

Gleichrichter/ Wechselrichter

(v. A. Reichert)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Einleitung	3
2. Physikalische Grundlagen	4
2.1 Theorie	4
2.1.1 Gleichrichter	4
2.1.2 Wechselrichter	8
2.2 Versuche	13
2.2.1 Einweggleichrichter	13
2.2.2 Zweiweggleichrichter	15
2.2.3 Kaskadengleichrichter	18
2.2.4 Reedwechselrichter	21
2.2.5 Thyristorwechselrichter	24
2.2.6 H-Brückenwechselrichter	27
2.2.7 Colpittswechselrichter	30
3. Anwendungen	34
3.1 Netzteil	34
3.2 Trickschaltung mit Dioden	35
3.3 Autowechselrichter	37
4. Literatur	42

1. Einleitung

Wechsel- und Gleichstrom sind zwei Stromarten mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Wechselstrom erzeugt man mit Generatoren, Gleichstrom mit Batterien oder Solarzellen. Normale Glühlampen, Energiesparlampen und Motoren können prinzipiell mit beiden Stromarten betrieben werden, elektronische Geräte und moderne Leuchtmittel mit LED's dagegen nur mit Gleichstrom. Als vor rund 100 Jahren Edison, Westinghouse und Tesla eine flächendeckende Stromversorgung aufbauen wollten, entbrannte ein regelrechter Stromkrieg um beide Stromarten. Edison favorisierte den Gleichstrom, Westinghouse und Tesla den Wechselstrom. Dass sich dabei der Wechselstrom durchsetzte, liegt daran, dass er sich transformieren lässt und daher verlustärmer über größere Strecken transportiert werden kann. Heute sind in allen Staaten Wechselstromnetze in Betrieb. Aber der Gleichstrom holt in letzter Zeit auf, da die Fotovoltaik und die LED-Beleuchtungstechnik immer mehr an Bedeutung gewinnen, ganz zu schweigen von der zunehmenden Verbreitung elektronischer Geräte. Außerdem zeigte das Wechselstromnetz im Laufe der Zeit Schwächen. Sind die Leitungen mehrere tausend Kilometer lang, so steigen die Verluste überproportional an, da sie wie Antennen wirken und damit Energie in Form elektromagnetischer Wellen abstrahlen. Bei Gleichstrom treten dagegen nur Ohmsche Verluste auf, unabhängig von der Leitungslänge. Daher wird Strom heute über größere Entfernungen, z.B. in China zwischen den Kraftwerken im Westen und den Industriezentren im Osten, zwischen Skandinavien und Mitteleuropa und in Zukunft auch zwischen der Sahara und Europa, als Gleichstrom übertragen. HGÜ, Hochspannungsgleichstromübertragung heißt das Zauberwort. Dabei wird der Wechselstrom aus den Kraftwerken zunächst in Gleichstrom umgewandelt, dann durch die langen Leitungen geschickt und vor Ort wieder in Wechselstrom zurückverwandelt, weil die Stromnetze in den Haushalten für Wechselstrom ausgelegt sind. Geräte, die Wechselstrom in Gleichstrom verwandeln, heißen Gleichrichter. Wechselrichter dagegen erzeugen aus Gleichstrom Wechselstrom. Ihre Bedeutung nimmt immer mehr zu, vor allem auch, weil die Solarzellen in Zukunft erheblich zur Stromversorgung beitragen sollen. Grund genug, sich auch in der Schule mit der Thematik zu befassen.

Stolberg, im April 2010

2. Physikalische Grundlagen

2.1 Theorie

2.1.1 Gleichrichter

Gleichrichter wandeln Wechselspannung (s. Abb.1) in Gleichspannung um. Das Herzstück jedes Gleichrichters ist ein Bauteil, das Strom nur in einer Richtung durchlässt, also eine der beiden Halbwellen der Wechselspannung sperrt. In modernen Gleichrichtern verwendet man fast ausschließlich Halbleiterdioden. Sie haben die Röhrengleichrichter praktisch vollständig verdrängt. Die einfachste denkbare Schaltung für einen solchen Gleichrichter zeigt Abb.2.

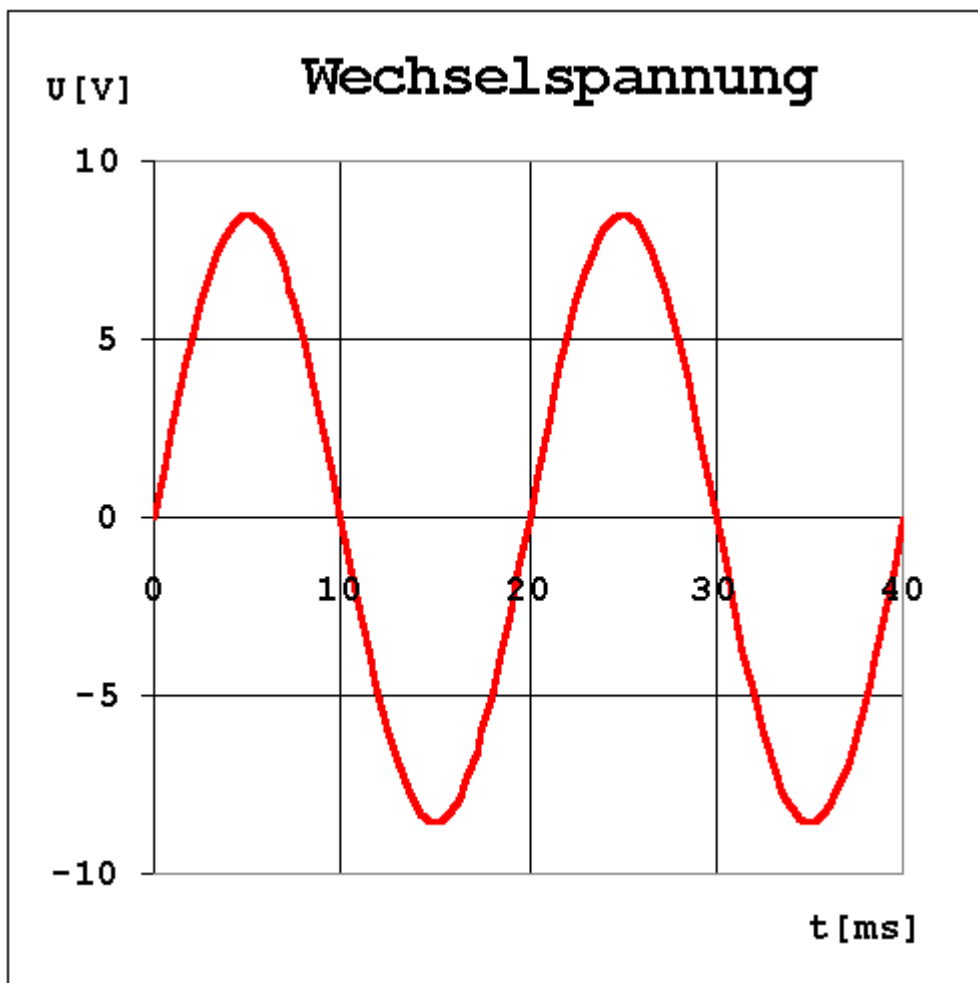


Abb.1: Sinuswechselspannung

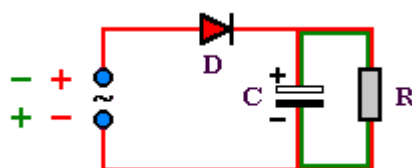


Abb.2: Einweggleichrichter

Man spricht von einem Einweggleichrichter, da nur eine Halbwelle der Wechselspannung ausgenutzt wird. Liegt am oberen Pol der Wechselspannungsquelle der Pluspol an, in Abb.2 rot eingezeichnet, so leitet die Diode D , im anderen Falle sperrt sie. Am Verbraucherwiderstand R entsteht eine pulsierende Gleichspannung (s. Abb.3), die durch den Kondensator C mehr oder weniger geglättet wird. Leitet die Diode, so lädt sich der Kondensator auf und durch den Lastwiderstand fließt Strom. Sperrt die Diode, so entlädt sich der Kondensator über den Widerstand R und hält so den Strom durch den Widerstand mehr oder weniger aufrecht. Die Gleichspannung ist je nach Größe des Verbraucherwiderstandes R und des Kondensators C mehr oder weniger konstant. Hat der Verbraucher einen sehr hohen Innenwiderstand, fließt also nur wenig Strom, so besitzt die Gleichspannung einen Wert, der der Amplitude der Wechselspannung entspricht, in Abb.3 als grüne Linie eingezeichnet. In der Praxis ist sie fast immer kleiner wie in Kapitel 2.2.1 experimentell gezeigt wird. Einweggleichrichter werden häufig als Demodulatoren in Empfangsschaltungen der Kommunikationstechnik eingesetzt. Darin wird die benötigte Leistung durch einen nachgeschalteten Verstärker erreicht (vgl. A. Reichert: Radiosender/Radioempfänger).

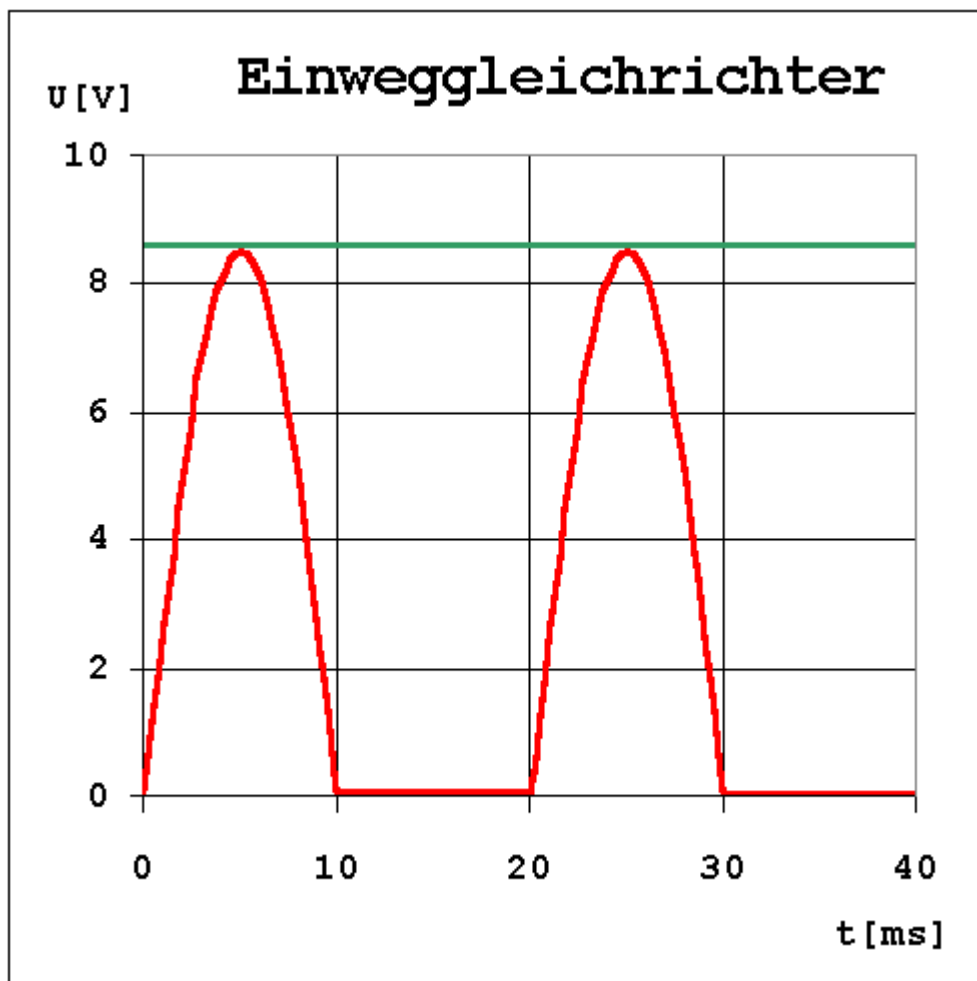


Abb.3: Ausgangsspannung am Einweggleichrichter

Moderne Gleichrichter nutzen durch geschickten Einsatz von vier Dioden beide Halbwellen aus. So erhält man einen Zweiweggleichrichter. Abb.4 zeigt den grundsätzlichen Aufbau.

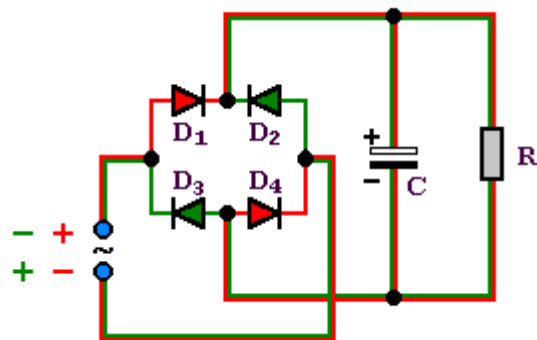


Abb.4: Zweiweggleichrichter

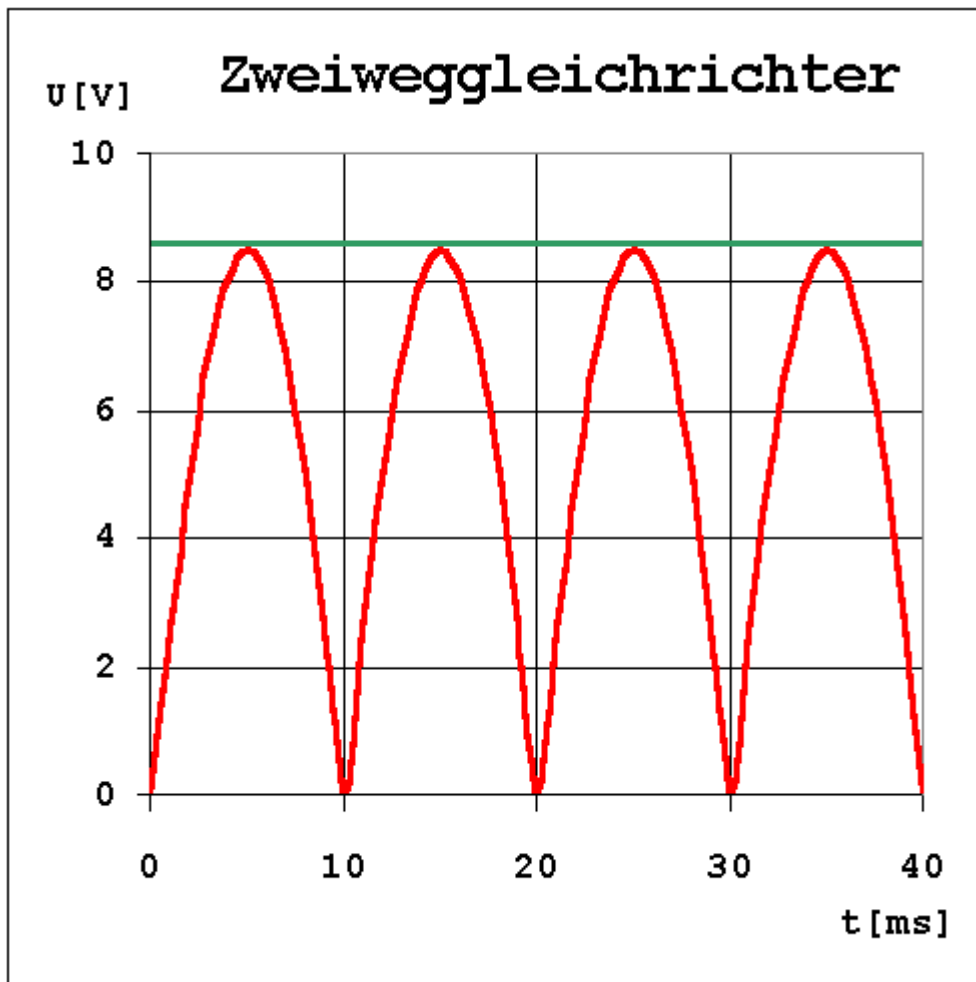


Abb.5: Ausgangsspannung am Zweiweggleichrichter

Liegt am oberen Pol der Wechselspannungsquelle der Pluspol an, so leiten die in Abb.4 rot eingezeichneten Dioden, im anderen Fall die grün gekennzeichneten. Am Ausgang entsteht ohne Kondensator eine pulsierende Gleichspannung gemäß Abb.5, die mit Hilfe eines Kondensators mehr oder weniger geglättet werden kann. Da die Wechselspannungsquelle in beiden Halbwellen Strom

liefert, kann der Kondensator bei gleicher Belastung kleiner ausgelegt werden wie beim Einweggleichrichter. Die maximal abgreifbare Gleichspannung entspricht theoretisch auch in diesem Falle der Amplitude der Wechselspannung, in Abb.5 als grüne Linie zu erkennen. In der Realität ist sie stets kleiner, wie in Kapitel 2.2.2 experimentell demonstriert wird. Zweiweggleichrichter finden Verwendung in vielen Netzteilen für elektronische Kleingeräte.

