

# Schritt für Schritt zum Eintakt-Durchflusswandler



Um elektrische Energie zwischen zwei Gleichspannungskreisen zu übertragen, werden häufig Durchflusswandler verwendet. Zur galvanischen Trennung, beispielsweise in einem Schaltnetzteil, kommt ein Übertrager zum Einsatz. Hierfür das passende Bauteil zu finden, ist keine einfache Aufgabe. Hier erfahren Sie, wie es geht.

Thomas Brander\*

Viele Ingenieure scheuen sich vor der Entwicklung von isolierten DC/DC-Wandlern. Insbesondere das Design des Übertragers erscheint oft wie „Schwarze Magie“. Dieser Bericht zeigt Schritt für Schritt das Design des Übertragers eines Eintakt-Durchflusswandlers.

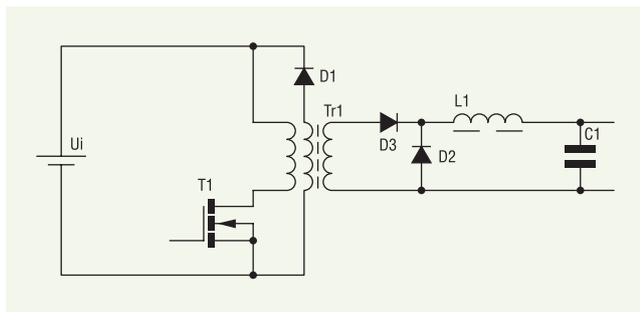
Den prinzipiellen Aufbau eines Eintakt-Durchflusswandlers zeigt Bild 1. Während beim Sperrwandler die Energie im Übertrager zwischengespeichert wird, bevor sie auf die Sekundärseite weitergegeben wird, findet beim Flusswandler eine direkte Energieübertragung von der Primär- zur Sekundärseite statt.

Zum besseren Verständnis ist es sinnvoll, die einzelnen Schaltzustände im eingeschwungenen System zu betrachten. Bei geschlossenem Schalter T1 liegt an den beiden Punkten des Trafoschaltbildes die gleiche Polarität vor, sodass die Diode D2 leitfähig ist. Gemäß der Arbeitsweise des Übertragers fließen auf der Primärseite der übersetzte Sekundärstrom und der linear ansteigende Magnetisierungsstrom. An der Sekundärwicklung liegt die übersetzte Eingangsspannung an. Mit

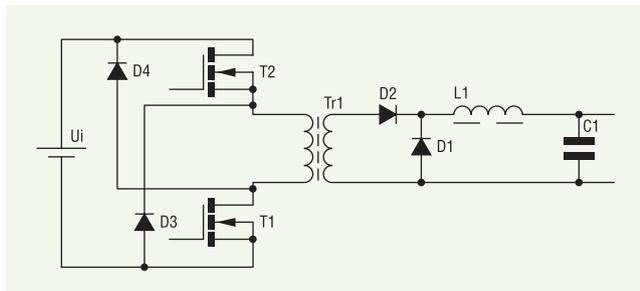
\*Dr. Thomas Brander ist Produktmanager für Übertrager bei Würth Elektronik.



