

DC-DC-Wandler

DC-DC-Wandler werden heute vielfach zur Stromversorgung elektronischer Komponenten eingesetzt. Der vorliegende Artikel beschreibt verschiedene Schaltungsvarianten und stellt eine erprobte Schaltung vor.

Allgemeines

Hinter dem Oberbegriff DC-DC-Wandler können sich recht unterschiedliche Schaltungen verbergen, da die Funktion einer Wandlung von Gleichspannungen auf recht verschiedene Weise durchführbar ist.

Im weitesten Sinne kann z.B. auch der verbreitete Spannungsregler 78xx zu den DC-DC-Wandlern zählen. Ja selbst ein Widerstandsteiler kann die Funktion einer DC-DC-Wandlung übernehmen, denn auch damit ist es möglich, aus z.B. 12 V eine im Prinzip beliebige Spannung im Bereich von 0-12 V zu erzeugen.

Nun ist mit DC-DC-Wandlung aber nicht allein das „Herunterteilen“ einer zuvor hohen DC-Spannung in eine kleinere Ausgangsspannung gemeint, sondern auch das „Hochtransformieren“, d.h. aus einer kleinen Eingangsspannung wird eine höhere Ausgangsspannung generiert.

Letztgenannte Funktion ist mit linear arbeitenden Spannungsreglern oder aus-

schließlich mit passiven Komponenten nicht mehr erfüllbar. Stellt man die zusätzliche Forderung der möglichst verlustarmen DC-DC-Wandlung auf, so wird der Kreis der dafür in Frage kommenden Schaltungen recht weit eingeeengt.

Im engeren Sinne werden als DC-DC-Wandler in der modernen Elektronik heute aktive Module bezeichnet, die eine Eingangs-Gleichspannung mit einem bestimmten Toleranzbereich in eine stabile Ausgangsgleichspannung umsetzen, die höher oder auch niedriger als die Eingangsspannung sein kann. Dabei wird auf einen möglichst hohen Wirkungsgrad, d.h. geringe Erwärmung und damit geringe Verluste, Wert gelegt.

DC-DC-Wandler werden vielfach als fertige Module in einem Leistungsbereich von einigen Watt bis hin zu mehreren hundert Watt Abgabeleistung angeboten. Alle diese Wandler arbeiten nach dem Prinzip des Schaltreglers mit Wirkungsgraden bis zu 95%. Diese ausgezeichneten Werte ermöglichen wiederum äußerst kompakte Abmessungen.

Hierbei spricht man von einer hohen Leistungsdichte. Sie gibt die abgegebene Leistung, bezogen auf die Baugröße des Wandlers, an.

Neben der reinen DC-Umsetzung verfügen einige DC-DC-Wandler über eine galvanische Trennung zwischen Ein- und Ausgangsspannung. Schaltungstechnisch unterscheidet man zwischen dem primär getakteten und dem sekundär getakteten Schaltregler. Auf beide Varianten gehen wir nachfolgend näher ein.

Sekundär getakteter Schaltregler

Die einfachste Schaltung, die zur Gleichspannungswandlung von kleinen bis mittleren Leistungen herangezogen werden kann, ist der sekundär getaktete Schaltregler.

Abbildung 1 zeigt die Grundschialtung eines Vertreters diesen Typs. Es handelt sich hierbei um einen sogenannten Abwärts-Wandler oder auch Step-Down-Wandler.

Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, besteht

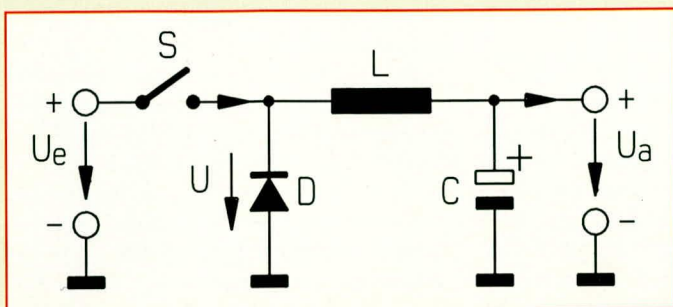


Bild 1:
Grundschaltung
des sekundär
getakteten
Schaltreglers

die gesamte Leistungsstufe aus nur vier Grundelementen, wobei man im Prinzip den Leistungsschalter S mit der Diode D zu einem Leistungsschalter zusammenfassen könnte. So benötigt man nur noch drei Grundbauelemente.