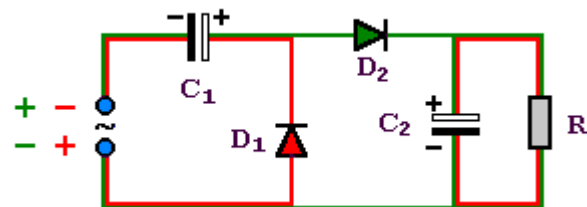


Abb.6: Kaskadengleichrichter

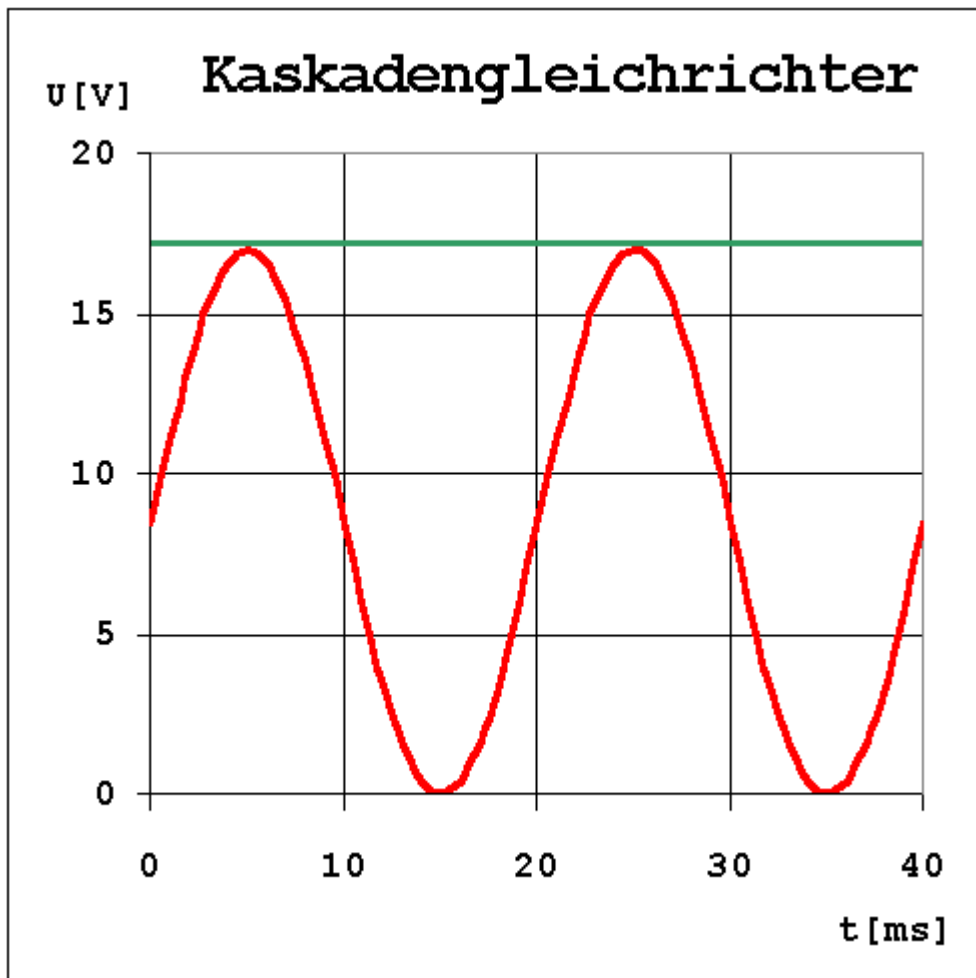


Abb.7: Ausgangsspannung Kaskadengleichrichter

Kombiniert man zwei Dioden und zwei Kondensatoren in besonderer Weise, so erhält man einen Kaskadengleichrichter. Bei ihm ist die Ausgangsspannung größer als die Amplitude der eingespeisten Wechselspannung, im Idealfall gleich der doppelten

Amplitude. Abb.6 zeigt den Schaltplan, Abb.7 die Ausgangsspannung. Besitzt die Wechselspannung die in Abb.6 rot eingezeichnete Polung, so leitet die Diode D_1 und der Kondensator C_1 lädt sich auf die Amplitude der Wechselspannung auf. Diode D_2 sperrt. Kondensator C_2 hält den Strom durch den Widerstand R aufrecht. In der zweiten Halbwelle ist die Wechselspannung anders herum gepolt. Diode D_1 sperrt, dafür leitet Diode D_2 . Der Kondensator C_2 wird auf die doppelte Amplitude der Wechselspannung aufgeladen, da der Kondensator C_1 als zusätzliche Gleichspannungsquelle wirkt, die mit der Wechselspannungsquelle in Reihe geschaltet ist. Zumindest ist das rein theoretisch so. Denn in Wirklichkeit gibt Kondensator C_1 nicht seine gesamte Ladung an Kondensator C_2 ab, da beide in Reihe geschaltet sind und sich daher die Ladung des Kondensators C_1 je nach Kapazität auf beide aufteilt. Daher ist die pulsierende Ausgangsspannung in der Praxis nicht um die Amplitude der Wechselspannung nach oben verschoben, sondern nur um einen kleineren Wert, wie die Versuche in Kapitel 2.2.3 zeigen. Einen Kaskadengleichrichter findet man z.B. in der elektrischen Zahnbürste (vgl. A. Reichert: Aus dem Innenleben einer elektrischen Zahnbürste). Kombiniert man mehrere Kaskadenstufen, so lässt sich die Ausgangsgleichspannung weiter erhöhen (s. Abb. 8). Gleichzeitig sinkt die Stromstärke, die maximal entnommen werden kann.

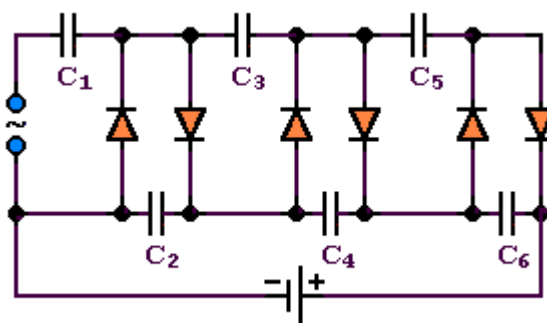


Abb.8: mehrstufiger Kaskadengleichrichter

2.1.2 Wechselrichter

Wechselrichter wandeln Gleichspannung in Wechselspannung um. Sie enthalten meist einen Polwechsler, der die Pole der eingespeisten Gleichspannung im Takte der gewünschten Wechselspannung wechselseitig mit den Ausgängen verbindet. In einer Halbwelle wird der Ausgang A_1 mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle verbunden, in der zweiten Halbwelle der zweite Ausgang A_2 . Gleichzeitig wechselt auch der Pluspol der Gleichspannungsquelle vom Ausgang A_2 zum Ausgang A_1 . (s. Abb.1).

Die dabei eingesetzten Techniken sind sehr unterschiedlich. Sie sollen im Folgenden behandelt werden. Im einfachsten Falle verwendet man einen Wechselschalter. Abb.2 zeigt einen Schaltungsaufbau, wie er früher häufig verwendet wurde.

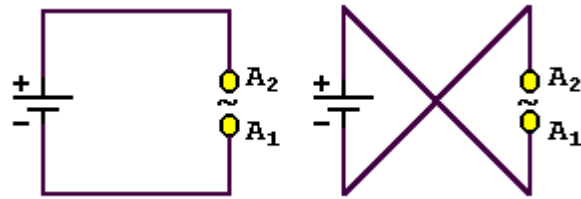


Abb.1: Polwechsler

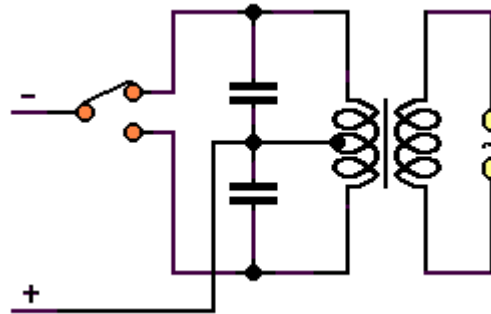


Abb.2: mechanischer Wechselrichter

Man spricht von einem mechanischen Zerhacker. Der Wechselrichter kann dabei mechanisch über einen Motor angetrieben werden oder über eine elektrische Steuerspannung, wenn es sich um ein Relais oder einen Reedkontakt handelt. Die beiden Kondensatoren an der Primärseite des Trafos definieren den Nullpunkt der Wechselspannung und sorgen damit für einen symmetrischen Verlauf der positiven und negativen Halbwelle der Ausgangsspannung. Sie filtern Gleichspannungsanteile aus der Ausgangsspannung heraus, damit sie nicht einer pulsierenden Gleichspannung, sondern einer echten Wechselspannung entspricht. Um die Größe der Ausgangsspannung den Bedürfnissen anzupassen, kann man an die Ausgänge einen Transformator anschließen. Er entkoppelt außerdem die Gleichstromquelle von der Ausgangswechselspannung. Die Primärspule besitzt einen Mittenabgriff, der mit der Mitte zwischen den beiden Kondensatoren, also mit dem Pluspol der Gleichstromquelle verbunden ist.

Da mechanische Schalter störanfällig sind, werden sie heute fast immer durch Thyristoren ersetzt. Den Aufbau eines solchen Thyristorwechselrichters zeigt Abb.3. Die Thyristoren werden über einen Multivibrator abwechselnd durch einen positiven Spannungsimpuls am Gate gesteuert. Der Kondensator $2,2 \mu\text{F}$ löscht den jeweils gerade durchgeschalteten Thyristor durch einen negativen Spannungsimpuls an der Anode des Thyristors bzw. der Kathode der parallel liegenden Diode, wenn der andere durchschaltet. Die Diode leitet und der Strom durch den Thyristor wird für einen kurzen Moment unterbrochen und kann sich von selbst nicht wieder aufbauen. Erst ein positiver Impuls am Gate macht den Thyristor wieder leitend, wodurch der andere gelöscht wird.

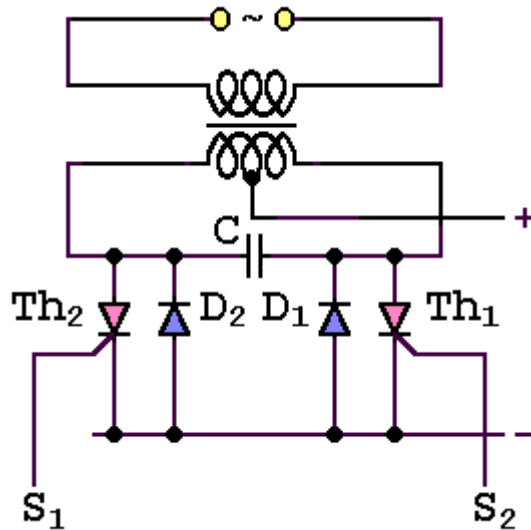


Abb.3: Thyristorwechsellrichter

Wesentlich effizienter arbeiten Schaltungen mit Transistoren (s. Abb.4). Man spricht von einem H-Brückenwechselrichter, da die Transistoren durch eine Steuerschaltung, z.B. einen Multivibrator über Kreuz eingeschaltet werden. In einer Halbwelle schalten die Transistoren T_1 und T_4 durch. Der linke Pol der Wechselspannung ist damit mit dem Pluspol, der rechte mit dem Minuspol verbunden. In der zweiten Halbwelle leiten die Transistoren T_2 und T_3 . Der rechte Pol der Wechselspannung liegt damit am Pluspol, der linke am Minuspol. Da die Transistoren T_1 und T_2 bzw. T_3 und T_4 komplementär zueinander sind, schaltet ein positiver Steuerimpuls S_1 T_1 ein und T_2 aus, ein negativer T_1 aus und T_2 ein. Gleiches gilt für die Transistoren T_3 und T_4 bezüglich des Steuerimpulses S_2 .

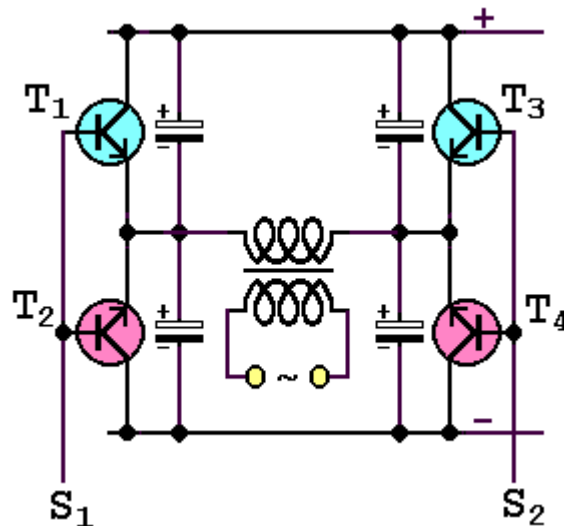


Abb.4: H-Brückenwechselrichter

Über die Einschaltzeiten der Transistoren lässt sich jede beliebige Form der Ausgangswechselspannung einstellen. So kann man z.B. sinusförmige Wechselspannung durch Pulsweitenmodulation nach Abb.5 simulieren. Ein nachgeschalteter Tiefpassfilter in Form einer Induktivität oder Kapazität glättet das aus

kurzen Pulsen erzeugte Signal, so dass eine saubere Sinusspannung entsteht. H-Brückenwechselrichter werden in der HGÜ-Technik (vgl. A. Reichert Transformatoren) verwendet.