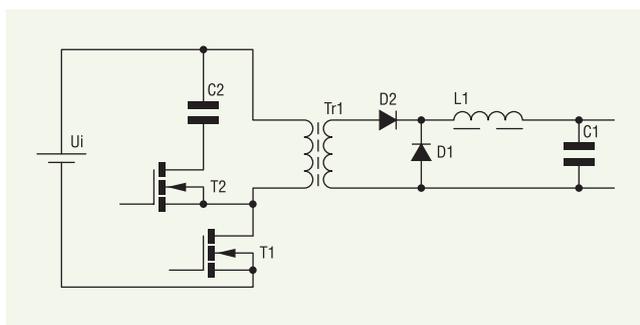
**COMPETENCE  
IN CAPACITORS**



**Bild 1:**  
Schaltbild eines  
Eintakt-Durchfluss-  
wandlers



**Bild 2:**  
Schaltbild eines  
Flusswandlers mit  
zwei Schaltern



**Bild 3:**  
Schaltbild eines  
Flusswandlers mit  
aktiver Klemmung

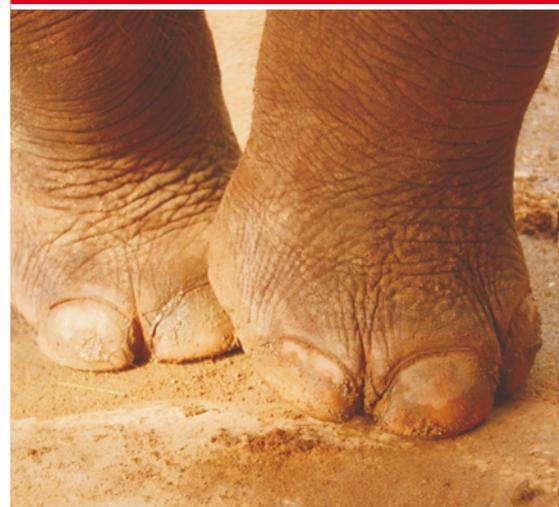
dieser wird die Drossel geladen. Es entsteht ein linear ansteigender Strom durch die Drossel wie auch durch die Last. Wird nun der Schalter T1 geöffnet, kann der Strom primär nicht weiterfließen. Die Polarität in den magnetischen Bauteilen dreht sich, sodass auf der Sekundärseite die Diode D2 sperrt. Die Drossel L1 gibt nun über die Diode D3 die gespeicherte Energie an die Last beziehungsweise den Ausgangskondensator weiter. Der Drosselstrom nimmt wieder linear ab.

## Wandler mit zwei Schaltern oder aktiver Klemmung

Der Magnetisierungsstrom hat den Kern des Übertragers aufmagnetisiert. Durch die Remanenz des Kernmaterials würde der Kern innerhalb weniger Schaltzyklen sättigen. Er muss also durch bestimmte Kniffe nach jeder Schaltperiode entmagnetisiert werden. Dafür gibt es verschiedene Techniken. Die einfachste Möglich-

keit ist in Bild 1 dargestellt. Über die Hilfswicklung wird der Magnetisierungsstrom in der Ausschaltphase über die Diode D1 zurückgespeist. Die Windungszahl für die Hilfswicklung ist meist die gleiche wie für die Primärwicklung. Daraus folgt, dass die Entmagnetisierung genauso lang dauert wie die Aufmagnetisierung. Der Wandler kann also maximal mit einem Tastverhältnis von 50% betrieben werden. Weitere Möglichkeiten zum Entmagnetisieren sind der Flusswandler mit zwei Schaltern (Two-Switch-Forward), wie in Bild 2 dargestellt, und der Flusswandler mit aktiver Klemmung (Active-Clamp-Forward) in Bild 3.

Beim Two-Switch-Forward entmagnetisiert der Kern über die beiden Dioden, sodass die Hilfswicklung entfallen kann. Beim Active-Clamp-Forward erzeugt der Kondensator am Übertrager eine höhere negative Spannung, sodass die Entmagnetisierung in kürzerer Zeit gelingt. Dadurch sind Tastverhältnisse größer als 50% möglich.



## Stark belastbar

WIMA GTO Kondensatoren sind speziell zur Bedämpfung von Spannungsspitzen an GTO-Thyristoren und IGBT entwickelte Bauelemente. Sie werden im Trockenverfahren mit einer metallisierten Polypropylenfolie gewickelt und mit selbstverlöschendem Polyurethan-Harz in einem zylindrischen Kunststoffbecher vergossen. Aufgrund ihrer Bauweise und des eingesetzten Polypropylen-Dielektrikums zeichnen sie sich aus durch:

- Hohe Impulsbelastbarkeit
- Sehr geringe Eigeninduktivität
- Ausgezeichnete mechanische Stabilität
- Hohe Schwing- und Stoßfestigkeit
- Hervorragende Selbstheilungseigenschaften
- Nahezu unbegrenzte Lebensdauer.

WIMA GTO Kondensatoren sind mit Kapazitätswerten von  $1,0 \mu\text{F}$  bis  $100 \mu\text{F}$  und mit Nennspannungen von 400 V- bis 1500 V- erhältlich.



