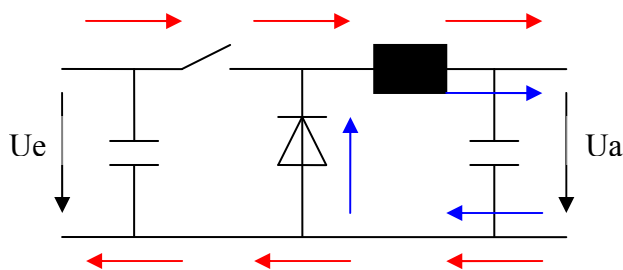


# Schaltnetzteile

## Prinzipschaltungen

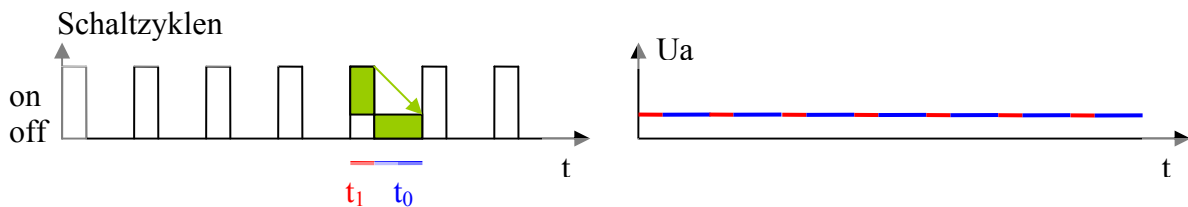
Alle diese Schaltungen benötigen eine Regelung, die die Ausgangsspannung misst und die Schaltzyklen steuert. Oftmals werden die drei Grundschaltungen kombiniert oder erweitert.

### **Step Down (Durchflusswandlerprinzip)**



Dieses Grundprinzip wird eingesetzt wenn die Ausgangsspannung kleiner als die Eingangsspannung sein soll.

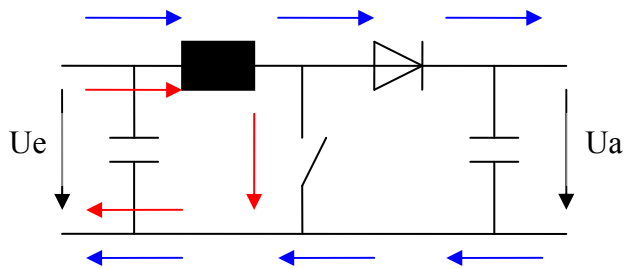
Die beiden Kondensatoren dienen zur Spannungsstabilisierung. Ist der Schalter geschlossen, fließt der Strom durch die Spule zum Ausgang (rote Pfeile). Dabei wird die Spule geladen. Öffnet man jetzt den Schalter, fließt über die Freilaufdiode weiter Strom. Dieser Strom in der Spule nimmt immer zu und ab.



$$U_a = U_e \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_0}$$

Die Ansteuerung erfolgt mit einer Pulsweitenmodulation (PWM). Die Spule und der ausgangsseitige Kondensator generieren den Gleichstrom aus dem PWM. Zur Veranschaulichung der grüne Pfeil. Das PWM Signal ist bei idealen Bauteilen stromunabhängig! Es muss nur durch die Verluste leicht angepasst werden.

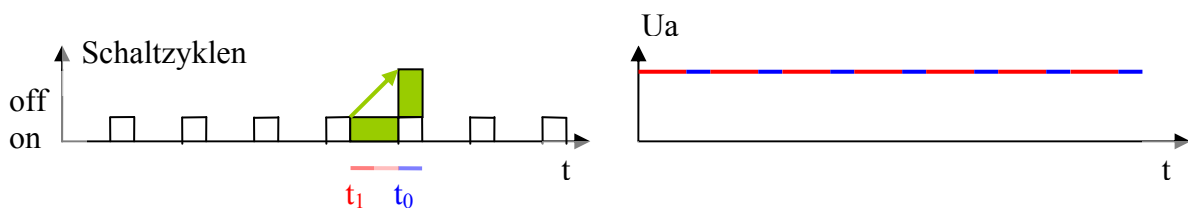
## Step Up



Dieses Grundprinzip ermöglicht eine Spannungserhöhung. Bleibt der Schalter offen, ist die Ausgangsspannung gleich Eingangsspannung.