Der Leistungsschalter S wird periodisch geschaltet. In der Schaltphase, in der der Schalter geschlossen ist, fließt über die Drossel L ein Strom zum Ausgangskondensator C. Wird nun der Schalter geöffnet, kann die Drossel L den Stromfluß aufrechterhalten, da in dieser Betriebsphase die Diode D1 leitet ist.

Die Ausgangsspannung entspricht dem arithmetischen Mittelwert der durch den Schalter S hervorgerufenen Spannung U über der Diode D1. Der mathematische Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung ergibt sich nach der Formel:

$$U_a = \frac{t_{\text{ein}}}{t_{\text{ein}} + t_{\text{aus}}} \cdot U_e$$

Die Ausgangsspannung des Abwärtswandlers nach Abbildung 1 wird also durch das Tastverhältnis, mit dem der Schalter S geschaltet wird, bestimmt. Die maximale Ausgangsspannung ergibt sich, wenn der Schalter fest in der oberen Stellung verbleibt. In diesem Fall sind Ausgangs- und Eingangsspannung identisch ($U_a = U_e$).

Durch „Umlegen“ der Grundelemente Schalter S, Drossel L, Diode D und Kondensator C können auf recht einfache Weise auch Aufwärtswandler und invertierende Wandler aufgebaut werden. Eine galvanische Trennung zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung ist jedoch mit diesen Schaltungsvarianten nicht realisierbar.

Primär getakteter Schaltregler

Bei den primär getakteten Schaltreglern unterscheiden wir zwischen den Eintakt- und den Gegentaktwandlern. Der Eintaktwandler benötigt lediglich einen Leistungsschalter. Aufgrund des hiermit erreichbaren Wirkungsgrades ist der Eintaktwandler jedoch nur bis zu einer Leistung von ca. 100 W sinnvoll einsetzbar.

Abbildung 2 zeigt die Schaltung eines Gegentaktwandlers in Halbbrückenschaltung. Charakterisierend für den Gegen-

taktwandler sind die zwei Leistungsschalter S1 und S2, wohingegen der Hochfrequenztransformator TR1 bei allen primär getakteten Schaltreglern vorhanden ist. Ob es sich dabei um einen Aufwärts- oder Abwärtswandler handelt, wird durch das Übersetzungsverhältnis des HF-Transformators bestimmt.

Durch den HF-Transformator ist zusätzlich auf recht einfache Weise eine galvanische Trennung zwischen Ein- und Ausgang erreichbar. Das ELV-Schaltnetzteil SPS 7000 arbeitet nach dem Prinzip des Gegentaktwandlers in Halbbrückenschaltung, wie es in Abbildung 2 zu sehen ist.

Werden primärseitig vier Leistungsschalter eingesetzt, spricht man von einer Vollbrückenschaltung. Diese wird im 600 W-Schaltnetzteil SPS 9000 von ELV eingesetzt. Auf die genaue Funktionsweise dieser doch recht komplexen Schaltungen gehen wir im Rahmen dieses Artikels nicht näher ein. Für diejenigen Leser, die hier tiefer einsteigen möchten, verweisen wir auf die entsprechenden Artikel im „ELV-Journal“ 2/91 (SPS 7000) und 4/93 (SPS 9000). In beiden Artikeln ist das zugrundeliegende Schaltungsprinzip detailliert beschrieben.

Für das praktische Beispiel eines DC-DC-Wandlers haben wir einen sekundär getakteten Abwärtswandler gewählt, wie wir ihn vom Prinzip in Abbildung 1 kennengelernt haben. Der Vorteil dieser Schaltung liegt grundsätzlich in den einfachen Bauelementen, die hier Verwendung finden. So werden Speicherdrosseln in großer Vielfalt im Handel angeboten. Sie weisen

Induktivitäten von einigen μH bis hin zu mehreren mH auf bei Strombelastungen von ca. 0,1 A bis zu 60 A.

Bei Hochfrequenztransformatoren sieht es hingegen anders aus. In der Regel muß hier für jede Anwendung ein spezieller Transformator angefertigt werden.