## Hochkapazitive Keramikchipkondensatoren

- bis 100  $\mu\text{F}$  in X5R/X7R
- 0402 bis 2,2  $\mu\text{F}$
- 0603 bis 10  $\mu\text{F}$
- 0805 bis 47  $\mu\text{F}$
- 1206 bis 100  $\mu\text{F}$



## Chip Spulen

### Vielschichtchipspulen

- in 0402 bis 0805
- für Entstörung und HF
- Flacheste Bauform 0,55 mm

### Bewickelte und magnetisch geschirmte Spulen

#### LB/CB - Serie

- kleine Bauform/hoher Strom
- 0603 bis 1210
- 1  $\mu\text{H}$  bis 1 mH
- Strom bis 1,5 A

#### NR - Serie

- flache Bauformen bis 11 A
- sehr kostengünstig
- mechanisch robust



## SMD - Ferrite für EMV

### BK - Serie

- Bauform 0201 bis 0805
- in Array Technologie 1206
- Impedanz bis 2,5 kohm

### FBM - Serie

- Bauform 0603 bis 1812
- Dauerströme bis 6A
- Stromspitzen bis 100 A



... aktiv vertrieben von

**RM Components**  
Elektronische Bauelemente



O'Brien-Straße 5  
91126 Schwabach  
Telefon: 0 91 22/87 68-0

Fax: 0 91 22/87 68-76  
info@rm-components.de  
www.rm-components.de

# Passive Bauelemente

## Übertragerdesign und Festlegen der Induktivität

Wie bereits erwähnt, verhält sich der Flusswandler wie ein Drossel-Abwärtswandler mit vorgeschalteter Spannungsübersetzung. Daher ergibt sich für den Zusammenhang zwischen Übersetzungsverhältnis und Tastverhältnis folgender Zusammenhang (Gleichung 1):

$$\frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{U_0}{U_i} = v_T$$

Über die Trafo-Hauptformel lässt sich die Primär-Windungszahl für einen gewählten Kern festlegen:

$$\int U dt = n \cdot A_{Fe} \cdot B$$

Für die am Übertrager anliegenden Effektivströme ergibt sich (Gleichungen 3 und 4):

$$I_{\text{eff,sek}} = I_0 \cdot \sqrt{v_T}$$

$$I_{\text{eff,prim}} = I_0 \cdot \frac{N_2}{N_1} \sqrt{v_T}$$

Damit lassen sich die Drahtstärken für die Wicklungen und die Kupferverluste bestimmen. Je nach Entmagnetisierungsschaltkreis ist eventuell noch eine Hilfswicklung nötig. Da dort nur der Magnetisierungsstrom fließt, reicht ein relativ dünner Draht aus. Bei der Dimensionierung der Ausgangsdrossel geht man wie beim Drossel-Abwärtswandler vor. Es gilt der gleiche Zusammenhang zwischen Rippel, Frequenz und Induktivität (Gleichung 5):

$$L = \frac{U_0 \cdot (1 - v_{T\min})}{I_{pp\max} \cdot f}$$

Der Effektivstrom der Drossel ist gleich dem Ausgangsstrom, der Spitzenwert entspricht dem Ausgangsstrom plus dem halben Rippelstrom:

$$I_{\text{eff,L}} = I_0$$

$I_{\text{eff,L}}$ : Effektivstrom durch die Drossel

$$I_{\text{max}} = I_0 + \frac{I_{pp}}{2}$$

Anhand dieser Daten lässt sich nun eine Standardinduktivität auswählen.

## Eintakt-Durchflusswandler mit Synchrongleichrichtung

In Bild 4 ist ein Two-Switch-Forward-Converter dargestellt, der die folgenden Eigenschaften hat:

- Eingangsspannung:  $U_i = 36$  bis  $72$  V
- Ausgangsspannung:  $U_o = 5$  V
- Ausgangsstrom:  $I_o = 7$  A
- Schaltfrequenz:  $f = 150$  kHz
- Maximales Tastverhältnis:  $v_{T\max} = 50\%$