Die beiden Kondensatoren dienen zur Spannungstabilisierung.

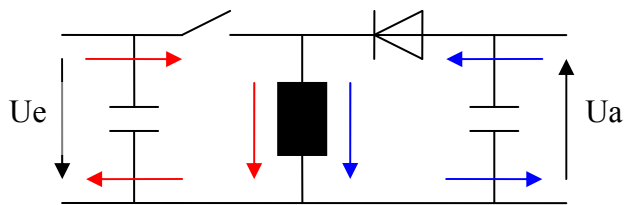
Ist der Schalter geschlossen, fließt der Strom durch die Spule (rote Pfeile) und lädt diese. Öffnet sich den Schalter, fließt der Strom durch die Diode weiter in den Kondensator und zum Verbraucher (blaue Pfeile).



$$U_a = U_e \cdot \frac{t_1 + t_0}{t_0}$$

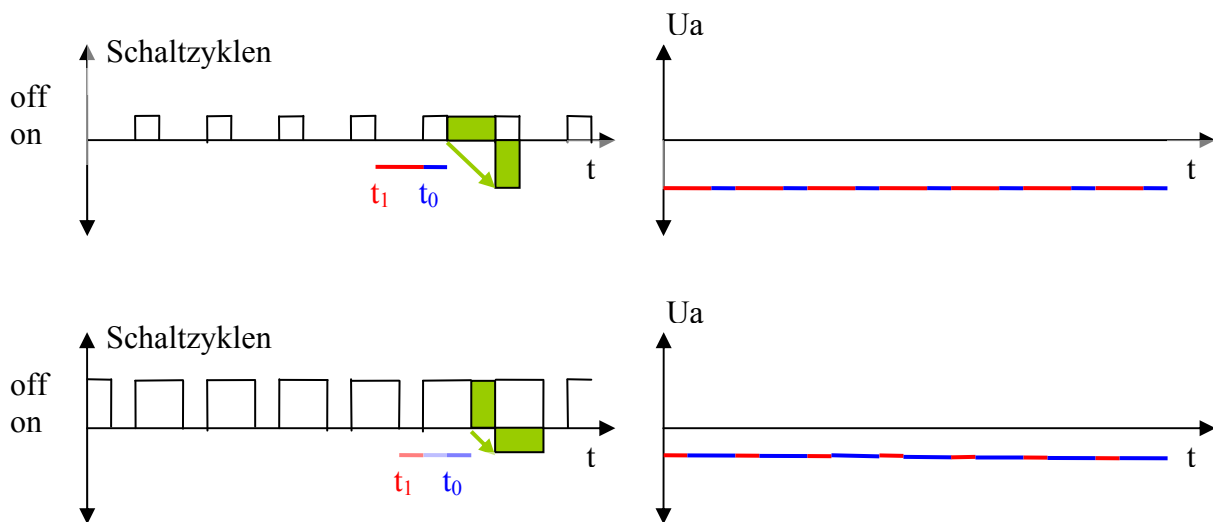
Die Ansteuerung erfolgt ebenfalls mit einem PWM Signal. Zu beachten ist allerdings, dass hier nicht direkt der Mittelwert des PWM die Ausgangsspannung ist, sondern die Spannung erhöht wird (grüner Pfeil). Da nur der Freilaufstrom zum Ausgang gelangt, ist dort ein genügend grossen Kondensator wichtig. Das PWM Signal ist bei idealen Bauteilen stromunabhängig! Es muss nur durch die Verluste leicht angepasst werden.

## Inverter (Sperrwandlerprinzip)



Dieses Grundprinzip dient zum invertieren der Spannung. Dieses Verfahren ermöglicht eine kleinere oder eine grössere Ausgangsspannung.

Die beiden Kondensatoren dienen zur Spannungsstabilisierung. Wird der Schalter geschlossen, wird die Spule geladen (rote Pfeile). Wird der Schalter geöffnet fließt in der Spule weiter Strom der über die Diode den ausgangseitigen Kondensator lädt.