Um neben der Leistungsstufe auch die einzelnen zusätzlichen Schaltungselemente wie Oszillator, Pulsweitenmodulator, Regler usw. eines kompletten DC-DC-Wandlers optimal erläutern zu können, wurde die gesamte vorliegende Schaltung mit konventionellen Bauelementen, d.h. ohne die Verwendung eines fertigen Schaltreglerbausteins realisiert. Hierdurch besteht die Möglichkeit, die theoretischen Grundlagen anhand verschiedener Messungen an den wichtigen Funktionseinheiten dieses DC-DC-Wandlers praktisch nachzuvollziehen.

In Tabelle 1 sind die technischen Daten dieses Step-Down-Wandlers zusammengefaßt.

**Tabelle 1: Technische Daten
Step-Down-Wandler**

Eingangsspannung:	12 - 28 V
Ausgangsspannung:	5- 20 V
Ausgangsstrom:	max. 2 A
Ausgangswelligkeit: \leq	100 mV bei 2 A
Schaltfrequenz:	25 kHz
Sonstiges:	Überspannungs- abschaltung bei $U_{\text{ein}} \geq 28 \text{ V}$

Schaltung des Abwärts-Wandlers

Abbildung 3 zeigt die detaillierte Schaltung des Step-Down-Wandlers. Die Schaltfrequenz (Taktfrequenz) des Wandlers wird durch den Oszillator bestimmt, der mit IC 17 und Zusatzbeschaltung aufgebaut ist. Durch die Beschaltung mit den Widerständen R 4, R 5 und R 8 arbeitet der Operationsverstärker IC 1 A, bezogen auf den

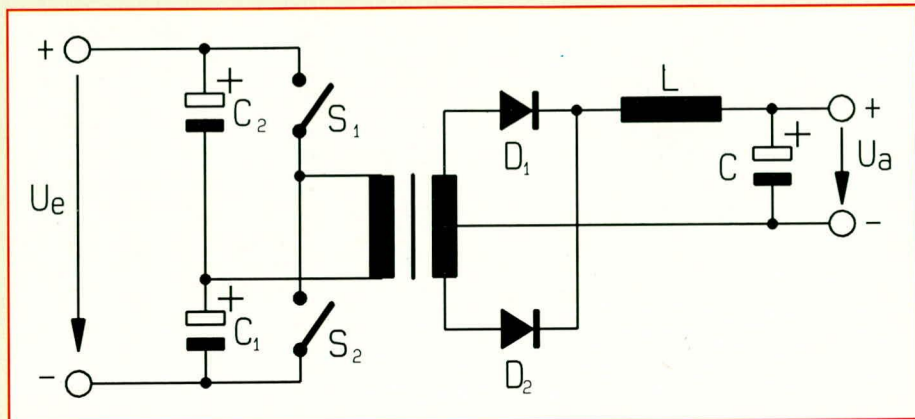


Bild 2: Schaltungsprinzip eines Gegentaktwandlers

invertierenden Eingang, als Inverter mit Schmitt-Trigger-Funktion. Die weitere Beschaltung mit dem Widerstand R 10 im Gegenkoppelzweig in Verbindung mit C 2 erweitert diese Konstruktion zu einem Multivibrator.

Die Frequenz dieses Multivibrators wird durch C 2 und R 10 in Verbindung mit der Schalthysterese des Schmitt-Triggers festgelegt. Bei der gewählten Dimensionierung liegt die Taktfrequenz des DC-DC-Wandlers bei ca. 25 kHz und damit deutlich über der Hörschwelle des Menschen. Hierdurch werden eventuell auftretende mechanische Schwingungen an der Drossel nicht mehr als störend empfunden.

Das 25 kHz Rechtecksignal gelangt nun über den Widerstand R 9 in Verbindung mit dem Kondensator C 3 auf den nicht invertierenden Eingang des Komparators IC 2 A. Die Grenzfrequenz des Tiefpasses R 9/C 3 liegt bei der angegebenen Dimensionierung deutlich über 25 kHz, wodurch am Komparatoringang ein Sägezahn-Signal ansteht.

Die Schaltschwelle des Komparators IC 2 A wird durch die Gleichspannung am invertierenden Eingang (Pin 2) bestimmt. Je nach Gleichspannungspiegel an Pin 2 in Verbindung mit dem 25 kHz Sägezahn-Signal an Pin 3 ergibt sich am Ausgang des

IC 2 A ein pulswiden-moduliertes Rechteck-Signal.

IC 2 A bildet in Verbindung mit der angesprochenen externen Beschaltung daher den Pulsweitenmodulator, der über die Widerstände R 17, 18 direkt den Leistungstransistor T 1 ansteuert. Dieser Transistor übernimmt die Funktion des Schalters S aus Abbildung 1.

