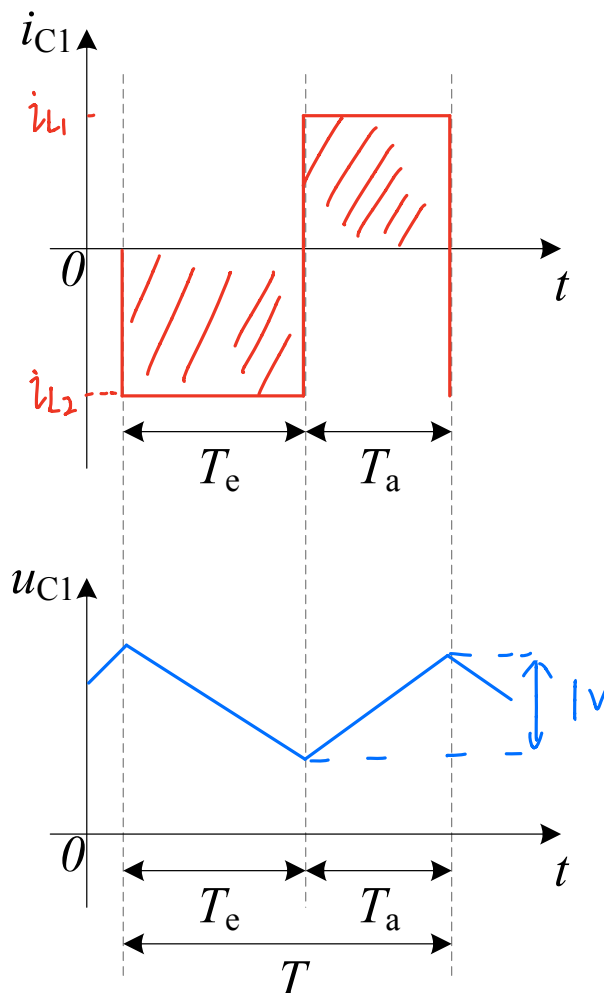
kleiner Stromripple

$$= 0.187 A$$

\Rightarrow nur kleiner Glättungskondensator
am Ausgang erforderlich

c)

Mit der Annahme, dass die Induktivität L_1 für diesen Fall ebenso wie L_2 einen unendlich großen Wert bekommt, haben die Ströme aus und in den Kondensator C_1 keinen Ripple mehr \Rightarrow Gleichströme.



$$T_a: i_{L1} \hat{=} I_E = i_{C1}$$

Die erforderliche Kapazität ergibt sich aus der Kondensatorgleichung:

$$i_C = C \cdot \frac{du_C}{dt}$$

$$T_a: \Delta u_{C1} = \frac{1}{C_1} \cdot i_{C1} \cdot \Delta t$$

$$\text{mit } i_{C1} = i_{L1} = I_E \Rightarrow C_1 = \frac{I_E \cdot T_a}{\Delta u_{C1}} = \frac{1.16 A \cdot 5.57 \mu s}{1V} = 6.46 \mu F$$

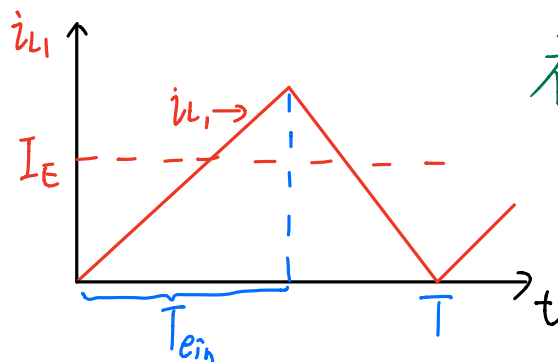
d)

Die Betriebsspannung des Kondensators C_1 ist gleich der Eingangsspannung:

aus (a) $u_{C1} = \frac{T_a}{T_e} \cdot u_A = u_E = 4.3 \text{ V}$

e)

Für den Fall, dass i_{L1} bei max. Eingangsspannung gerade nicht lückt, gilt:



在 lückend Betrieb 的边界上

☆ $\Delta i_{L1} = 2 \cdot I_E \stackrel{(b)}{=} 2 \times 1.16 \text{ A} = 2.32 \text{ A}$

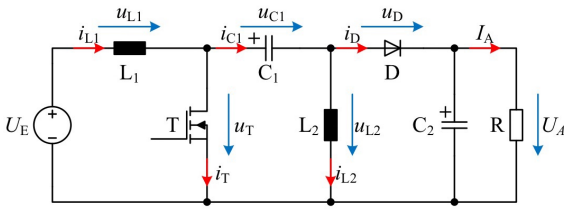
$u_L = L_1 \cdot \frac{\Delta i_{L1}}{\Delta t}$