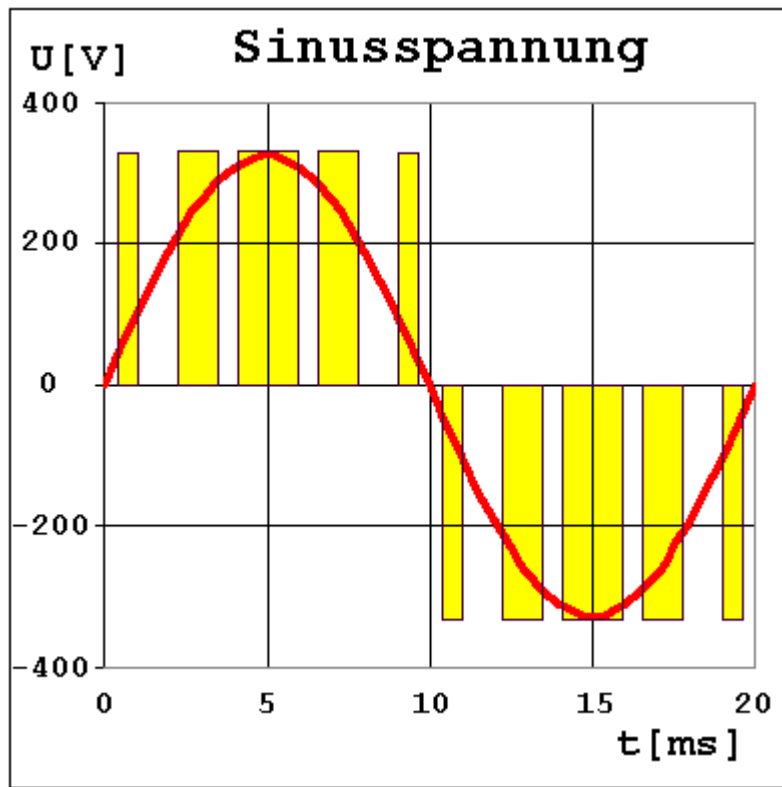


Abb.5: simulierte Sinusspannung

Eine ganz andere Lösung für einen Wechselrichter zeigt Abb. 6.

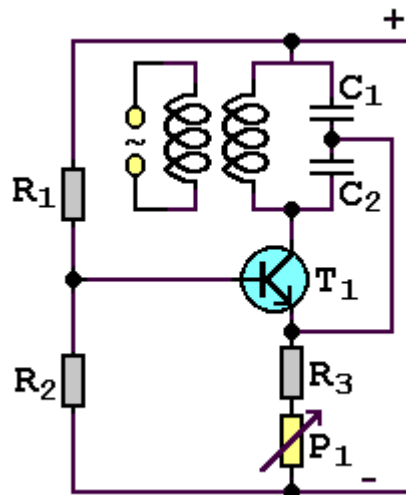


Abb.6: Colpittswechselrichter

Er besteht aus einem Colpittsoszillator, der von selbst sinusförmige Wechselspannung liefert. Auch andere Oszillatorschaltungen sind möglich, etwa der Hartley- oder der Meißneroszillator. Ein Polwechsler ist nicht nötig. Meist besitzt die Ausgangsspannung nur eine geringe Leistung. Daher werden Oszillatorschaltungen fast ausschließlich eingesetzt, wenn man Wechselspannungen für den Tonfrequenzbereich erzeugen will, etwa

in Funktionsgeneratoren oder elektronischen Musikinstrumenten. Es handelt sich um eine Rückkopplungsschaltung. Ein Teil der erzeugten Wechselspannung wird vom Potentialpunkt zwischen den beiden Kondensatoren C_1 und C_2 auf den Emitter des Transistors geführt und hebt dessen Potential über den Widerstand R_3 im Takte der Wechselspannung an oder senkt es ab. Der Transistor schaltet mehr oder weniger durch. Mit dem Poti P_1 lässt sich die Stärke der Rückkopplung einstellen. Die pulsierende Gleichspannung regelt sich selbst auf eine bestimmte Amplitude ein. Die Oszillatospule wird als Transformator ausgelegt. Damit lässt sich die Amplitude der Wechselspannung zusätzlich an den Verbraucher anpassen. Außerdem entsteht aus der pulsierenden Gleichspannung eine echte Wechselspannung. Die Widerstände R_1 und R_2 legen den Arbeitspunkt des Transistors fest.

2.2 Versuche

2.2.1 Einweggleichrichter

Versuch 1:

Aufbau:

Man baut mit einem Elektronikkasten die Schaltung nach Abb. 1 ohne Voltmeter auf und schließt die Spannungsquelle und den Oszillographen an. Dabei hat der Kondensator eine Kapazität $C = 100 \mu\text{F}$, der Widerstand einen Wert $R = 100 \Omega$.

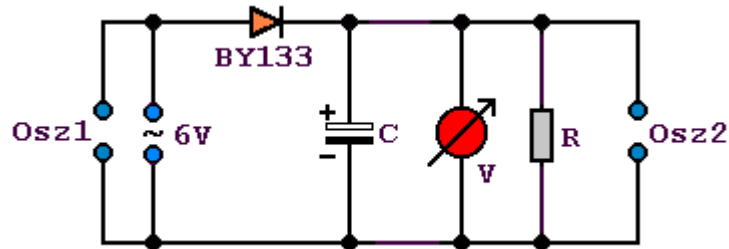


Abb.1: Einweggleichrichter

Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. Dann entfernt man zuerst den Widerstand, dann den Kondensator aus der Schaltung.

Beobachtung:

Man erhält auf dem 2. Kanal Osz2 des Oszillographen die Kurven in Abb.2. Auf dem 1. Kanal Osz1 liegt die angelegte Wechselspannung an.

Erklärung:

Ohne Widerstand (grüne Kurve in Abb.2) lädt sich der Kondensator auf die Amplitude der Wechselspannung U_0 , also auf

$$\begin{aligned} U_0 &= U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2} \\ &= 6\text{V} \cdot \sqrt{2} \\ &= 8,5 \text{ V} \end{aligned}$$

auf. Da nach dem Laden des Kondensators durch die Diode kein Strom mehr fließt, fällt an ihr auch keine Spannung mehr ab. Ohne Kondensator (rote Kurve in Abb.2) liegt am Widerstand die gleichgerichtete Wechselspannung abzüglich der an der Diode abfallenden Spannung U_D an. Dabei folgt der Stromverlauf am Widerstand, also auch die Spannung am Oszillographen dem Spannungsverlauf der Gleichspannung. Es ergibt sich eine maximale Spannung U von

$$\begin{aligned} U &= U_0 - U_D \\ &= 8,5 - 0,5\text{V} \\ &= 8,0 \text{ V.} \end{aligned}$$

Liegen beide Bauteile, Kondensator und Widerstand am Ausgang des Gleichrichters, so erhält man den blauen Kurvenverlauf.

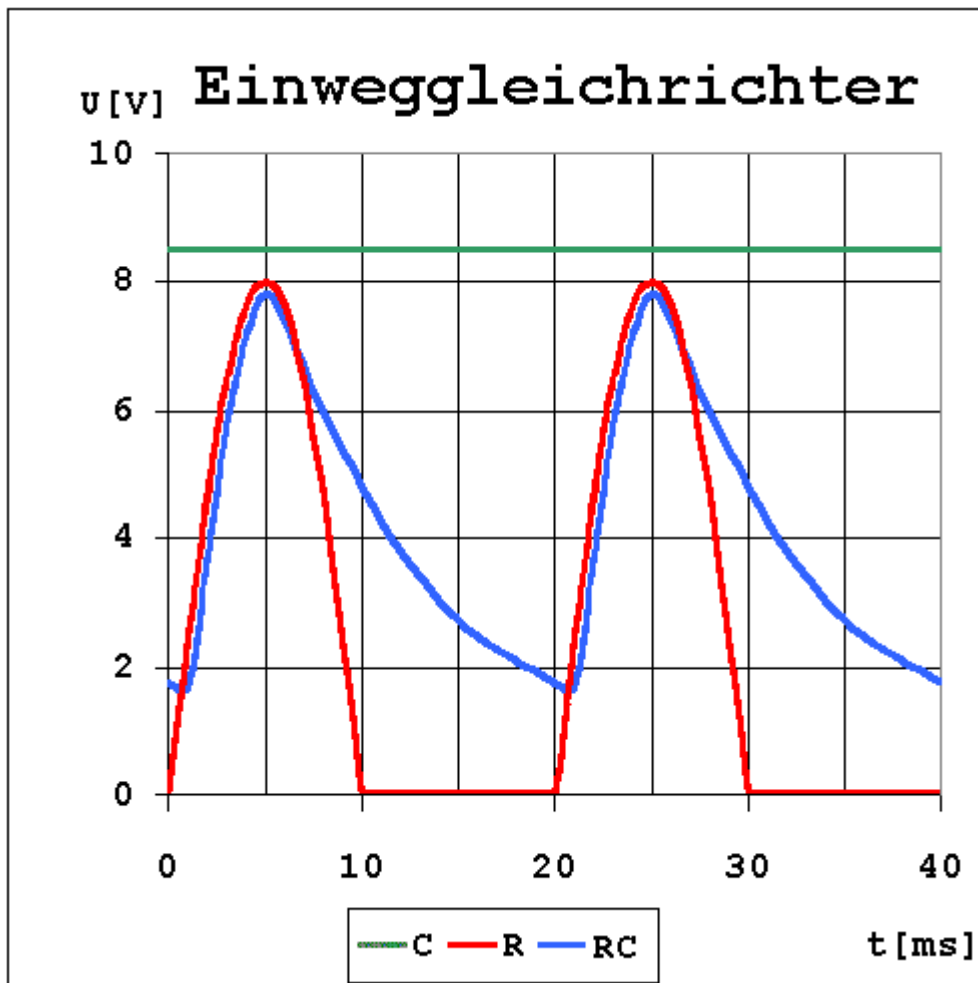


Abb.2: Oszillographenbilder

In einer Halbperiode lädt die Ausgangsspannung des Gleichrichters einerseits den Kondensator auf, andererseits treibt sie den Strom durch den Widerstand an. In der zweiten Halbperiode ist die Ausgangsspannung an der Diode null. Der Strom durch den Widerstand wird durch den Kondensator mehr oder weniger aufrecht erhalten. Wie weit dabei die Spannung am Kondensator absinkt, hängt von der Kapazität des Kondensators und der Größe des Widerstandes ab, wie in Versuch 2 gezeigt wird. Die pulsierende Gleichspannung am Ausgang des Gleichrichters ist also mehr oder weniger geglättet. Die Schwankung der Ausgangsspannung nennt man Welligkeit. Sie macht sich in Audiogeräten als 100Hz-Brummen bemerkbar. Um sie möglichst klein zu halten, sollte der Kondensator möglichst groß gewählt werden. Sie lässt sich dadurch aber nicht ganz unterdrücken, denn die Spannung am Kondensator sinkt in der spannungslosen Halbperiode stets um einen gewissen Wert ab. Nur Spannungsregler liefern an ihrem Ausgang vollkommen geglättete Gleichspannung.

Versuch 2:

Aufbau:

Man entfernt in der Schaltung von Versuch 1 (s. Abb.1) den Oszillographen und baut das Voltmeter ein.

Durchführung:

Man setzt zunächst einen Kondensator mit $C = 100 \mu\text{F}$ ein und tauscht die Widerstände aus. Am Voltmeter liest man jeweils die Spannung ab. Dann behält man den Widerstand mit $R = 100 \Omega$ bei und wechselt den Kondensator.

Beobachtung:

Man erhält folgende Messtabellen:

R [Ω]	U [V]
47	3,4
100	4,5
220	5,9
470	6,9
1000	7,4
∞	8,4

Tabelle 1:
C = 100 μF

C [μF]	U [V]
47	3,5
100	4,6
220	6,0
470	6,8
1000	7,0

Tabelle 2:
R = 100 Ω

Folgerung:

Je kleiner der Widerstand, umso kleiner ist die mittlere Ausgangsspannung am Gleichrichter. Ohne Belastung erreicht sie fast die Amplitude der angelegten Wechselspannung. Ein kleinerer Kondensator bewirkt ebenfalls, dass die entnehmbare Gleichspannung sinkt. Außerdem steigt die Welligkeit, wie man mit dem Oszillographen nach Versuch 1 zeigen kann. Daher sind Einwegwechselrichter nicht für Audiogeräte geeignet, allenfalls für Beleuchtungszwecke. Eingesetzt werden sie vor allem in Empfangsschaltungen in Radios und anderen Kommunikationsmitteln. Dort kommt es nicht auf die Ausgangsleistung an, da das Signal weiter verstärkt wird. Außerdem wird ein moduliertes Hochfrequenzsignal gleichgerichtet, wobei so wie so nur eine Halbwelle benötigt wird, da sie alle benötigten Informationen enthält (s. A. Reichert: Radiosender/Radioempfänger).

2.2.2 Zweiweggleichrichter**Versuch 1:****Aufbau:**

Man steckt auf der Platte eines Elektronikkastens die Schaltung nach Abb. 1 ohne Voltmeter zusammen und verbindet sie mit der Spannungsquelle und dem 2. Kanal Osz2 des Oszillographen. Der Kanal Osz1 darf nur angeschlossen werden, wenn Kanal Osz2 abgeklemmt wurde. Anderenfalls gibt es Probleme mit der Erdung des Oszillographen, da auch der eine Pol der Wechselspannungsquelle geerdet ist. Der Kondensator hat zunächst eine Kapazität $C = 100 \mu\text{F}$, der Widerstand einen Wert $R = 100 \Omega$.

Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. Dann entfernt man zuerst den Widerstand, dann den Kondensator aus der Schaltung. Wahlweise schließt man den 1. oder 2. Kanal des Oszillographen an.