Die Ringkerdrossel L 1, die Diode D 5 sowie der Ladeelko C 7 entsprechen den

den Regler für die Stabilisierung der Ausgangsspannung.

Die Sollspannung wird dem Regler an seinem nicht-invertierenden Eingang (Pin 5) zugeführt und ist mit Hilfe des Trimmers R 7 in Verbindung mit dem Festwiderstand R 11 in weiten Grenzen einstellbar.

Damit der Abwärts-Wandler auch bei schwankender Eingangsspannung eine stabile Ausgangsspannung liefert, ist es erforderlich, die Sollspannung (Referenz) zu stabilisieren. Diese Aufgabe übernimmt die Z-Diode D 1 in Verbindung mit dem Vorwiderstand R 3. C 1 dient in diesem Zusammenhang zur Stör-
unterdrückung.

Der linear arbeitende Regler IC 1 B mit Zusatzbeschaltung vergleicht die Eingangsgrößen (Sollspannung an Pin 5 und Istspannung an Pin 6) miteinander und steuert über seinen Ausgang das Stellglied (Pulsweitenmodulator um IC 2 A mit angeschlossener Endstufe).

Durch den Kondensator C 4 im Gegenkoppelzweig des Regler-OPs in Verbindung mit dem Eingangsspannungsteiler R 19/20 wird der Regler stabilisiert.

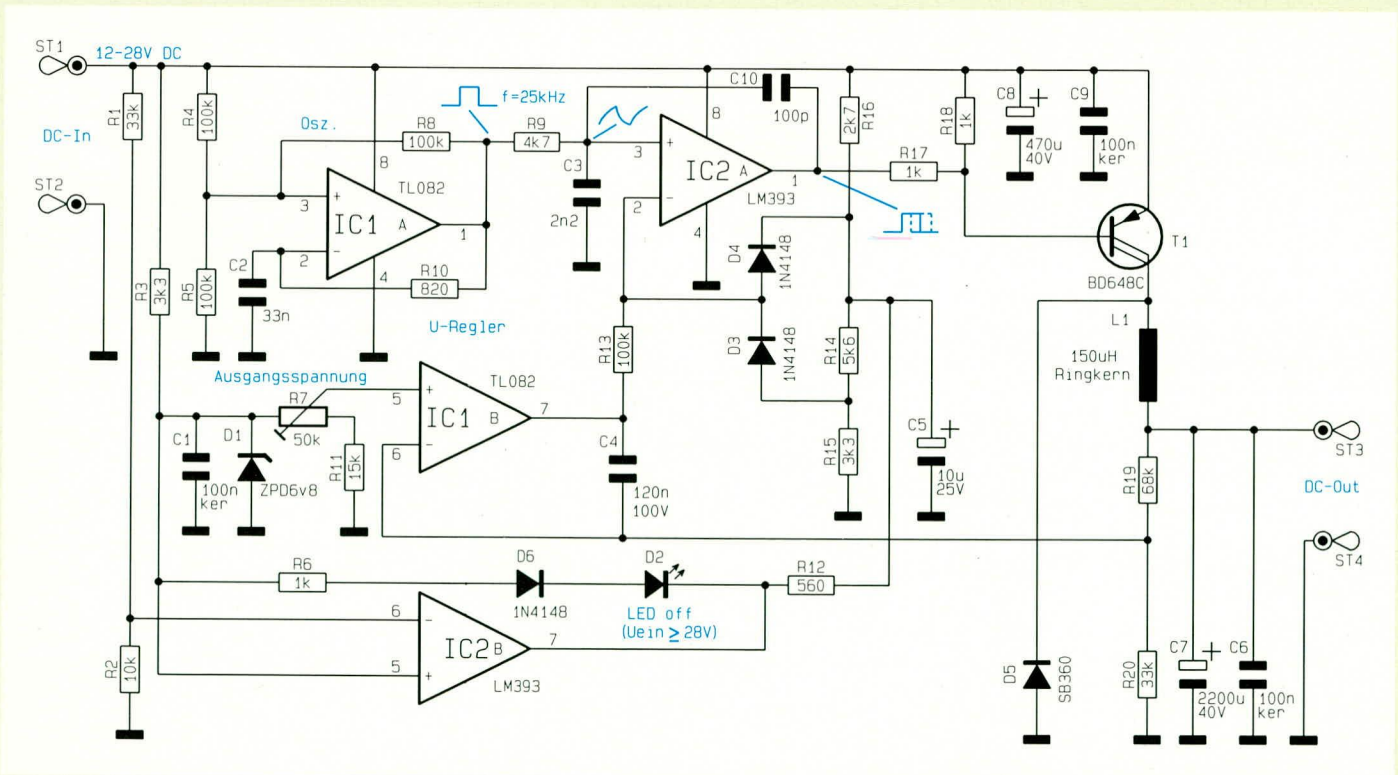
Um eine einwandfreie Funktion der Regelschaltung gewährleisten zu können, muß die vom Regler kommende Steuergröße auf einen maximalen und einen minimalen Wert begrenzt werden, so daß am Ausgang