Der Wandler arbeitet nicht isoliert. Somit benötigt der Übertrager nur Funktionsisolierung, das heißt, er darf bei den anliegenden Spannungen nicht ausfallen. Der Durchflusswandler LT1681 steuert die beiden Primär-MOSFETs während der Treiber LTC1693 die Synchron-MOSFETs ansteuert. Die Primär-MOSFETs Q1 und Q2 werden gleichzeitig durchgeschaltet. In diesem Moment wird auch der MOSFET Q3 geschlossen, während Q4 geöffnet sein muss. In der Aus-Phase werden Q1 bis Q3 gleichzeitig „ausgeschaltet“ und Q4 geschlossen. Durch die Schalttopologie des Two-Switch-Forward ist der Duty-Cycle auf 50% beschränkt. Für den Übertrager verwenden wir ein Standardbauteil der Würth-Elektronik-Reihe WE-Flex. Aus Gleichung 1 ergibt sich für das Übersetzungsverhältnis:

$$\frac{N_1}{N_2} < \frac{U_{i\min}}{U_o} \cdot 0,5 = \frac{36V}{5V} \cdot 0,5 = 3,6$$

Mit dem WE-Flex lässt sich ein Übersetzungsverhältnis von 3:1 erzeugen. Für das maximale Tastverhältnis ergibt sich zu:

$$v_{T\max} = 3 \cdot \frac{5V}{36V} = 0,42$$

Auf der Primärseite wird der Übertrager dann von der Spannungs-Zeit-Fläche (Volt- $\mu$ -Sekunden-Produkt) angesteuert:

$$\int U dt = \frac{U_i \cdot v_T}{f} = \frac{36V \cdot 0,42}{150 \text{ kHz}} = 100 \mu\text{Vs}$$

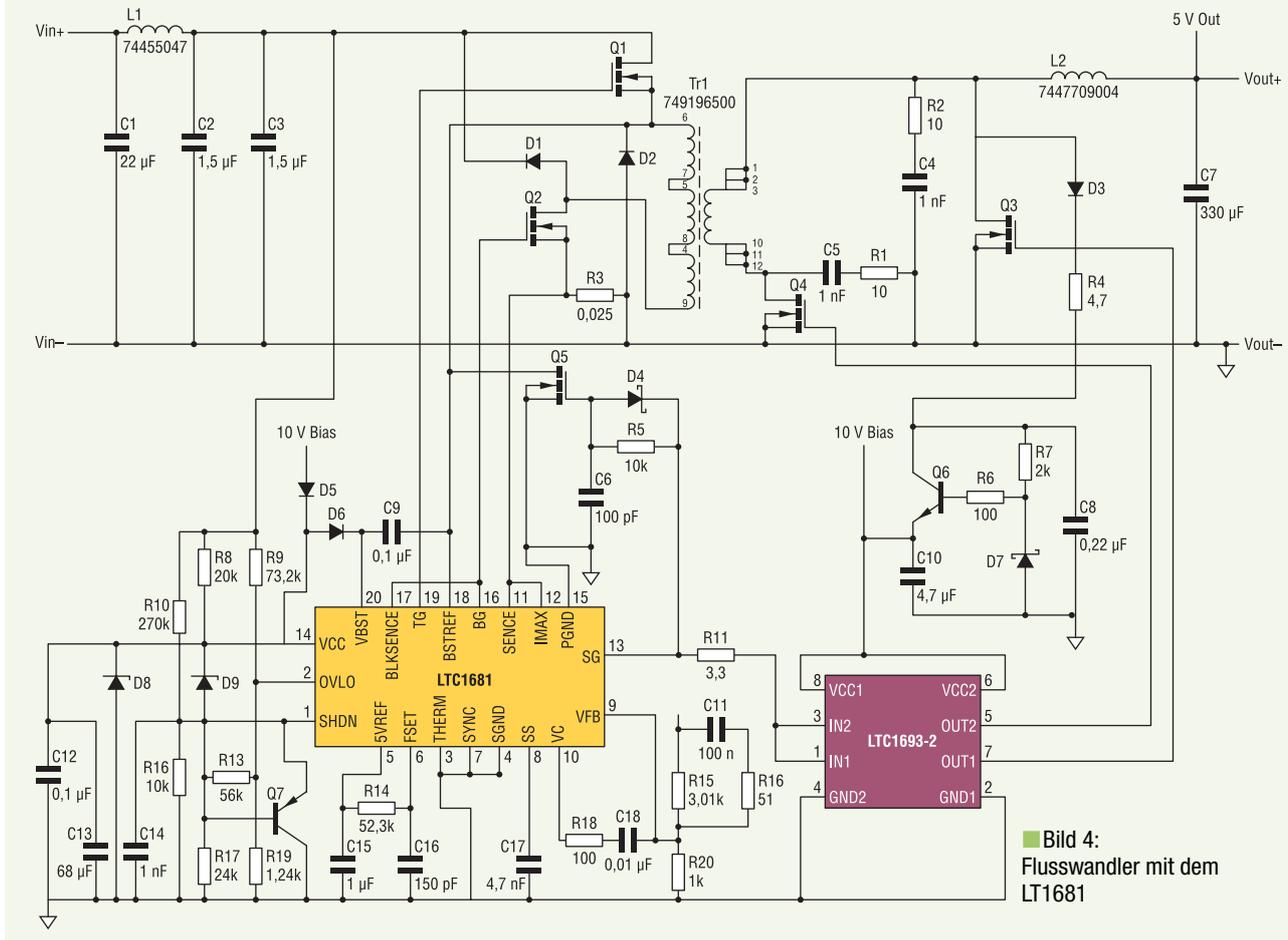
Das maximale Volt- $\mu$ -Sekunden-Produkt eines Übertragers hängt linear von der Primärwindungszahl ab, sodass man das in den Datenblättern der Flex-Übertrager angegebene Volt- $\mu$ -Sekunden-Produkt einer Wicklung mit der Anzahl der in Reihe geschalteten Wicklungen multiplizieren kann. Umgekehrt lässt sich ein Minimalwert für den Übertrager definieren, indem das oben für die Auswahl des Übertragers berechnete Volt- $\mu$ -Sekunden-Produkt durch die Anzahl der in Reihe geschalteten Wicklungen dividiert wird:

$$\text{Volt} - \mu \text{ sec}_{\text{base}} > \frac{100 \mu\text{Vs}}{3} = 33,3 \mu\text{Vs}$$

Als Effektivströme ergeben sich aus den Gleichungen 3 und 4:

$$I_{\text{effsek}} = I_0 \cdot \sqrt{v_T} = 7A \cdot \sqrt{0,42} = 4,54A$$

$$I_{\text{effprim}} = I_0 \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \sqrt{v_T} = 7A \cdot \frac{1}{3} \cdot \sqrt{0,42} = 1,51A$$



■ Bild 4:  
Flusswandler mit dem  
LT1681

## Hochohm-Widerstände sind unsere Stärke

Chip: 0402/.../4020 – bis 6000V/1T  
Bedrahtet: 3,2/.../50mm – bis 30kV/10T  
Niedriger TK und VCR – hohe Stabilität

### Widerstandsspezialitäten aus eigener Produktion

## SRT Resistor Technology GmbH

Aktiv bei passiven Bauelementen  
Internet: [www.srt-restech.de](http://www.srt-restech.de)  
Sensor + Test 2007: Stand 7-320

EIN GEMEINSCHAFTSUNTERNEHMEN DER VOGEL BUSINESS MEDIEN | VF MEDIENGRUPPE | dsb AG

# jetzt

Messeauftritt  
erfolgreich planen!

## DATA M

ADRESS DIREKT

InfoHotline: 0931 | 4170-440

Mit uns vermeiden  
Sie Langeweile an  
Ihrem Messestand.

Mit **persönlichen Messe-Einladungen** an  
potentielle Neukunden. Selektieren Sie aus  
über 1 Mio **TOP Industrie-Adressen.**

www.datam-services.de



## EMI/RFI LOW PASS FILTERS

SPECTRUM CONTROL

- > SURFACE MOUNT
- > SOLDER IN STYLE
- > THREADED STYLES
- > MIL QUALIFIED STYLES
- > HERMETIC SEALED STYLES

SPECTRUM CONTROL GMBH

D-91126 Schwabach, Hansastraße 6  
Phone: +49 (0) 9122/795-0  
Fax: +49 (0) 9122/795-58  
Internet: [spectrumcontrol.com](http://spectrumcontrol.com)  
E-Mail: [gmbh@spectrumcontrol.com](mailto:gmbh@spectrumcontrol.com)