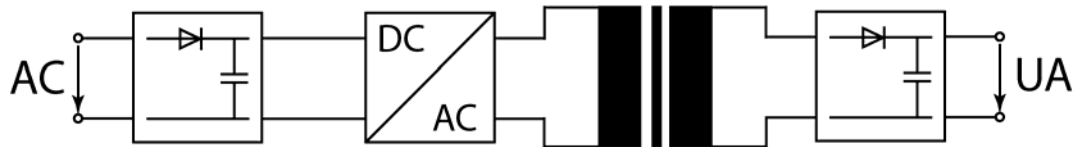


$$U_a = -U_e \cdot \frac{t_1}{t_0} \quad t_1 = t_0 \rightarrow U_a = -U_e \quad t_1 < t_0 \rightarrow U_a < -U_e \quad t_1 > t_0 \rightarrow U_a > -U_e$$

Die Ansteuerung des Inverters erfolgt auch mit einem PWM. Zu beachten ist, dass die Schaltung keinen Mittelwert generiert, sondern die Spannung invertiert und verteilt. (Grüner Pfeil). Je nach Pulsweite ist eine höhere oder geringere oder gleiche negative Spannung am Ausgang möglich. Da immer nur auf der Eingangsseite oder der Ausgangsseite Strom fließt, muss dies mit Kondensatoren ausgeglichen werden. Das PWM Signal ist bei idealen Bauteilen Stromunabhängig! Es muss nur durch die Verluste leicht angepasst werden.

## Primär getaktete Schaltnetzteile

Ein primär getaktetes Schaltnetzteil wird so genannt, weil auf der **Primärseite des Trafos** getaktet wird. Das Takten erfolgt also direkt in der gleichgerichteten Netzspannung (Achtung: ungefähr 325V Gleichspannung vor dem Schalter!)



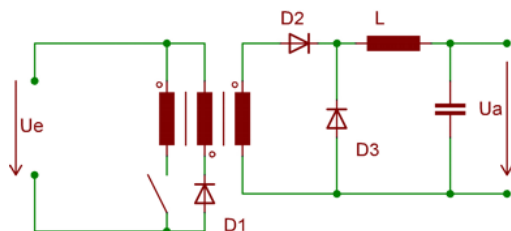
- Der Vorteil dieser Variante gegenüber dem sekundär getakteten Schaltnetzteil ist ein besserer Wirkungsgrad, weil der 50Hz-Trafo des sekundär getakteten Schaltnetzteils einen schlechteren Wirkungsgrad hat, als der HF-Trafo im primär getakteten Schaltnetzteil. Dieser ist natürlich auch kostengünstiger als ein grosser 50Hz-Trafo

Aus diesen Gründen wird diese Variante bei Schaltnetzteilen am häufigsten eingesetzt.

### **Abwärtsregler (Step Down)**

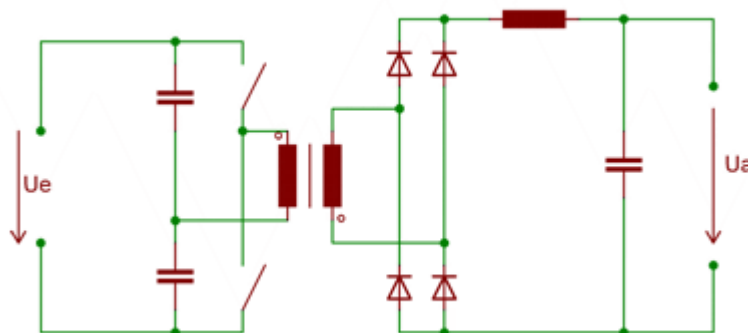
Wenn man bei einem Durchflusswandler (also einem Step Down Wandler) eine galvanische Trennung haben will und den Trafo auf der **Primärseite** schalten will, muss man direkt den Strom durch den Trafo schalten. Die einfachste Variante ist der Eintakt Durchflusswandler, weil er nur einen Schalter hat (dieser ist in der Praxis natürlich ein Leistungstransistor oder MOSFET)