Step-Down-Wandlung mit konventionellen Bauelementen bei hohem Wirkungsgrad

übrigen aus Abbildung 1 bekannten Bauelementen des Abwärtswandlers. An den Lötstiften ST 3 und ST 4 steht die Ausgangsspannung des Wandlers zur Verfügung. Der zusätzlich parallel zum Ausgang liegende Kondensator C 6 (100 nF ker) dient zur Unterdrückung hochfrequenter Störsignale.

Über dem Widerstandsteiler R 19, 20 wird die Ausgangsspannung zur Steuerung des Wandlers zurückgekoppelt und auf den invertierenden Eingang des IC 1 B geführt. Dieser Schaltungsteil bildet

Bild 3: Schaltbild des mit konventionellen Bauteilen aufgebauten Step-Down-Wandlers



des Pulsweitenmodulators eine minimale und eine maximale Pulsweite eingehalten wird. Durch den Widerstandsteiler R14 bis R16 in Verbindung mit den Dioden D3 und D4 sowie dem Längswiderstand R13 wird diese Steuergrößenbegrenzung erreicht. D3 und D4 dienen der Entkoppelung, während der Kondensator C5 für die erforderliche Störunterdrückung sorgt.

Mit dem Komparator IC 2 B ist eine Überspannungsabschaltung realisiert zur Abschaltung der Endstufe, wenn die Eingangsspannung den kritischen Wert von 28 V überschreitet. Hierzu wird als Referenzspannung die auf ca. 6,8 V stabilisierte Spannung der Z-Diode D 1 herangezogen und auf den nicht-invertierenden Eingang (Pin 5) des Komparators gegeben. Die zu überwachende Eingangsspannung gelangt über den Spannungsteiler R1, R2 auf den invertierenden Eingang des Komparators. Sobald nun der invertierende Eingang ein höheres Potential als der nicht-invertierende Eingang führt, wechselt der

dieses Betriebszustandes dient die im Mittelkoppelzweig des IC 2 B eingesetzte Leuchtdiode D 2, wobei hierdurch gleichzeitig in Verbindung mit R 6 eine definierte Schalthysterese erzeugt wird.

Mit dem Trimmer R 7 erfolgt die Einstellung der Ausgangsspannung. Je nach Eingangsspannung (12V bis 28 V) kann die Ausgangsspannung von minimal 5 V bis maximal 20 V eingestellt werden. Dabei ist zu beachten, daß aufgrund des Schaltungsprinzips (Abwärts-Wandler) die Ausgangsspannung grundsätzlich kleiner sein muß als die Eingangsspannung. Der maximale Ausgangsstrom wird durch die Ladedrossel L 1 begrenzt und sollte 2 A nicht überschreiten.

Nachbau

Für den Aufbau des Abwärts-Wandlers wird eine 102 mm x 54 mm messende, einseitig ausgeführte Leiterplatte verwendet.

Der Leistungstransistor T 1 ist liegend zu montieren, wobei zur entsprechenden Kühlung ein U-Kühlkörper eingesetzt wird. Es empfiehlt sich, zuerst die mechanische Befestigung mit der beiliegenden M3-Schraube und Mutter vorzunehmen, um anschließend die elektrische Verbindung durch das Verlöten der Anschlußbeine vorzunehmen.

Die Siebdrossel L 1 wird stehend montiert, wie auf dem Leiterplattenfoto zu sehen ist.