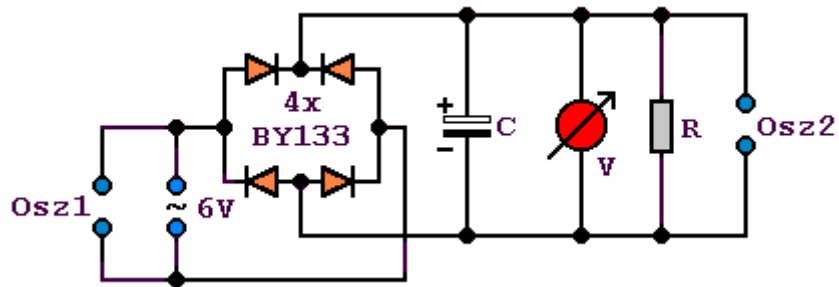


Abb.1: Zweiweggleichrichter

Beobachtung:

Auf dem Oszillographen beobachtet man auf dem 2. Kanal Osz2 die Kurven in Abb.2. Auf dem 1. Kanal Osz1 liegt die angelegte Wechselspannung an.

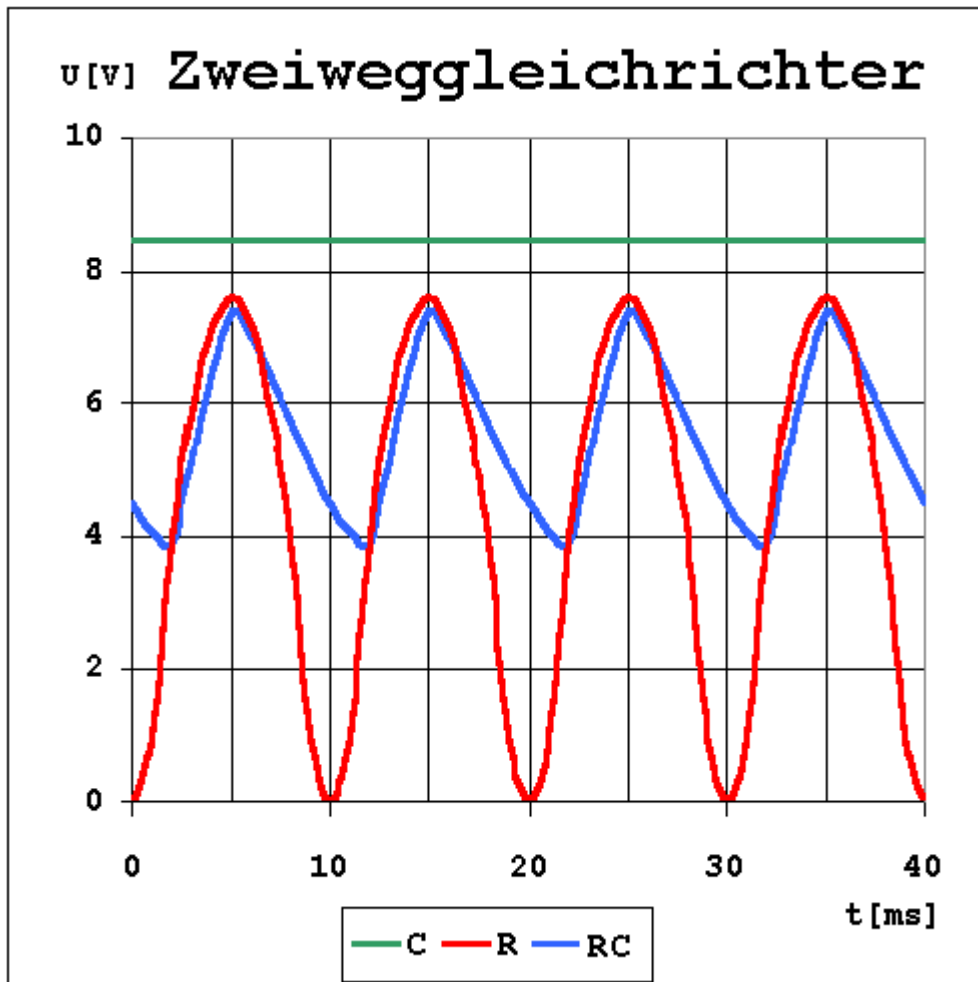


Abb.2: Oszillographenbilder

Erklärung:

Ohne Widerstand (grüne Kurve in Abb.2) lädt sich der Kondensator auf die Amplitude der Wechselspannung U_0 , also auf

$$\begin{aligned}
 U_0 &= U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2} \\
 &= 6\text{V} \cdot \sqrt{2} \\
 &= 8,5 \text{ V.}
 \end{aligned}$$

Ohne Kondensator (rote Kurve in Abb.2) liegt am Widerstand die gleichgerichtete Wechselspannung abzüglich der an den beiden Dioden abfallenden Spannung $2 \cdot U_D$ an. Dabei folgt der Stromverlauf am Widerstand, also auch die Spannung am Oszillographen dem Spannungsverlauf der Gleichspannung. Es ergibt sich eine maximale Spannung U von

$$\begin{aligned}
 U &= U_0 - 2 \cdot U_D \\
 &= 8,5 - 1 \text{ V} \\
 &= 7,5 \text{ V.}
 \end{aligned}$$

Liegen beide Bauteile, Kondensator und Widerstand am Ausgang des Gleichrichters, so erhält man den blauen Kurvenverlauf. In jeder Halbwelle lädt sich der Kondensator neu auf, so bald die Ausgangsspannung des Gleichrichters die am Kondensator noch anliegende Spannung übersteigt. Außerdem treibt die Ausgangsspannung des Gleichrichters einen Strom durch den Widerstand. Da die Ausgangsspannung aber schwankt, also regelmäßig wieder unter die Spannung am Kondensator fällt, versucht der Kondensator die Spannungslücken auf zu füllen. Er entlädt sich zum Teil, aber weit weniger als unter vergleichbaren Bedingungen bei einem Einweggleichrichter. Die entnehmbare Spannung ist im Schnitt höher als beim Einweggleichrichter (s. Versuch 2). Ein Kondensator gleicher Kapazität kann sie daher weit besser glätten. Die Welligkeit ist geringer. Sie lässt sich aber auch in diesem Falle nie ganz unterdrücken, denn die Spannung am Kondensator sinkt in der spannungslosen Zeiten des Gleichrichterausgangs stets um einen gewissen Wert ab.

Versuch 2:

Aufbau:

Man entfernt in der Schaltung von Versuch 1 (s. Abb.1) den Oszillographen und baut das Voltmeter ein.

Durchführung:

Man benutzt zunächst einen Kondensator mit $C = 100 \mu\text{F}$ und tauscht die Widerstände aus. Am Voltmeter liest man jeweils die Spannung ab. Dann behält man den Widerstand mit $R = 100 \Omega$ bei und wechselt den Kondensator.

R[Ω]	U[V]
47	5,1
100	5,8
220	6,5
470	7,0
1000	7,3
∞	8,4

Tabelle 1:
C = 100 μF

C[μF]	U[V]
47	5,2
100	5,8
220	6,4
470	6,7
1000	6,9

Tabelle 2:
R = 100 Ω

Beobachtung:

Man erhält die Messtabellen Tabelle 1 und Tabelle 2.

Folgerung:

Je kleiner der Widerstand umso kleiner ist die mittlere Ausgangsspannung am Gleichrichter. Ohne Belastung erreicht sie näherungsweise die Amplitude der angelegten Wechselspannung. Ein kleinerer Kondensator bewirkt, dass die entnehmbare Gleichspannung sinkt. Außerdem steigt die Welligkeit, wie man mit dem Oszillographen nach Versuch 1 zeigen kann. Vergleicht man die Ausgangsspannungen mit denen eines Einweggleichrichters unter gleichen Bedingungen, so fällt auf, dass am Zweiweggleichrichter bei höherer Belastung die Ausgangsspannung weit weniger absinkt wie bei einem Einweggleichrichter. Sie schwankt insgesamt nicht so stark. Die Welligkeit ist geringer. Daher können Brückengleichrichter, wie man Zweiweggleichrichter häufig nennt, auch als Netzteil für Audiogeräte wie Transistorradios, Walkmans, MP3-Player eingesetzt werden.

2.2.3 Kaskadengleichrichter**Versuch 1:****Aufbau:**

Man baut auf der Platte eines Elektronikastens die Schaltung nach Abb. 1 ohne Voltmeter zusammen und verbindet sie mit der Spannungsquelle und dem Oszillographen. Die Kondensator haben eine Kapazität $C_1 = 1000 \mu\text{F}$ und $C_2 = 100 \mu\text{F}$, der Widerstand einen Wert $R = 100 \Omega$.

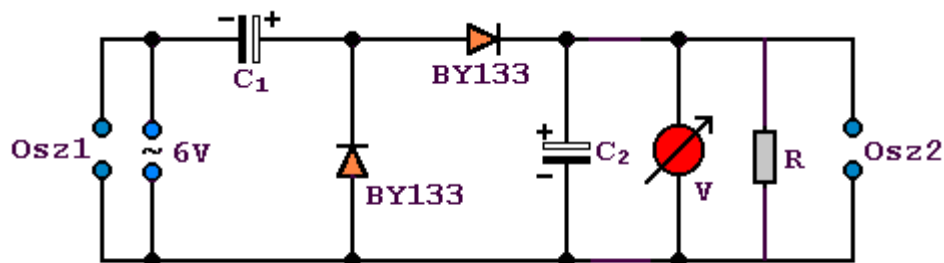


Abb.1: Kaskadengleichrichter

Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. Dann entfernt man zuerst den Widerstand, dann den Kondensator C_2 aus der Schaltung.

Beobachtung:

Auf dem Oszillographen beobachtet man auf dem 2. Kanal Osz2 die Kurven in Abb.2. Auf dem 1. Kanal Osz1 liegt die angelegte Wechselspannung an.

Erklärung:

Ohne Widerstand (grüne Kurve in Abb.2) lädt sich der Kondensator auf die doppelte Amplitude der Wechselspannung U_0 , also auf

$$\begin{aligned} U_0 &= 2 \cdot U_{\text{eff}} \cdot \text{sqr}(2) \\ &= 2 \cdot 6\text{V} \cdot \text{sqr}(2) \\ &= 17 \text{ V} \end{aligned}$$

auf. Ohne Kondensator C_2 (rote Kurve in Abb.2) müsste am Widerstand die gleichgerichtete Wechselspannung abzüglich der an den beiden Dioden abfallenden Spannung $2 \cdot U_D$ anliegen. Dabei folgt der Stromverlauf am Widerstand, also auch die Spannung am Oszillographen dem Spannungsverlauf der Gleichspannung. Es ergäbe sich eine maximale Spannung U von

$$\begin{aligned}
 U &= U_0 - 2 \cdot U_D \\
 &= 17 \text{ V} - 1 \text{ V} \\
 &= 16 \text{ V.}
 \end{aligned}$$

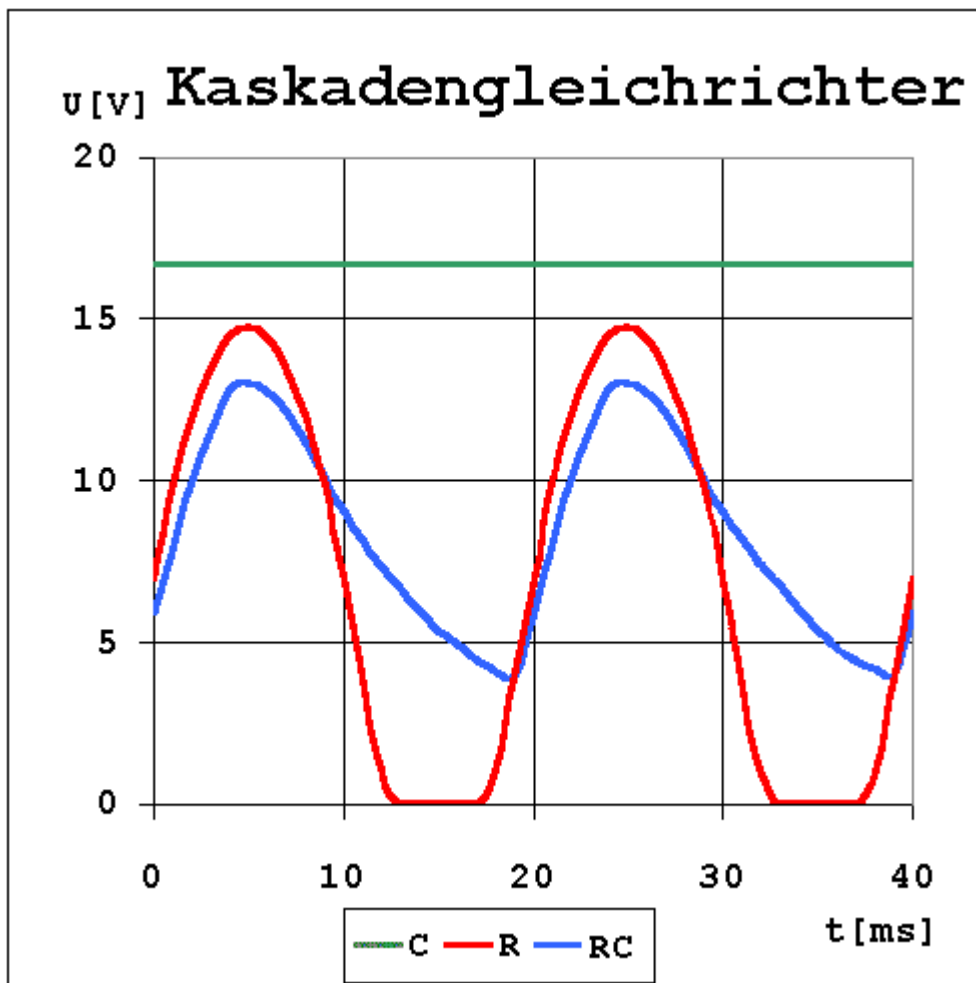


Abb.2: Oszillographenbilder

In Wirklichkeit ist die gemessene Spannung kleiner, nämlich nur 14,8 V. Der Kondensator C_1 gibt seine Ladung nach den Gesetzen für die Reihenschaltung von Kondensatoren nicht vollständig an den Kondensator C_2 weiter. Damit fällt an ihm eine kleine Restspannung ab. Liegen beide Bauteile, Kondensator und Widerstand am Ausgang des Gleichrichters, so erhält man den blauen Kurvenverlauf. Übersteigt die Ausgangsspannung des Gleichrichters die am Kondensator noch anliegende Spannung, so lädt er sich auf. Außerdem treibt die Ausgangsspannung des Gleichrichters dann einen Strom durch den Widerstand. Da die

Ausgangsspannung aber schwankt, also regelmäßig wieder unter die Spannung am Kondensator fällt, versucht der Kondensator die Spannungslücken auf zu füllen. Er entlädt sich zum Teil. Die entnehmbare Spannung ist im Schnitt höher als beim Einweggleichrichter. Dafür weist sie eine hohe Welligkeit auf. Sie lässt sich aber auch in diesem Falle mit einem größeren Kondensator verringern, aber nie ganz unterdrücken, denn die Spannung am Kondensator sinkt in der spannungslosen Zeiten des Gleichrichterausgangs stets um einen gewissen Wert ab.