### **Eintakt Durchflusswandler (Step Down)**



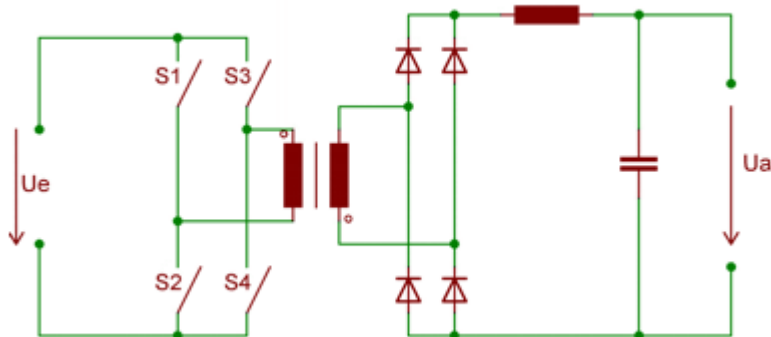
Die mittlere Wicklung ist nötig, um Überspannungen der ersten Wicklung nach ausschalten abzufangen.

### **Halbbrücken Gegentaktwandler (Step Down)**



Die beiden Kondensatoren links sind sozusagen als Ersatz der zwei zusätzlichen Schalter beim vollbrücken Gegentaktwandler anzusehen.

### Vollbrücken Gegentaktwandler (Step Down)



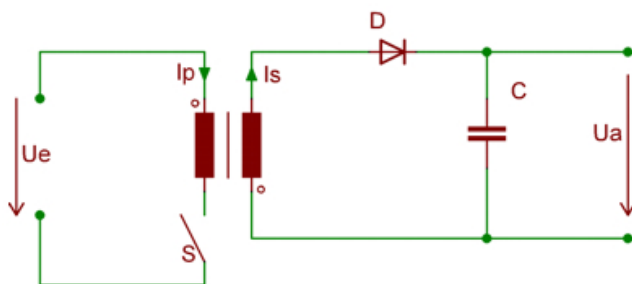
### Aufwärtsregler (Step Up)

Beim Step-Up-Wandler ist der Schalter zwischen der Spule und der Diode (siehe Abschnitt „Prinzipschaltungen“, folglich kann man mit diesem Wandler **kein** primär getaktetes Schaltnetzteil realisieren.

Wenn man damit dennoch eine galvanische Trennung haben will, muss man dem Wandler einen Trafo vorschalten → Dann hat man aber eben kein **primär** getaktetes Schaltnetzteil mehr, sondern ein **sekundär** getaktetes Schaltnetzteil (siehe unten: „Sekundär getaktete Schaltnetzteile“).

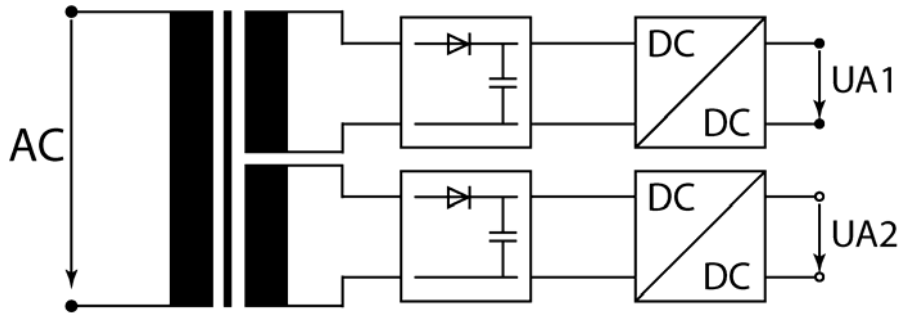
### Sperrwandler (Inverter)

Bei diesem Wandler muss beim primär getakteten Schaltnetzteil auch wieder direkt der Strom des Trafos geschaltet werden. Der Unterschied zwischen diesem und dem Eintakt Durchflusswandler ist, dass hier die Trafospannung invertiert gleichgerichtet wird, also die Ausgangsspannung auch invertiert ist.



## Sekundär getaktete Schaltnetzteile

Ein sekundär getaktetes Schaltnetzteil wird so genannt, weil auf der **Sekundärseite des Trafos** getaktet wird. Das Takten erfolgt also in einer schon transformierten Gleichspannung. Der Trafo muss für Netzfrequenz, also für 50 Hz ausgelegt werden. Dies führt zu keiner Gewichtsersparnis gegenüber nichtgetakteten Netzteilen.