$\Rightarrow L_1 = u_{L1} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta i_{L1}} = u_{E, \max} \cdot \frac{T_{e, \min}}{\Delta i_{L1}} = 4.3 \text{ V} \cdot \frac{4.34 \mu\text{s}}{2.32 \text{ A}}$

$= 8.04 \mu\text{H}$

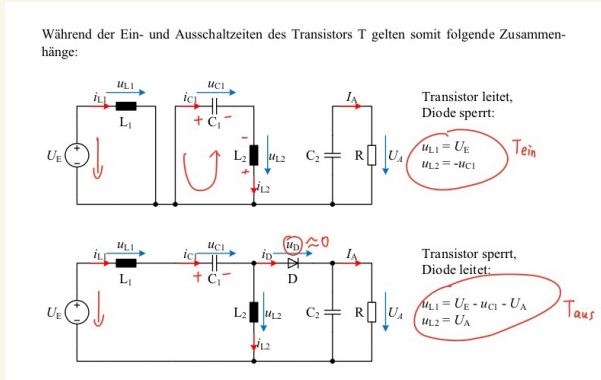
$\Delta i_L = 2 \cdot I_E$
 $u_L = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$
 $P = UI$

SEPIC-Wandler

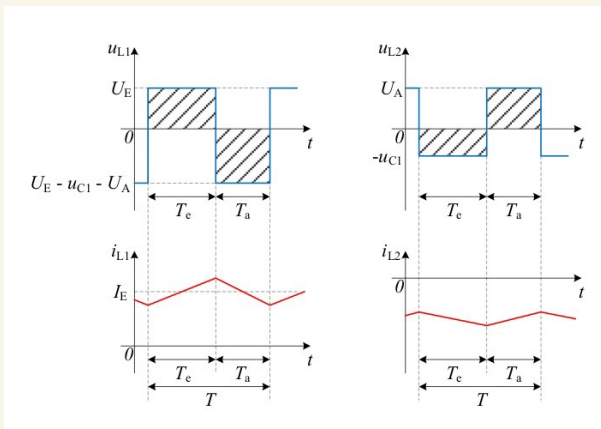


Der “Single Ended Primary Inductance Converter” ist ein Gleichstromsteller ohne galvanische Trennung, der aus einer Eingangsgleichspannung U_E eine Ausgangsgleichspannung U_A erzeugt. Diese kann je nach Tastverhältnis größer oder kleiner als die Eingangsspannung sein, ist aber wie die Eingangsspannung stets positiv. Energiefluss ist nur in einer Richtung möglich.

Es lässt sich zeigen, dass sich der Kondensator C_1 im Mittel auf den Wert der Eingangsspannung auflädt.



Im eingeschwungenen Zustand müssen die Spannungs-Zeit-Flächen über den Induktivitäten im zeitlichen Mittel Null betragen. Es ergeben sich zwei Gleichungen, aus denen u_{C1} eliminiert werden kann. Anschließend kann nach dem Verhältnis U_A/U_E aufgelöst werden.



Auslegung eines SEPIC-Wandlers

Zunächst gegeben:

$$U_E = 2,5..4,3 \text{ V}$$

$$U_A = 3,3 \text{ V}$$

$$P_{A,\max} = 5 \text{ W}$$

$$L_1 = 100 \text{ } \mu\text{H}$$

$$L_2 = \infty$$

$$C_1 = \infty$$

$$C_2 = \infty$$

$$f_s = 100 \text{ kHz} \Rightarrow T = \frac{1}{f_s} = 10 \text{ } \mu\text{s}$$

Alle Bauelemente sollen als ideal angenommen werden!

Frage 1: Berechnen Sie das Tastverhältnis $D = T_e/T$ für minimale und maximale Eingangsspannung!

Frage 2: Wie groß ist der Eingangsstrom i_{L1} bei maximaler Eingangsspannung? Wie sieht sein Verlauf aus? Wie groß ist der Ripple? Welchen Vorteil hat ein kleiner Stromripple

Frage 3: Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung und des Stromes ($L_1 = \infty$) der nun endlichen Kapazität C_1 . Berechnen Sie deren Wert für den Fall, dass der Ripple 1 V beträgt.

Frage 4: für welche Spannung muss C_1 dimensioniert werden?

Frage 5: Wie klein darf die Drossel L_1 werden, damit der Steller bei maximaler Eingangsspannung gerade nicht lückt?