Versuch 2:

Aufbau:

Man entfernt in der Schaltung von Versuch 1 (s. Abb.1) den Oszillographen und baut das Voltmeter ein.

Durchführung:

Man benutzt zunächst als Kondensatoren $C_1 = 1000 \mu\text{F}$ und $C_2 = 100 \mu\text{F}$ und tauscht die Widerstände aus. Man liest jeweils die Spannung ab. Dann behält man den Widerstand mit $R = 100 \Omega$ bei und wechselt die Kondensatoren.

Beobachtung:

Man erhält folgende Messtabellen:

R [Ω]	U [V]
47	6,9
100	9,0
220	11,4
470	13,4
1000	14,7
∞	16,9

Tabelle 1:

$C_1 = 1000 \mu\text{F}$, $C_2 = 100 \mu\text{F}$

$C_1 [\mu\text{F}]$	$C_2 [\mu\text{F}]$	U [V]
1000	10	6,9
1000	22	7,1
1000	47	7,8
1000	100	9,1
1000	220	10,7
1000	470	11,5
1000	1000	11,9
470	1000	10,4
220	1000	8,6
100	1000	5,3
47	1000	3,2
22	1000	1,7
10	1000	0,8

Tabelle 2: R = 100 Ω

Folgerung:

Je kleiner der Widerstand umso kleiner ist die mittlere Ausgangsspannung am Gleichrichter. Ohne Belastung erreicht sie näherungsweise die doppelte Amplitude der angelegten Wechselspannung. Ein kleinerer Kondensator C_2 bewirkt, dass die entnehmbare Gleichspannung stark sinkt. Außerdem steigt die Welligkeit, wie man mit dem Oszillographen nach Versuch 1 zeigen kann. Die Ausgangsspannung lässt sich in einem weiten Bereich einstellen durch eine geeignete Wahl der beiden Kondensatoren. Die Welligkeit ist allerdings hoch im Vergleich zu den beiden anderen Gleichrichtern. Daher werden Kaskadengleichrichter nur verwendet, wenn die Belastung gering ist, also nur wenig Strom bei einer bestimmten Spannung benötigt wird. Typisches Anwendungsbeispiel ist die elektrische Zahnbürste (vgl. A. Reichert: Aus dem Innenleben einer elektrischen Zahnbürste).

2.2.4 Reedwechselrichter

Abb.1 zeigt den genauen Schaltplan für einen mechanischen Zerschacker.

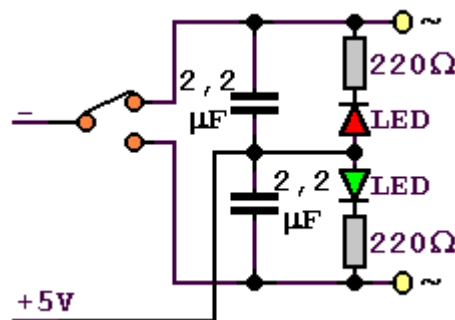


Abb.1: Reedwechselrichter

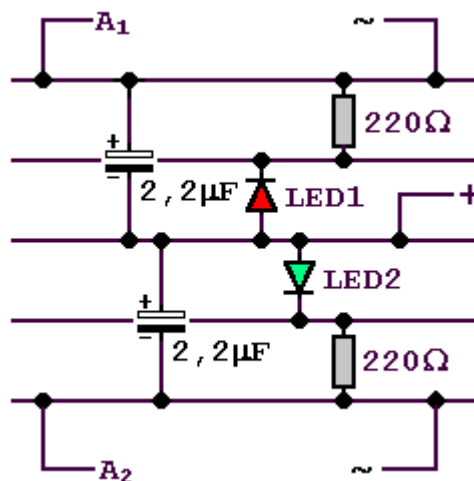


Abb.2: Verschaltung auf einer Lochrasterplatine

Der Wechselschalter ist als Reedkontakt mit einem Eingang E und zwei Ausgängen A_1 und A_2 ausgelegt. Die LED's ersetzen den Trafo in der Prinzipschaltung in Abb.2 im Kapitel 2.1.2. Sie

leuchten abwechselnd je nach Polung der Wechselspannung. Die Verschaltung auf einer Lochrasterplatine entnehmen Sie Abb.2. Die fertig verschaltete Platine schraubt man auf zwei kleine Holzleisten der Größe 1cmx1cmx4cm, die man auf den Boden einer Mon-Cherry-Dose klebt. Für die Zuleitung der Gleichspannung und die Ableitung der Wechselspannung befestigt man am Deckel eine rote Telefonbuchse für den Pluspol, eine schwarze für den Minuspol der Gleichspannung und zwei gelbe für die Pole der Wechselspannung. Die beiden LED's werden mit Hilfe zweier Fassungen aus Kunststoff oder Chrom ebenfalls am Deckel befestigt. Sie dienen dazu, die Wechselspannung sichtbar zu machen. Den Reedschalter klebt man mit etwas Tesafilm auf die Innenseite des Deckels. Die Buchsen und die Ausgänge des Reedkontaktes werden über ein Stück Schaltlitze mit den entsprechenden Anschlüssen auf der Platine verbunden. Die LED's lötet man nicht direkt auf die Platine, sondern steckt sie in die Fassungen und verbindet sie mit etwas Schaltlitze mit den Löchern auf der Platine, die in Abb. 2 den Anoden bzw. Kathoden der LED's entsprechen. Zum Schluss stellt man mit einem Stück Schaltlitze eine Verbindung zwischen der schwarzen Buchse und dem Eingang des Reedschalters her. Den fertigen Reedwechselschalter zeigt Abb.3.

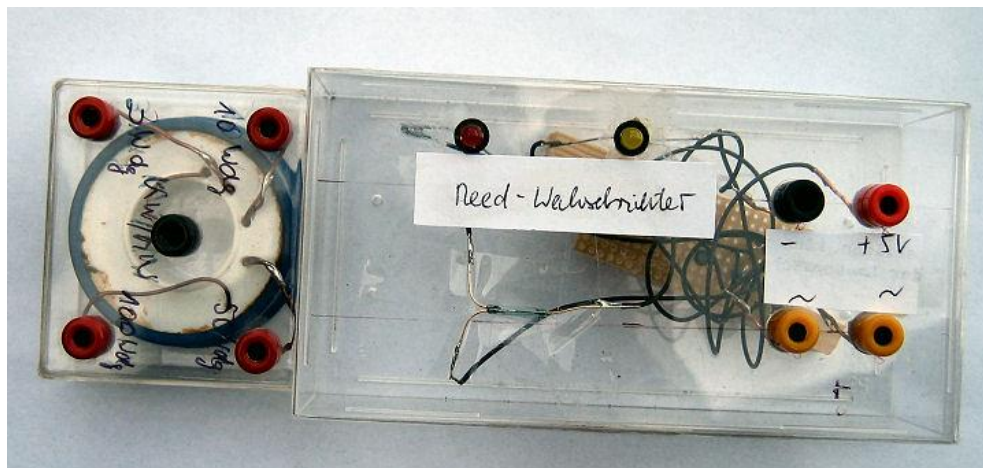


Abb.3: Reedwechsler

Versuch 1:

Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 verbindet man mit einer Gleichspannungsquelle von 5V.

Durchführung:

Man fährt mit einem Magneten über den Reedschalter langsam hin und her.

Beobachtung:

Zu Beginn leuchtet die rote LED, beim Bewegen des Magneten die grüne. Je nachdem wie die Ausgänge des Reedschalters mit den Anschlüssen A_1 und A_2 auf der Platine verkabelt wurden, können sich die LED's auch genau umgekehrt verhalten. Entfernt man den Magneten, so leuchtet wieder die rote LED bzw. die grüne.

Erklärung:

Der Magnet schaltet den Reedkontakt um. Damit wird der Minuspol der Gleichspannung mit der anderen Ausgangsbuchse der Wechselspannung verbunden. Sie kehrt ihre Polung um. Bewegt man den Magneten vom Reedkontakt weg, so geht der Reedschalter wieder in seinen Ausgangszustand.

Für den zweiten Versuch benötigt man zusätzlich eine Spule mit 100 Windungen, einem Durchmesser von ca. 5cm und einer Höhe von etwa 2cm (s. Abb.3). Man wickelt dazu auf eine leere Teflonrolle mit lackiertem Kupferdraht 100 Windungen. Die Rolle klebt man in eine kleine Plastikdose, in deren Deckel man Telefonbuchsen für die Kabelenden befestigt. Sie werden miteinander verlötet. Man kann auch noch weitere Abgriffe der Windungen, etwa nach 3, 10 und 50 Windungen einbauen. Die Spule eignet sich dann auch als KW/MW-Empfangsspule für die Versuche zum Radio (vgl. A. Reichert: Radiosender/Radioempfänger).

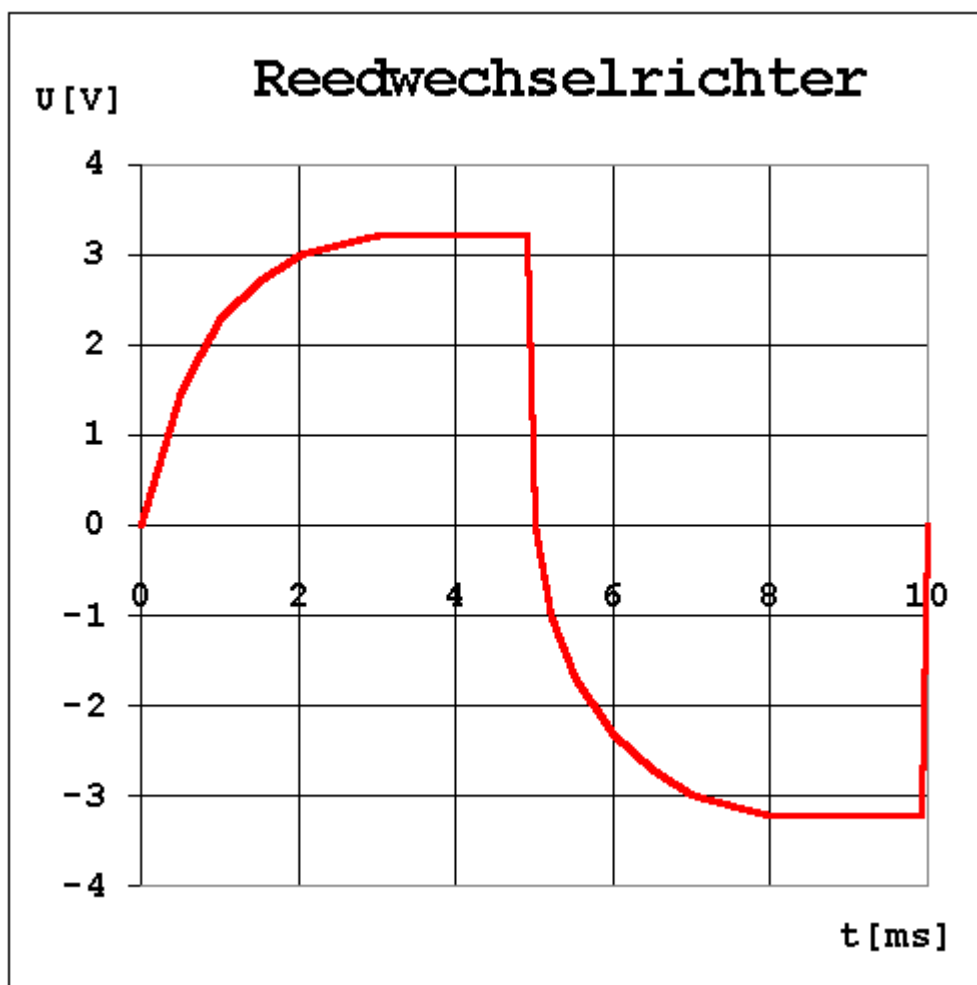


Abb.4: Ausgangsspannung am Reedwechselrichter

Versuch 2:

Aufbau:

Man legt die Spule auf den Reedkontakt und schließt sie an eine Wechselspannung oder an eine pulsierende Gleichspannung mit 2-4 V an. Der Reedwechselrichter wird mit 5 V Gleichspannung

versorgt. Die gelben Ausgangsbuchsen werden mit einem Oszilloskop verbunden.

Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein und betrachtet die Kurve auf dem Oszilloskop.

Beobachtung:

Man hört ein Klappergeräusch des Reedkontaktes wie von einer Klapperschlange. Auf dem Oszilloskop beobachtet man bei einer Wechselspannung von 50 Hz die Kurve in Abb.4, bei pulsierender Gleichspannung verdoppelt sich die Periodendauer auf 20 ms.

Erklärung:

Die Wechselspannung verläuft nicht ganz rechteckförmig, da die Kondensatoren sie aufgrund ihrer Ladecharakteristik ein wenig glätten. Die Frequenz der Ausgangsspannung beträgt 100 Hz, ist also doppelt so hoch wie die der angelegten Wechselspannung. Der Reedkontakt schaltet unabhängig von der Polung des Elektromagneten, also 100 mal pro s um. Bei pulsierender Gleichspannung beträgt die Frequenz der Wechselspannung dagegen nur 50 Hz, da der Reedkontakt 50 mal pro s zwischen dem Ein- und Ausschaltzustand wechselt.

2.2.5 Thyristorwechselrichter

Abb.1 zeigt den konkreten Aufbau eines Thyristorwechselrichters. Er setzt sich aus zwei Teilen zusammen, dem eigentlichen Wechselrichter im oberen Teil der Schaltung und einem Multivibrator. Die Verschaltung auf einer Lochrasterplatine zeigt Abb.2.