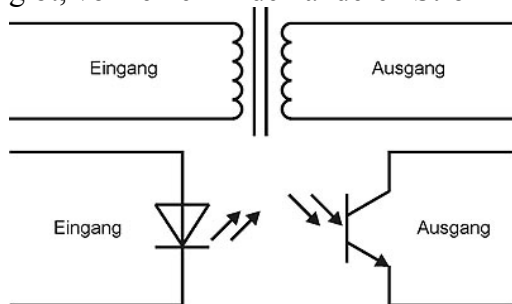
- Der Vorteil dieser Variante gegenüber dem Primär getakteten Netzteil ist die immer gewährleistete galvanische Trennung zum Netz.
- An den Ausgängen des Netztrafos kann nach einer Gleichrichterstufe jeder beliebige DC/DC-Wandler (siehe Prinzipschaltungen) betrieben werden.

Diese Variante wird meist verwendet, um mehrere Sekundärspannungen zu erzeugen.  
(Labornetzteile)

## Galvanische Trennung

### **Definition**

Zwei Stromkreise sind galvanisch voneinander getrennt, wenn es für den Strom keinen Weg gibt, vom einen in den anderen Stromkreis zu fließen.



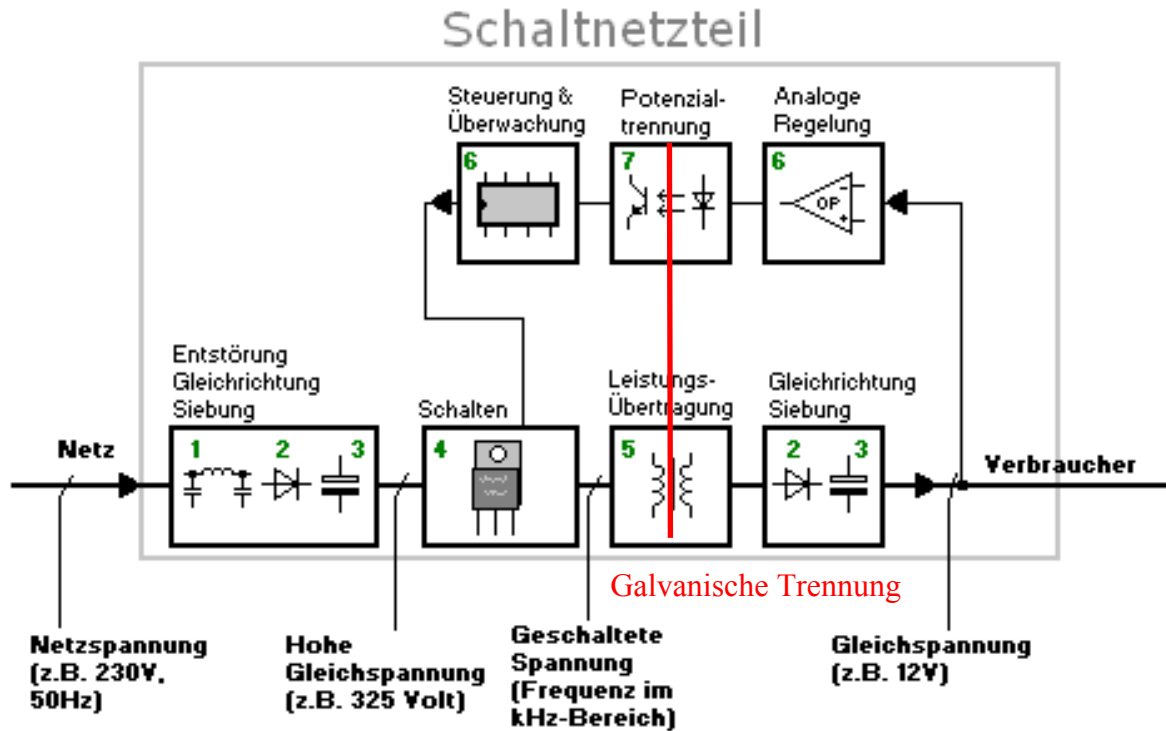
Galvanische Trennung: Transformator  
Optokoppler

### **Beispiel**

Das bekannteste Beispiel für eine galvanische Trennung sind Transformatoren, insbesondere wenn sie aus dem öffentlichen Stromnetz gespeist werden (Netztransformatoren). Mit ihnen wird neben der Spannungsanpassung eine galvanische Trennung zum Netz geschaffen, um in den angeschlossenen Stromkreisen die Sicherheit vor dem Berühren der Netzspannung herzustellen. Das wird durch zwei elektrisch voneinander getrennten Spulen, die sich auf einem gemeinsamen Eisenkern befinden, realisiert.