Nach Fertigstellung der Schaltung empfiehlt es sich, vor der ersten Inbetriebnahme nochmals eine sorgfältige Prüfung auf korrekte Bestückung der Komponenten vorzunehmen. Nun können Sie die Eingangsspannung anlegen und anhand der Schaltungsbeschreibung die entsprechenden Meßpunkte überprüfen.

Aufgrund der einfachen und recht preiswerten Ausführung dieses Wandlers bietet sich der Einsatz für eine Vielzahl von Aufgaben im Bereich der Elektronik an. **ELV**

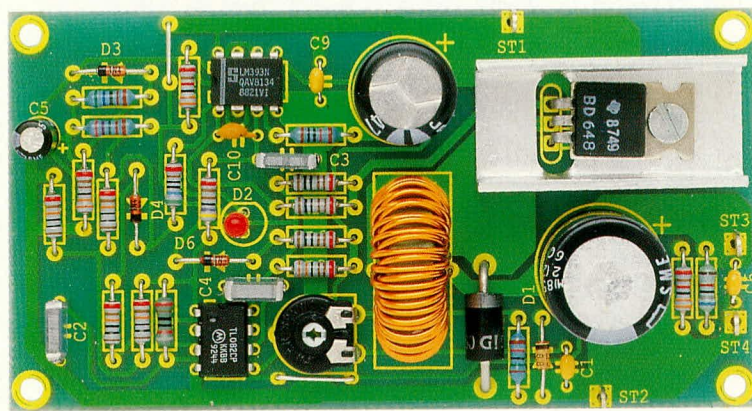
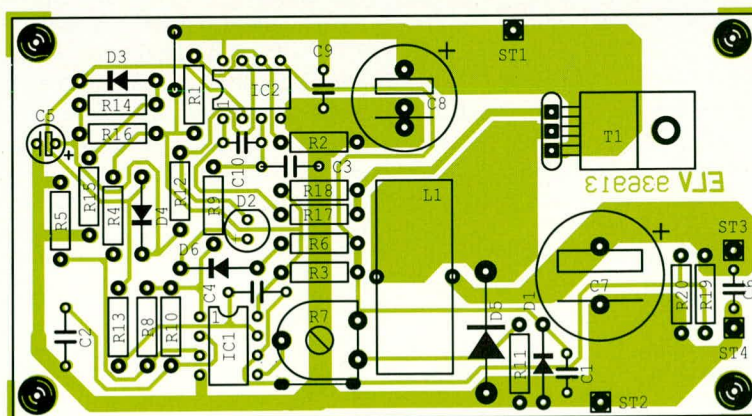


Foto des fertig aufgebauten Step-Down-Wandlers



Bestückungsplan der 102 x 54 mm messenden, einseitig ausgeführten Leiterplatte

Komparatorausgang von High-Pegel nach Low- Pegel.

Über den Widerstand R 12 und die Diode D 4 wird in diesem Betriebsfall der Eingang (Pin 2) des IC 2 A auf ca. 1 V heruntergezogen, wodurch die Endstufe um T 1 sicher gesperrt ist. Zur Anzeige

In gewohnter Weise sind zunächst die niedrigen Bauelemente zu bestücken. Hierbei geht man wie üblich nach dem Bestückungsplan und der Stückliste vor. Sind alle Widerstände, Dioden und Drahtbrücken eingebaut, folgen die höheren Bauelemente wie Elkos, Ladedrossel usw.

Stückliste: DC/DC-Wandler

Widerstände:

560Ω	R12
820Ω	R10
1kΩ	R6, R17, R18
2,7kΩ	R16
3,3kΩ	R3, R15
4,7kΩ	R9
5,6kΩ	R14
10kΩ	R2
12kΩ	R11
33kΩ	R1, R20
68kΩ	R19
100kΩ	R4, R5, R8, R13
PT10, liegend, 50kΩ	R7

Kondensatoren:

100pF	C10
2,2nF	C2, C3
100nF/ker	C1, C6, C9
120nF	C4
10µF/25V	C5
470µF/40V	C8
2200µF/16V	C7

Halbleiter:

TL082	IC1
LM393	IC2
BD648C	T1
1N4148	D3, D4, D6
SB360	D5
ZPD6,8V	D1
LED, 3mm, rot	D2

Sonstiges:

- 1 Ringkernspule, 150µH
- 4 Lötstifte mit Lötöse
- 1 U-Kühlkörper
- 1 Zylinderkopfschraube, M 3 x 8 mm
- 1 M3-Mutter