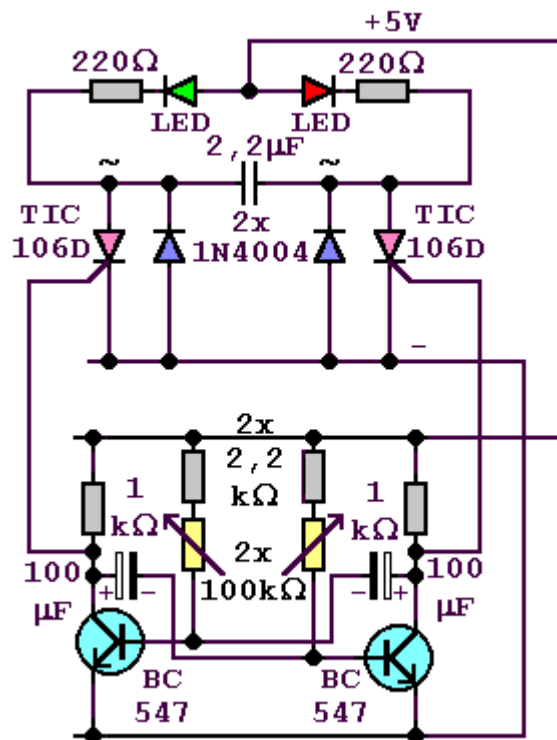


Abb.1: Thyristorwechselrichter

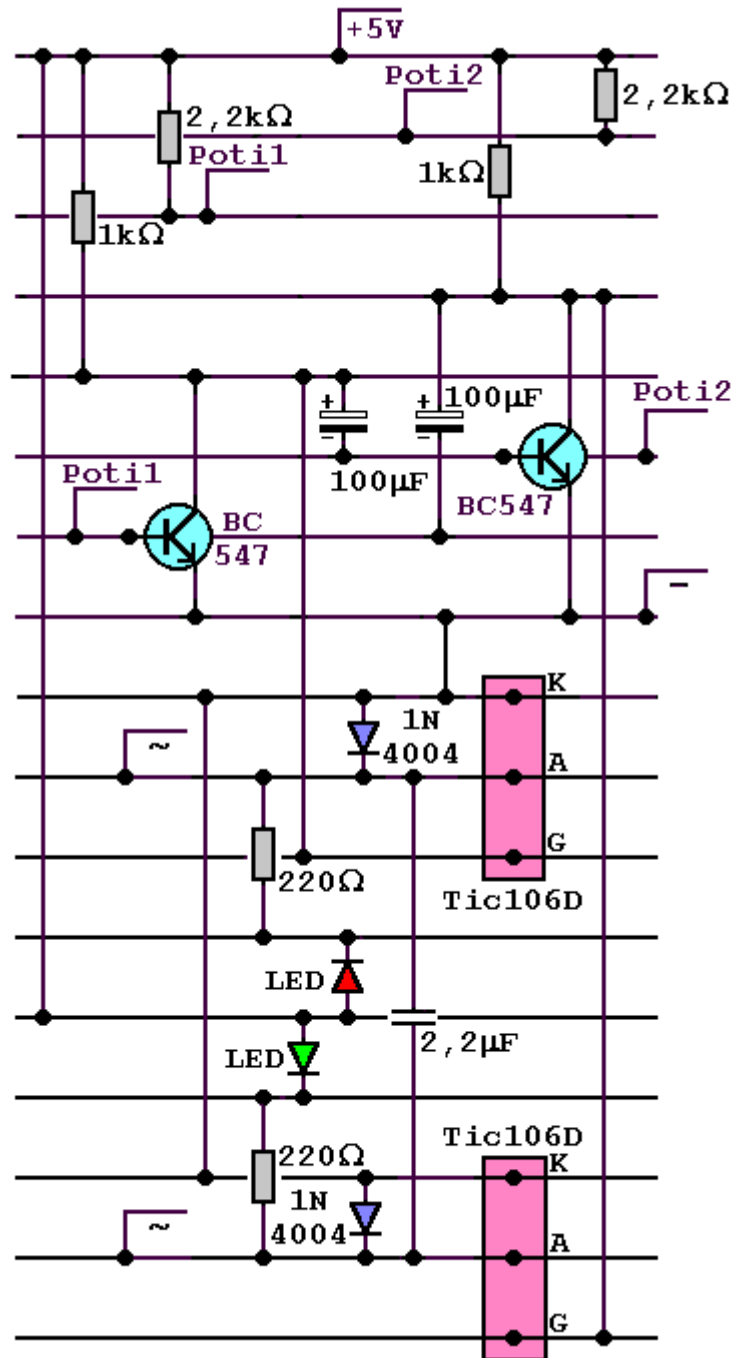


Abb.2: Verschaltung auf einer Lochrasterplatine

Die fertig verschaltete Platine schraubt man auf zwei kleine Holzleisten der Größe 1cmx1cmx4cm, die man auf den Boden einer Mon-Cherry-Dose klebt. Für die Zuleitung der Gleichspannung und die Ableitung der Wechselspannung befestigt man am Deckel eine rote Telefonbuchse für den Pluspol, eine schwarze für den Minuspol der Gleichspannung und zwei gelbe für die Pole der Wechselspannung. Die beiden LED's werden mit Hilfe zweier Fasungen aus Kunststoff oder Chrom ebenfalls am Deckel befestigt. Sie dienen dazu, die Wechselspannung sichtbar zu machen. Die beiden Potis verschraubt man ebenfalls im Deckel der Dose.

Dann verbindet man über Schaltlitze die Anschlüsse auf der Platine mit den entsprechenden Bauteilen am Deckel. Die fertige Schaltung zeigt Abb.3.

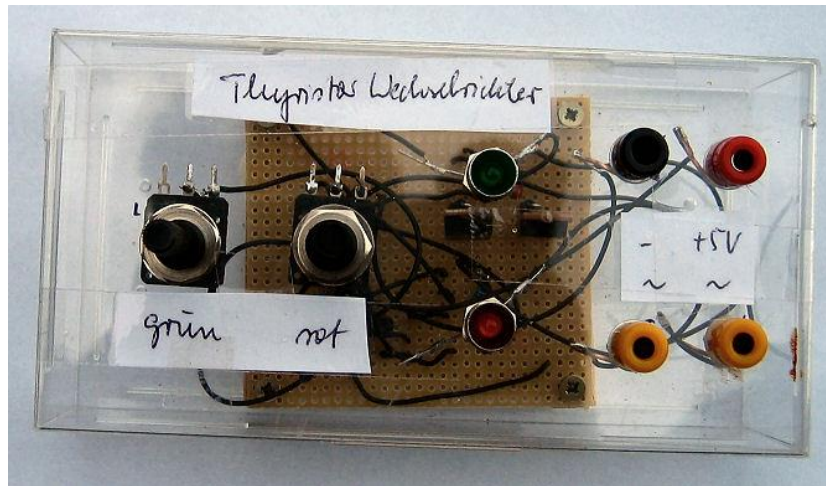


Abb.3: Thyristorwechselrichter

Versuch 1:

Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 verbindet man mit einer Gleichspannungsquelle von 5V.

Durchführung:

Man schaltet die Versorgungsspannung ein und dreht an den beiden Potis.

Beobachtung:

Die beiden LED's blinken wechselseitig auf. Verstellt man Poti 1, so leuchtet die rote LED länger oder kürzer, beim Poti 2 die grüne. Bei gleicher Stellung der Potis blinken die LED's symmetrisch.

Erklärung:

Der Multivibrator schaltet die Thyristoren in seinem Takt um. Mit den Potis kann man die Schaltzustände des Multivibrators verlängern und verkürzen und damit die Durchschaltzeiten der Thyristoren.

Versuch 2:

Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 legt man an eine Gleichspannungsquelle von 5V. Die gelben Buchsen werden mit einem Oszillographen verbunden.

Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein und betrachtet die Kurve auf dem Oszillographen und dreht die Potis bis zum Anschlag zu.

Beobachtung:

Man erhält die Kurve in Abb.4.

Erklärung:

Die Ausgangsspannung verläuft fast rechteckförmig, da sie nicht durch Kondensatoren geglättet wird. Warum die Amplitude etwas sinkt, ist nicht ganz klar.

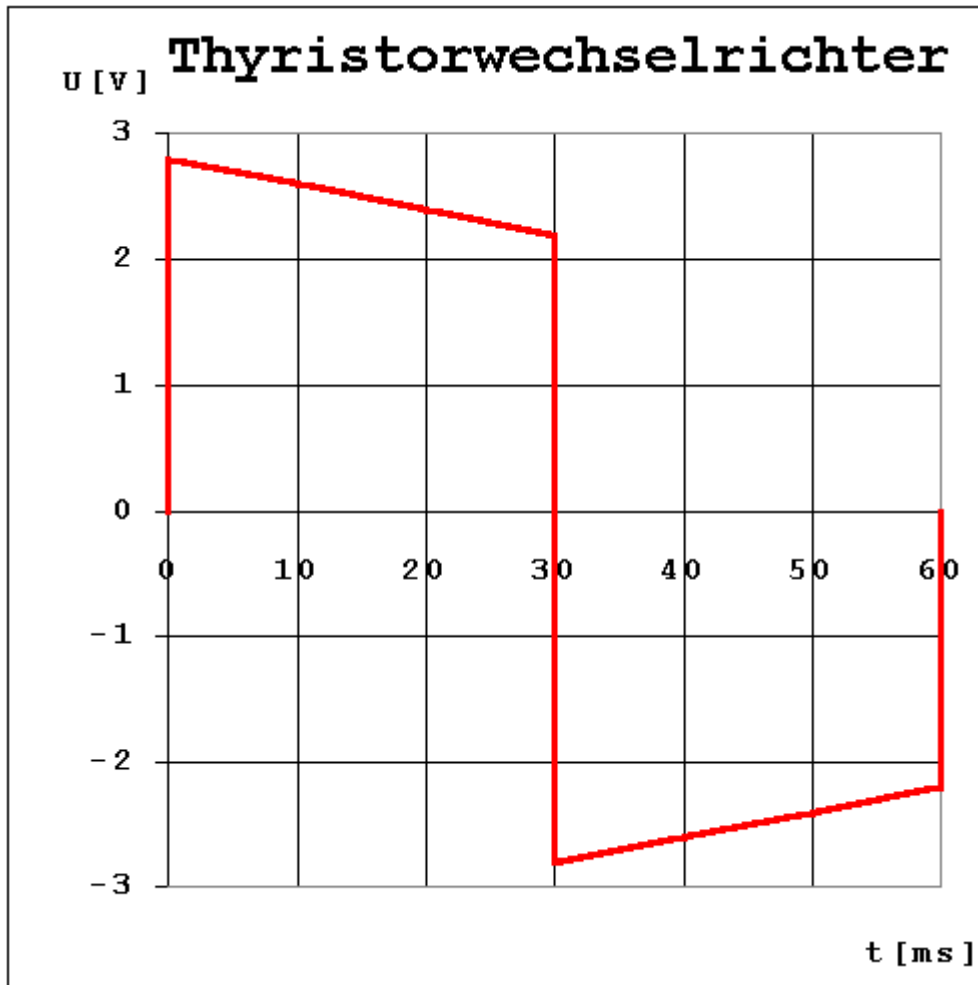


Abb.4: Ausgangsspannung am Thyristorwechselrichter

2.2.6 H-Brückenwechselrichter

Abb.1 zeigt den konkreten Aufbau eines H-Brückenwechselrichters. Er besteht wie der Thyristorwechselrichter aus zwei Teilen, dem eigentlichen Wechselrichter im oberen Teil der Schaltung und einem Multivibrator. Die Verschaltung auf einer Lochrasterplatine zeigt Abb.2. Die fertig verschaltete Platine schraubt man auf zwei kleine Holzleisten der Größe $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 4\text{cm}$, die man auf den Boden einer Mon-Cherry-Dose klebt. Für die Zuleitung der Gleichspannung und die Ableitung der Wechselspannung befestigt man am Deckel eine rote Telefonbuchse für den Pluspol, eine schwarze für den Minuspol der Gleichspannung und zwei gelbe für die Pole der Wechselspannung. Die beiden LED's werden mit Hilfe zweier Fassungen aus Kunststoff oder Chrom ebenfalls am Deckel befestigt. Sie dienen dazu, die Wechselspannung sichtbar zu machen. Die beiden Potis verschraubt man ebenfalls im Deckel der Dose. Dann verbindet man über Schaltlitze die Anschlüsse auf der Platine mit den entsprechenden Bauteilen am Deckel. Die fertige Schaltung zeigt Abb.3.

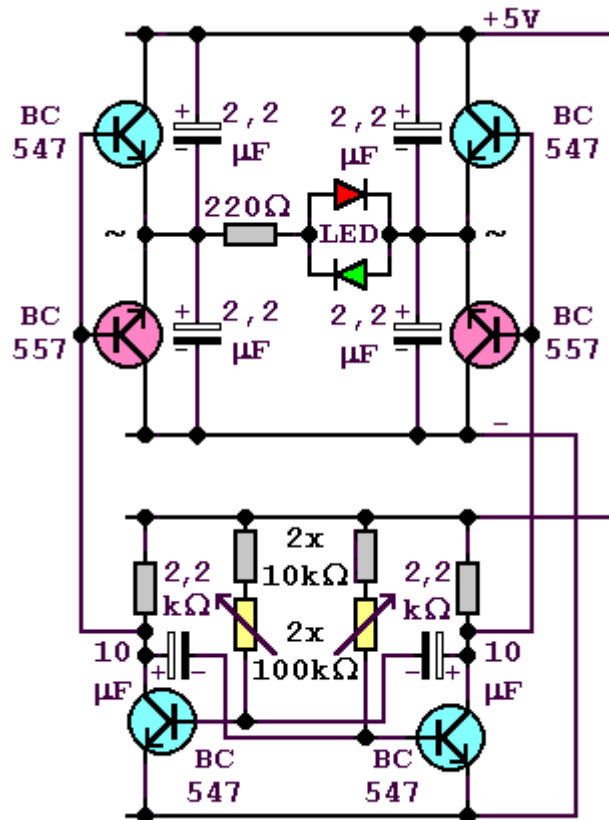


Abb.1: H-Brückenwechselrichter

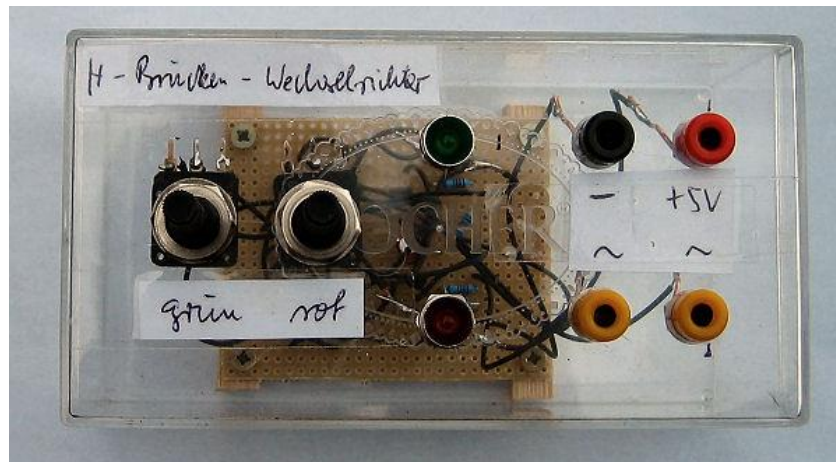


Abb.3: H-Brückenwechselrichter

Versuch 1:

Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 verbindet man mit einer Gleichspannungsquelle von 5V.

Durchführung:

Man schaltet die Versorgungsspannung ein und dreht an den beiden Potis.

Beobachtung:

Die beiden LED's blinken wechselseitig auf. Verstellt man Poti 1, so leuchtet die rote LED länger oder kürzer, beim Poti 2 die grüne. Bei gleicher Stellung der Potis blinken die LED's symmetrisch.

Erklärung:

Der Multivibrator schaltet die Transistoren in seinem Takt aus und ein. Mit den Potis kann man die Schaltzustände des Multivibrators verlängern und verkürzen und damit die Durchschaltzeiten der Transistoren.