### **Galvanische Trennung ist in folgenden Fällen erforderlich**

- Zur Sicherheit
- Aus messtechnischen Gründen
- Zur Verhinderung von Brummschleifen und elektromagnetischen Störungen

**Legende:**

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| <b>1 = Netzfilter</b> (z.B. Drosselspule, X- und Y-Kondensatoren)         | <b>6 = Steuerelektronik</b> |
| <b>2 = Gleichrichter</b> (z.B. Brückengleichrichter oder einzelne Dioden) | <b>7 = Optokoppler</b>      |
| <b>3 = Glättungskondensator</b>   |                             |
| <b>4 = Leistungstransistor</b> (z.B. "starker" MOSFET)                    |                             |
| <b>5 = Übertrager</b> ("Trafo")   |                             |

## **Vor- & Nachteile gegenüber konventionellen Netzteilen**

### **Vorteile**

- Höhere Wirkungsgrad (über 90%)
- Grosse Toleranz für Eingangsspannung und –Frequenz
- Geringeres Gewicht und Volumen
- Im Falle von Überlast oder Kurzschluss im Lastkreis nimmt es keinen Schaden, sondern gelangt in einen definierten Abschaltvorgang
- Geringer Standby-Verbrauch

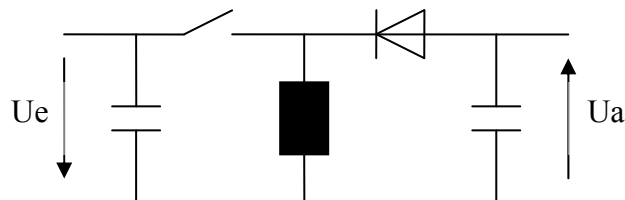
### **Nachteile**

- Aufgrund des Schaltbetriebs mit hohen Frequenzen sind aufwendige Maßnahmen zur Verbesserung des EMV-Verhaltens (Störemission) erforderlich
- Schlechteres Regelverhalten bei sehr schnellen Lastwechseln oder bei sehr niedriger Last
- Komplexere Schaltung, benötigt mehr Bauteile
- Verformung des Netzstroms aufgrund der Ladevorgänge beim Eingangskondensator

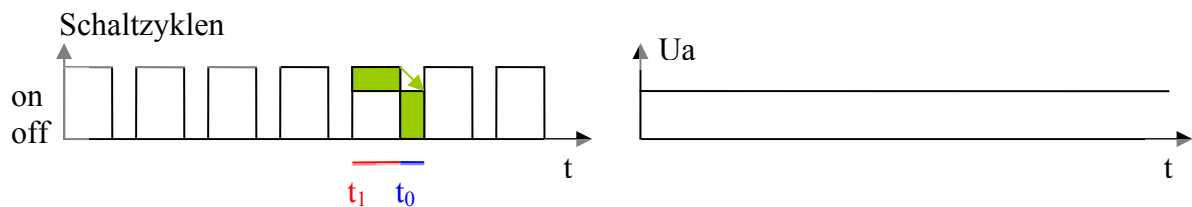
## Verständniskontrolle

### **Fragen zu den Prinzipschaltungen**

1. Zeichne die Prinzipschaltung eines Step Down Wandlers.
2. Welches zentrale Element wird als Leistungsspeicher gebraucht?
3. Zeichne den Stromfluss bei offenem und geschlossenem Schalter ein. Wie heisst dieses Wandlungsprinzip? Verhältnis  $U_a$  zu  $U_e$ ?



4. Zu welcher Schaltung passt dieses Verhalten? Zeichnen sie die Schaltung auf.



5. Ist der PWM Ausgangsstromabhängig?
6. Leite die Formel für die durchschnittliche Spannung mit den Diagrammen aus Aufgabe 4 her.