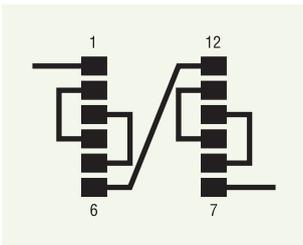


Bild 5: Layoutvorschlag für den Übertrager 749 196 500 in Bild 4

Zusammengefasst die wichtigsten Schritte: Das maximale Tastverhältnis richtet sich nach Art des Wandlers. Nach dieser Vorgabe und mit den gewünschten Ein- und Ausgangsspannungen lässt sich das maximale Tastverhältnis bestimmen, wonach sich im Wesentlichen die Wahl des Übertragers richtet. Daraus ergeben sich wiederum die Effektivströme. Mit den gewählten Wandlereigenschaften kann man nun die Ausgangsinduktivität und damit den Übertrager bestimmen. (am)

Würth Elektronik Tel. +49(0)7942 945328

<a href="http://www.elektronikpraxis.de">www.elektronikpraxis.de</a>	
Würth: Datenblätter WE-Flex-Übertrager (PDF)	
Würth: Trafo-Handbuch zum Bestellen	
Würth: Simulationssoftware für Übertrager	
Linear: Datenblatt zum LT1681 (PDF)	
Linear: Weitere Informationen zum LT1681 (PDF)	
Linear: Datenblatt zum LTC1693 (PDF)	
<b>InfoClick</b>	<b>209409</b>

Da primär drei Wicklungen in Reihe geschaltet sind, können die übrigen drei Wicklungen auf der Sekundärseite parallel geschaltet werden. Für den minimalen Nominalstrom einer Wicklung ergibt sich  $I_{Nbase} = 1,51 \text{ A}$ . Daraus leiten sich folgende Anforderungen an den Übertrager ab:

- Übertrager ohne Luftspalt
- V-µsecbase > 33,3 µVs
- $I_{Nbase} > 1,51 \text{ A}$

Anhand dieser Werte bietet sich der Übertrager WE-Flex 749 196 500 an.

Jetzt bleibt noch die Ausgangsdrossel L2 auszuwählen. Der Rippel soll bei maximaler Eingangsspannung maximal 100% des Ausgangsstroms betragen. Aus Gleichung 5 ergibt sich:

$$L_2 = \frac{5V \cdot (1 - 0,21)}{7A \cdot 150 \text{ kHz}} = 3,8 \mu\text{H}$$

Der Maximalstrom liegt bei 10,5 A. Geeignet ist beispielsweise die Speicherdrossel WE-PD 744 770 900 4 oder, falls es Probleme mit der Bauhöhe gibt, die Hochstrominduktivität 744 355 048 0 mit Flachdrahtwicklung aus der Reihe WE-HCA. Da sich der Rippel auch auf der Primärseite widerspiegelt, muss zur Auswahl der Eingangsdrossel dieser ebenfalls berücksichtigt werden. Die Drossel muss zudem für einen Effektivstrom von 1,5 A ausgelegt sein. Als Induktivität wird ebenfalls 4,7 µH gewählt. Hierfür eignet sich somit die Speicherdrossel 744 550 47 aus der WE-Flex-Reihe WE-PD4.

# Neue Kopiervorlagen:

Unsere Widerstände sind sehr beliebt.  
Nicht nur bei unseren Kunden...



Das muss an den hervorragenden Werten liegen. Denn wenn **Langzeitstabilität, kleinste Driften, höchste Leistung und Einsatz bei hohen Temperaturen** gefordert werden, sind unsere niederohmigen Widerstände erste Wahl. Unabhängig ob ISA-PLAN®- oder ISA-WELD®-Technologie: auch bei anspruchsvollsten Einsatzbedingungen erreichen wir einzigartige Messwerte. **Vertrauen Sie dem Original.**



**ISABELLENHÜTTE**

Telefon: +49 (27 71) 9 34-0  
vk.bauelemente@isabellenhuette.de  
www.isabellenhuette.de

Innovation aus Tradition