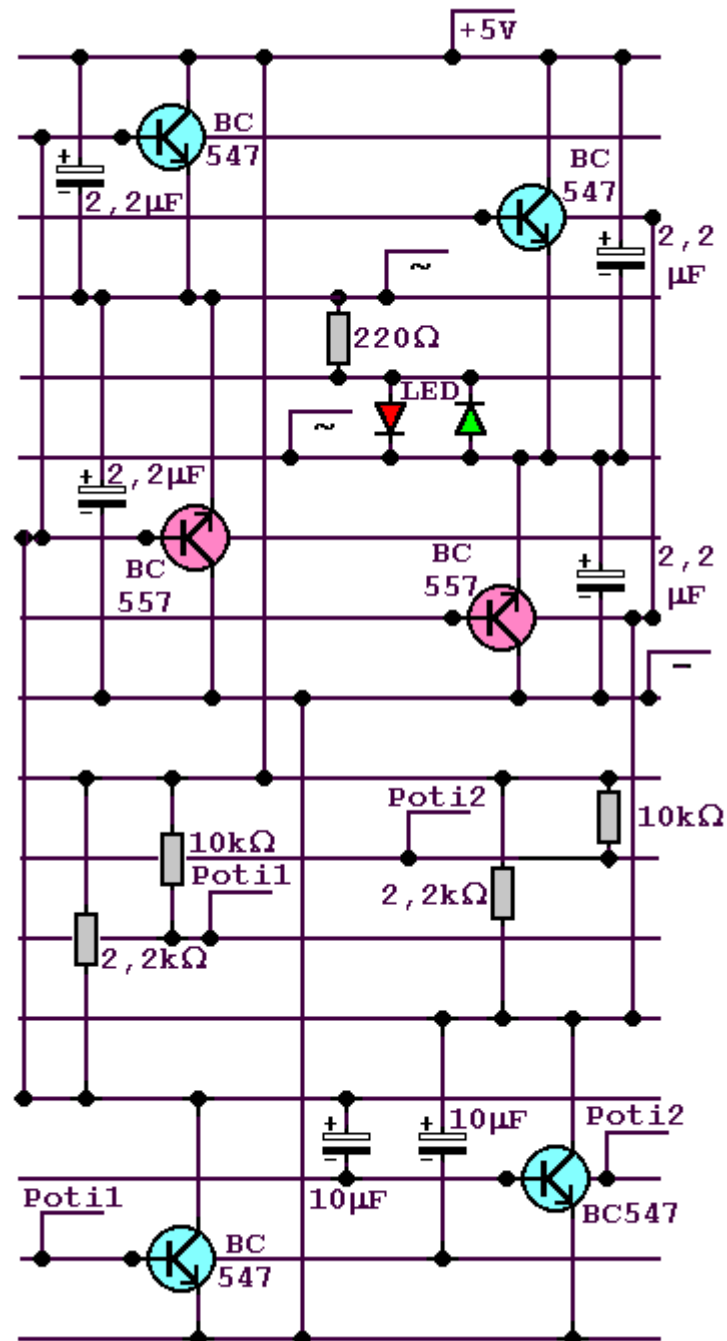


Abb.2: Verschaltung auf einer Lochrasterplatine

Versuch 2:

Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 legt man an eine Gleichspannungsquelle von 5V. Die gelben Buchsen werden mit einem Oszilloskop verbunden.

Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein und betrachtet die Kurve auf dem Oszillographen und dreht die Potis bis zum Anschlag zu.

Beobachtung:

Man erhält die Kurve in Abb.4.

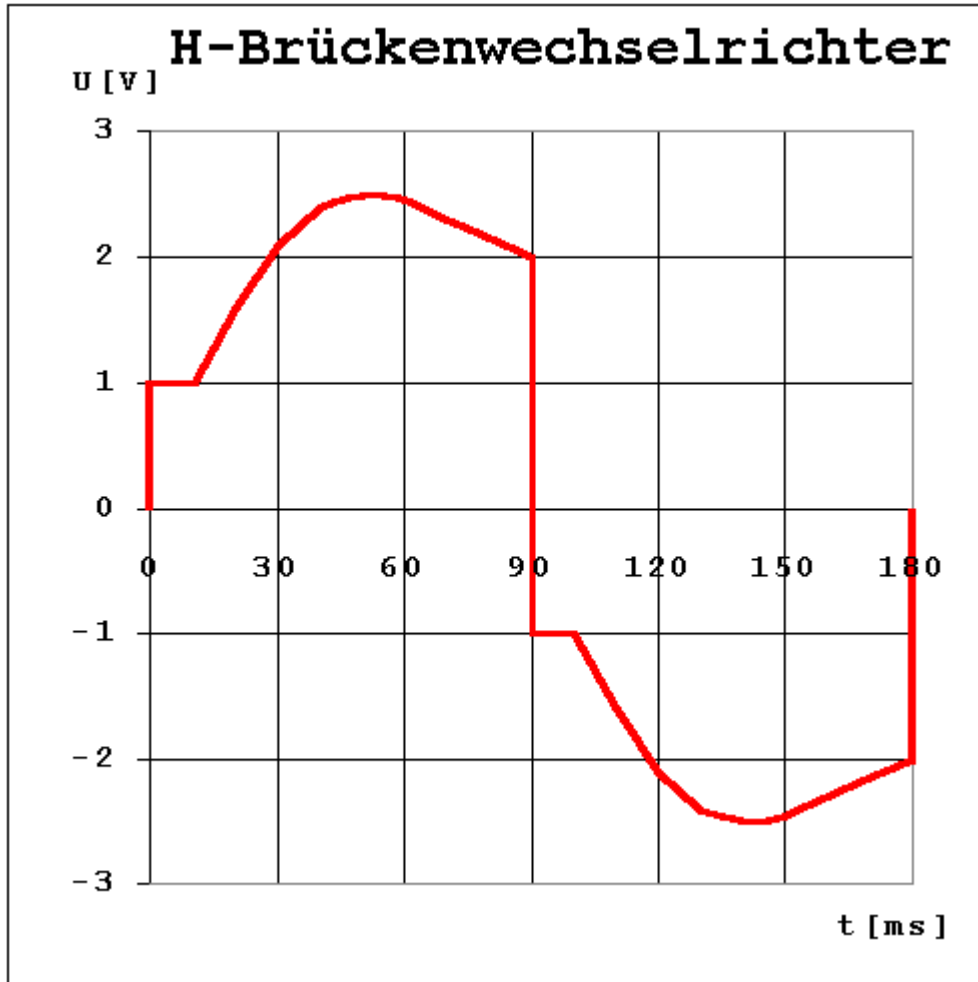


Abb.4: Ausgangsspannung am H-Brückengleichrichter

Erklärung:

Die Ausgangsspannung zeigt eine Mischung aus einer sinusförmigen und einer rechteckförmigen Ausgangsspannung. Sie wird durch das Schaltverhalten der Transistoren und die zu ihnen parallel geschalteten Kondensatoren bestimmt. Die genauen Zusammenhänge sind kompliziert. Verändert man nämlich die Werte der Kondensatoren, so besitzt die Ausgangsspannung eine andere Form.

2.2.7 Colpittswechselrichter

Abb.1 zeigt den konkreten Schaltplan eines Colpittsoszillators. Die Verschaltung auf einer Lochrasterplatte macht Abb.2 deutlich.

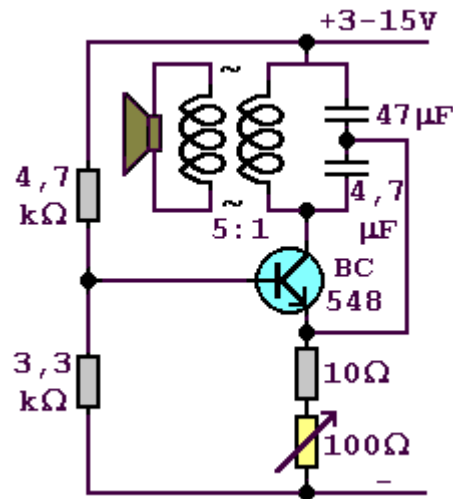


Abb.1: Schaltplan Colpittsoszillator

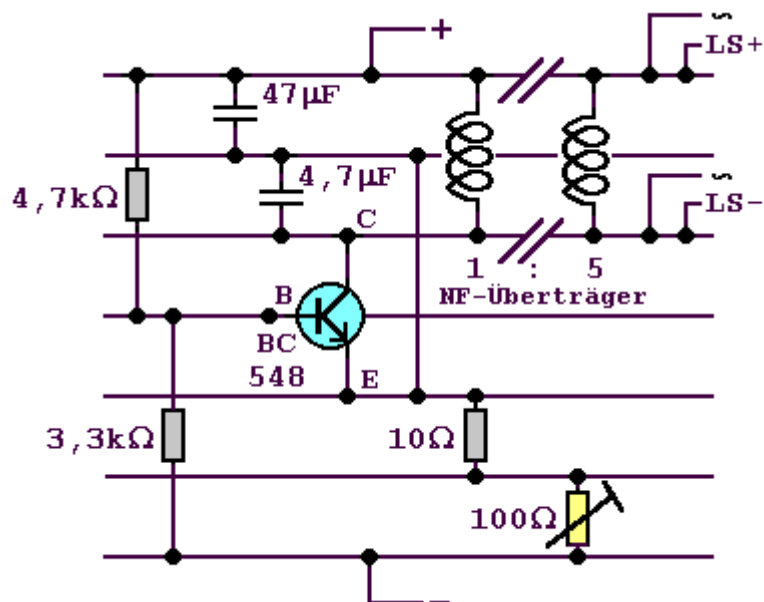


Abb.2: Verschaltung des Colpittsoszillators

Die fertig verlötete Platine schraubt man auf zwei kleine Holzleisten der Größe 1cmx1cmx4cm, die man auf den Boden einer Mon-Cherry-Dose klebt. Für die Zuleitung der Gleichspannung befestigt man am Deckel eine schwarze Buchse für den Minuspol und eine rote für den Pluspol. Um die Ausgangswechselspannung entnehmen zu können, benötigt man außerdem zwei gelbe Buchsen, die man ebenfalls am Deckel verschraubt. Den Piezolautsprecher klebt man mit mehreren Streifen Tesafilm auf die Innenseite des Deckels. Vorher muss man an ihn zwei Litzen löten, eine auf den Rand und eine auf die Mitte. Dann verbindet man über Schalllitze die Anschlüsse auf der Platine mit den entsprechenden Bauteilen am Deckel. Die fertige Schaltung zeigt Abb.3.

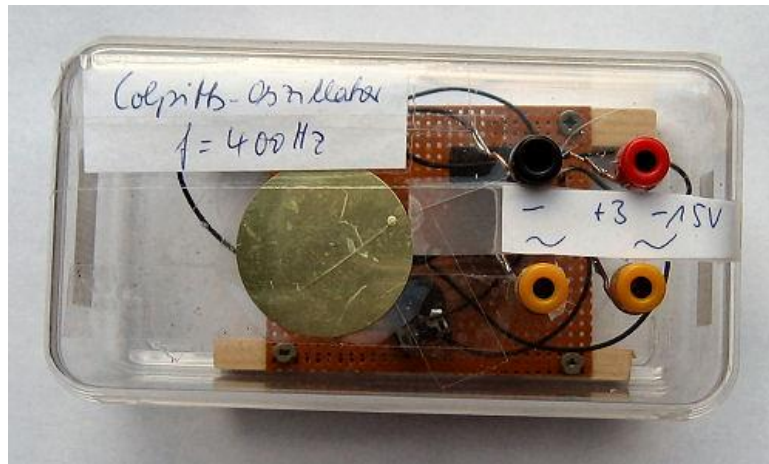


Abb.3: Colpittsoszillator

Versuch 1:

Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 verbindet man mit einer Gleichspannungsquelle zwischen 3 V und 15 V.

Durchführung:

Man schaltet die Versorgungsspannung ein.

Beobachtung:

Aus dem Lautsprecher ertönt ein Signal. Es ist umso lauter, je größer die Betriebsspannung ist.

Erklärung:

Die Schaltung liefert durch Rückkopplung ein sinusförmiges Ausgangssignal im Tonbereich. Dass das richtig ist, zeigt Versuch 2.

Versuch 2:

Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 verbindet man mit einer Gleichspannungsquelle zwischen 3 V und 15 V. An die gelben Buchsen schließt man einen Oszillographen an.

Durchführung:

Man schaltet die Versorgungsspannung und den Oszillographen ein.

Beobachtung:

Man erhält die Kurve in Abb.4.

Erklärung:

Die Primärseite des NF-Überträgers und die beiden Kondensatoren bilden einen Schwingkreis. Um ihn zu entdämpfen, wird ein Teil der Schwingkreisspannung auf den Emitter des Transistors rückgekoppelt, der somit im Takte des Schwingkreises ein- und ausgeschaltet wird. Ist er eingeschaltet, so wird dem Schwingkreis Energie zugeführt, sperrt er, so kann der Schwingkreis frei schwingen. Insgesamt baut sich eine sinusförmige pulsierende Gleichspannung auf, die durch den Überträger in eine echte Wechselspannung umgewandelt wird. Die Frequenz der Wechselspannung wird durch die Induktivität der Primärspule des NF-Überträgers und die beiden Kondensatoren bestimmt. Sie beträgt mit den angegebenen Bauteilen $f = 400 \text{ Hz}$.