### **Richtig oder Falsch**

7. Nur der Step Up Wandler arbeitet mit PWM Signalen.
8. Der mittlere Eingangsstrom beim Step Up Wandler ist kleiner als der mittlere Ausgangsstrom.
9. Beim Inverter kann die Ausgangsspannung kleiner als die Eingangsspannung sein.
10. Die Pulsweite ist im Idealfall Stromunabhängig.
11. Der Strom in der Spule fällt bei jedem Schaltzyklus zwingend auf null ab.
12. Beim Inverter fliesst entweder Strom auf der Eingangsseite oder der Ausgangsseite (Kondensatoren nicht einbezogen)
13. Der Ausgangsseitige Kondensator des Step Up Wandlers wird nur bei offenem Schalter geladen.

### **Fragen zu den Schaltnetzteilen**

1. Wo werden sekundär getaktete Netzteile häufig eingesetzt?
2. Wieso sind sekundär getaktete Netzteile in der Regel teurer als primär getaktete?
3. Zeichne bei den Schemas des primär getakteten Schaltnetzteils mit Eintakt Durchflusswandler und Sperrwandler die Stromrichtungen bei offenem und geschlossenem Schalter mit verschiedenen Farben ein?
4. Wieso ist bei Primär getakteten Netzteilen Vorsicht vor hohen Gleichspannungen geboten?
5. Wieso ist die Packungsdichte bei primär getakteten gegenüber den sekundär getakteten Netzteilen kleiner?

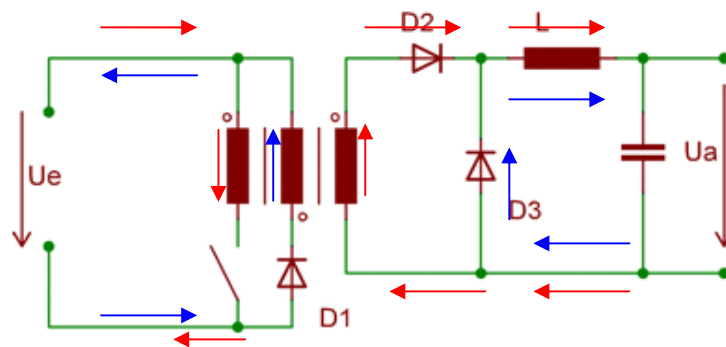
## Lösungen

### **Fragen zu den Prinzipschaltungen**

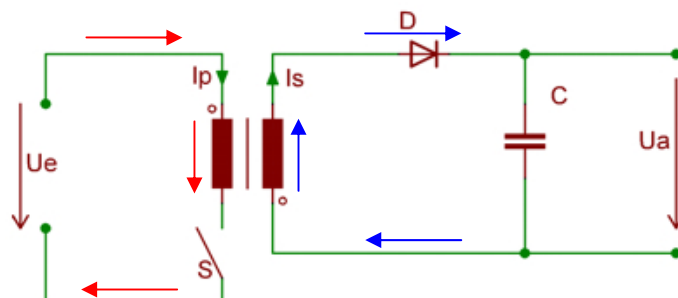
1. Siehe Seite 1
2. Spulen (Speicherdrosseln), die Kondensatoren helfen die Spannung zu stabilisieren.
3. Siehe Seite 3, Inverterschaltung, invertiert – kann grösser oder kleiner sein.
4. Step Down (Seite1)
5. Bei idealen Bauelementen ist der PWM Stromunabhängig. Egal welche Prinzipschaltung.
6. 
$$U_a = U_e \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_0} = U_e \cdot \frac{t_1}{T}$$
7. Falsch
8. Falsch
9. Richtig
10. Richtig
11. Falsch
12. Richtig (siehe Pfeile auf dem Schema, Seite 3)
13. Richtig

### **Fragen zu den Schaltnetzteilen**

1. Labornetzteile mit mehreren Ausgängen.
2. Es muss ein grosser 50Hz Niederfrequenztrafo verwendet werden.
3. Schalter offen = blau, Schalter geschlossen, = rot, Eintakt Durchflusswandler:



Sperrwandler



4. Weil die Netzspannung an Eingang untransformiert erst mal gleichgerichtet wird -> 325 V DC!
5. Der Trafo arbeitet mit einer viel höheren Frequenz (~ 20kHz bis 200kHz), dadurch kann man bei gleichem Wirkungsgrad den Trafo (= grösster Komponente im Schaltnetzteil) viel kleiner dimensionieren.