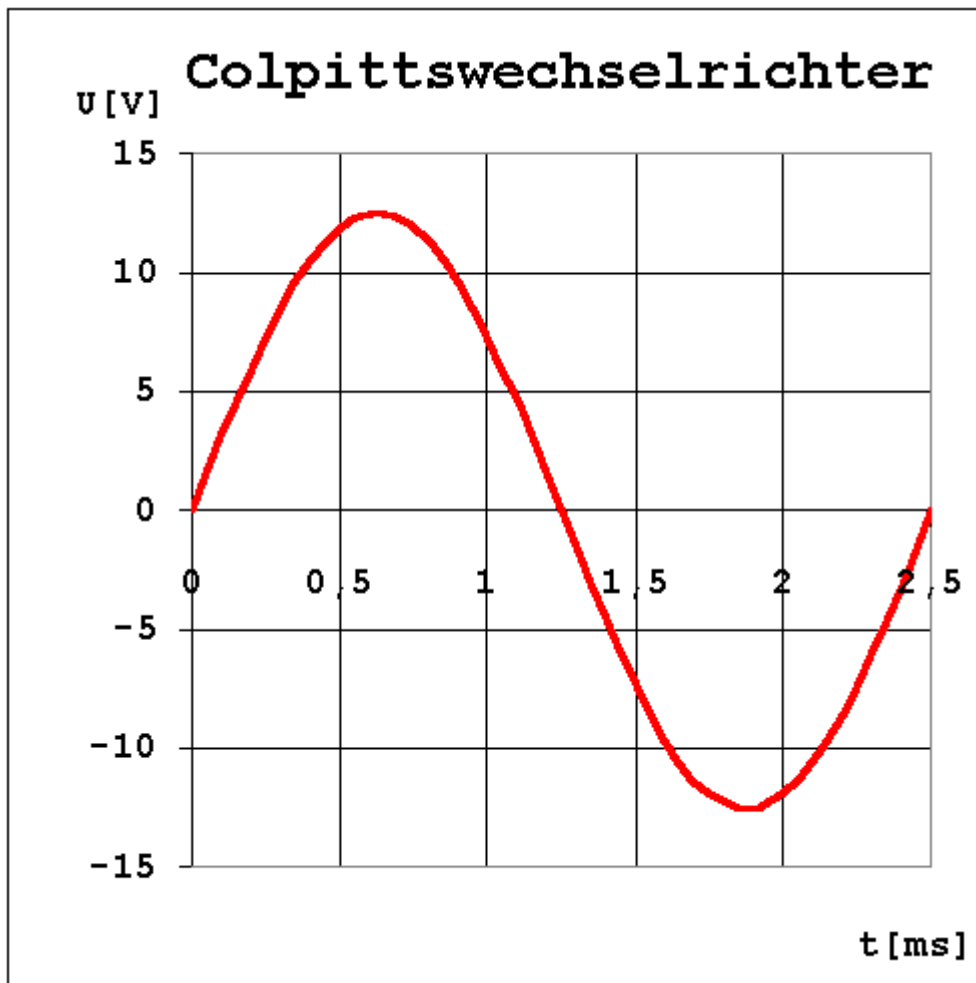


Abb.4: Ausgangsspannung am Colpittswechselrichter

3. Anwendungen

3.1 Netzteil

Elektronische Geräte wie Handys, MP3-Player, Radios, Walkman oder auch LED-Lichterketten benötigen kleine Gleichspannungen. Will man sie daher am Netz mit 230V-Wechselspannung betreiben, so braucht man ein Netzgerät. Bei geringer Anforderung an die Güte der Gleichspannung reicht ein Gerät nach Abb.1 aus.

Es besteht aus vier Baugruppen:

- a) einem Kleintrafo mit einem oder mehreren Sekundärausgängen für verschiedene Spannungen,
- b) einem Brückengleichrichter aus vier Dioden oder in Form eines integrierten Bausteins,
- c) einem Kondensator und
- d) bei mehreren Sekundärspannungen einem Wahlschalter.

Diese vier Einheiten kann man in Abb.1 deutlich erkennen. Den genauen elektronischen Aufbau entnehmen Sie Abb.2. Zunächst wird die Wechselspannung auf 3 - 12 V heruntertransformiert, dann mit vier Dioden gleichgerichtet und mit dem Kondensator geglättet. Dabei wechselt die Polung an den Eingängen des Gleichrichters wegen der Netzfrequenz von 50Hz in jeder Sekunde 100 mal. Liegt am linken Eingang plus und am rechten minus an, verdeutlicht durch die roten Plus- und Minuszeichen, so leiten die beiden roten Dioden den Strom, bei umgekehrter Polung die grünen. So ist gewährleistet, dass der obere Ausgang des Netzgerätes stets der Pluspol und der untere der Minuspol ist. Mit dem Kondensator wird die so gewonnene pulsierende Gleichspannung geglättet. Den Verlauf der Ausgangsspannung bei Belastung habe ich im Artikel Transformator auf dieser Internetseite genauer untersucht (s. A. Reichert: Transformator).

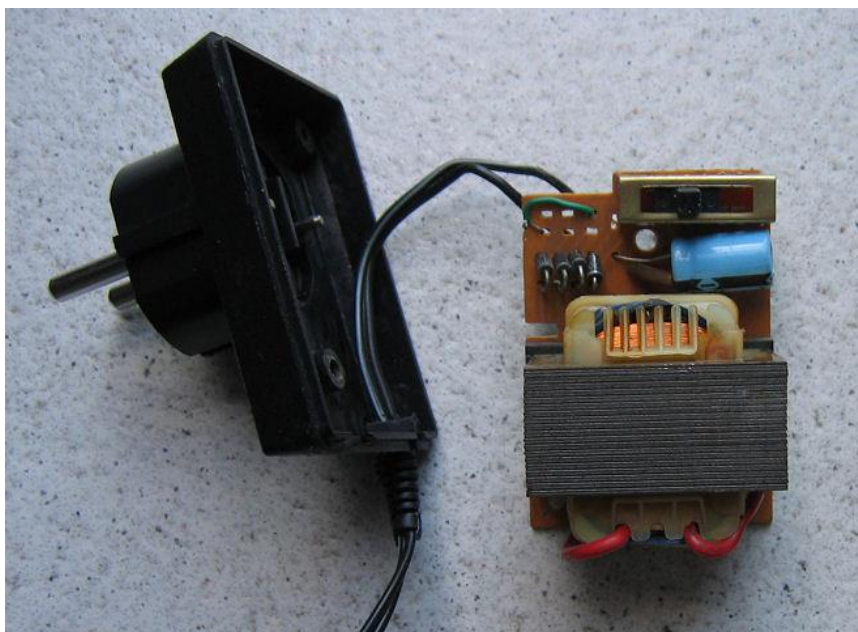


Abb.1: einfaches Netzgerät

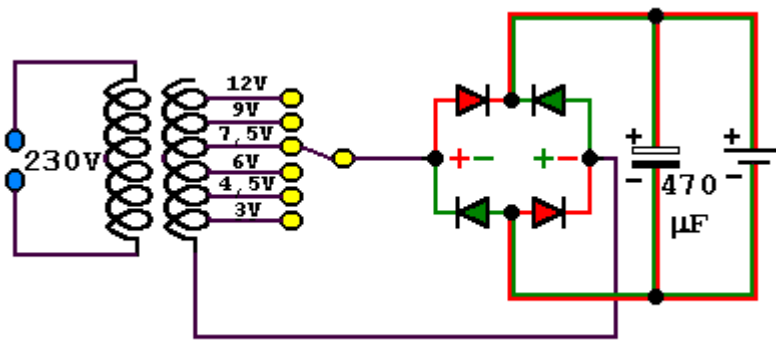


Abb.2: Schaltplan des Netzgerätes

3.2 Trickschaltung mit Dioden

Mit ein paar Bauteilen lässt sich eine Trickschaltung aufbauen, die auch jeden Physiker auf den ersten Blick verblüfft. Abb.1 zeigt den Schaltungsaufbau.

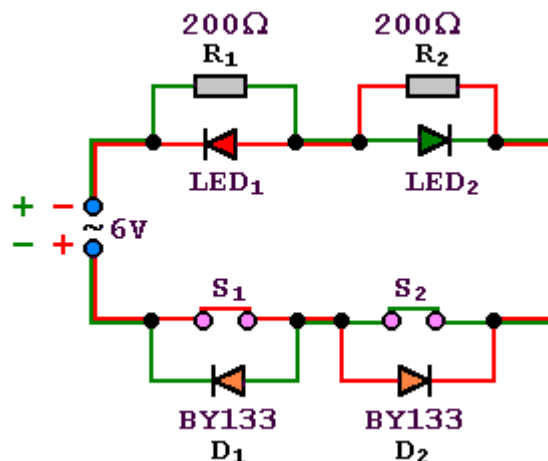


Abb.1: Trickschaltung mit Dioden

Versuch:

Aufbau:

Man baut die Schaltung mit einem Elektronikbaukasten auf oder lötet sie auf einer Lochrasterplatine zusammen.

Durchführung:

Man schließt erst den Schalter S₁, dann Schalter S₂ und zum Schluss beide gleichzeitig.

Beobachtung:

Ist Schalter S₁ geschlossen, so leuchtet nur die rote LED₁, ist Schalter S₂ geschlossen, so brennt die grüne LED₂. Sind beide Schalter geschlossen, so leuchten beide LED's gleichzeitig.

Erklärung:

Obwohl die LED's und die Schalter in Reihe liegen, kann man mit dem roten Schalter die rote LED und mit dem grünen die grüne LED zum Leuchten bringen. Der Grund dafür sind die beiden Dioden D₁ und D₂, die parallel zu den Schaltern liegen. Ist nur S₁ geschlossen, so kann der Strom über den Schalter S₁, die

Diode D_2 und den Widerstand R_2 zur roten LED LED_1 fließen, wenn der untere Pol der Stromquelle plus führt (rote Polung in Abb.1). Sie leuchtet, da für sie die Spannungsquelle gerade richtig gepolt ist. In der positiven Halbwelle (grüne Polung in Abb.1) leuchtet sie nicht, da die Diode D_2 sperrt. Die grüne LED_2 dagegen leuchtet in keiner der beiden Halbwellen, da sie in der 1. Halbwelle selbst sperrt und in der zweiten Halbwelle die Diode D_2 sperrt. Ist nur Schalter S_2 geschlossen, so kann die grüne LED bei grüner Polung der Spannungsquelle leuchten, da der Stromkreis über R_1 , LED_2 , S_2 und D_1 geschlossen ist. Die rote LED leuchtet dagegen nicht. Bei der roten Polung der Spannungsquellen leuchtet keine der beiden LED's, da die Diode D_1 sperrt. Sind beide Schalter geschlossen, so leuchtet in der einen Halbwelle die rote, in der zweiten die grüne LED. Die Widerstände R_1 und R_2 müssen den Strom durch die LED's auf den zulässigen Wert von etwa 20 mA bei einer Spannung von 2V begrenzen. Für sie gilt daher:

$$R = (6V-2V)/0,02A \\ = 200\Omega.$$

Zwei vietnamesische Schüler meines Physikleistungskurses haben mich vor Jahren mit einer Erweiterung der Schaltung sehr verwirrt. Sie wünschten mir mit viel sagender Miene viel Spaß mit dem kleinen Geschenk. Wie sich nach langem Ausprobieren und Überlegen herausstellte, hatten sie in einer 4,5V Taschenlampenbatterie eine Monozelle durch einen kleinen Wechselrichter ersetzt, so dass die Batterie am Ausgang Wechselspannung lieferte. Außerdem manipulierten sie zwei kleine Glühbirnchen und zwei Mikroschalter, in dem sie in alle vier Bauteile Dioden einlöteten. Schloss man diese Reihenschaltung aus zwei Schaltern und zwei Glühbirnchen an die Batterie an, so konnte man mit dem einen Schalter die eine Lampe und mit dem anderen Schalter die andere Lampe zum Leuchten bringen. Damit die Batterie beim Stehen durch die Elektronik nicht so schnell leer wurde, hatten sie außerdem einen Quecksilberschalter eingebaut, so dass die Batterie nur funktionierte, wenn sie auf der Seite lag. Das alles war so perfekt gemacht, dass man mit bloßem Auge von außen die Manipulationen nicht erkennen konnte. Dem Geheimnis kam ich erst auf die Schliche, als ich die vermeintlich normale Batterie an einen Oszillographen anschloss. Ich möchte nicht wissen, wie viele Stunden die Schüler für diese Trickschaltung gebraucht haben. Leider wurde die Schaltung durch Unwissenheit eines Kollegen zerstört. Er verwechselte sie mit einer normalen Batterie, nachdem ich sie nach einer Demonstration in der Sammlung vergessen hatte.

3.3 Autowechselrichter

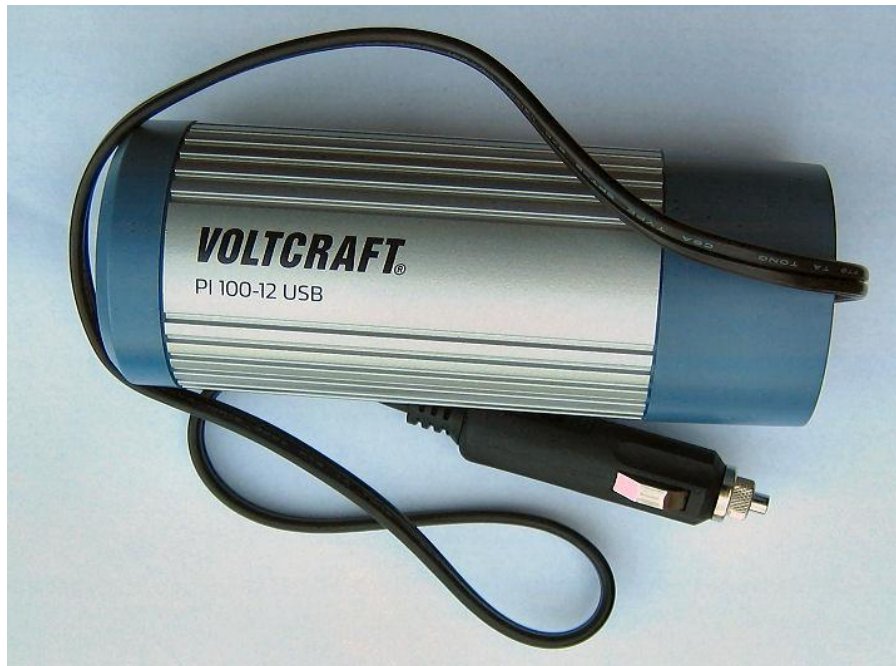


Abb.1: Autowechselrichter

Abb.1 zeigt einen kleinen Wechselrichter der Firma Voltcraft (Bezugsquelle Conrad-Electronic), wie er für Autos verwendet wird. Er wird an die Steckdose des Zigarettenanzünders angeschlossen und liefert an seinem Ausgang eine Wechselspannung von 50 Hz bei einer Dauerleistung von 100W und einer kurzzeitigen Spitzenleistung von 200W. Um die Form der Spannung mit der Sinusspannung des Netzes vergleichen zu können, führt man folgenden Versuch durch.

Versuch:

Aufbau:

Man baut die Prüfschaltung nach Abb.2 auf.

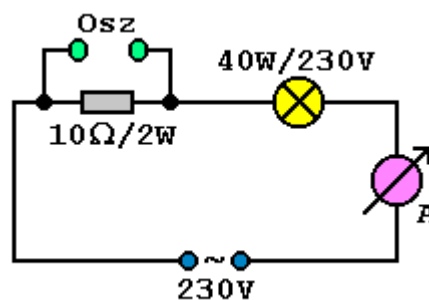


Abb.2: Prüfschaltung

Durchführung:

Man schließt sie über eine Sicherheitssteckdose zunächst an den Ausgang des Wechselrichters an. Der Wechselrichter wird auf der Eingangsseite mit einer Autobatterie, einem Solarmodul oder einem geglätteten Gleichspannungstrafo verbunden, die an ihrem Ausgang 5A und 12 V liefern können. Anschließend legt

man die Prüfschaltung über einen Trenntrafo ans Netz. Dabei ist ein Trenntrafo unbedingt erforderlich, da man sonst mit der Erde des Oszillographen Probleme bekommt und die Sicherung und/oder der FI-Schalter auslösen.

Beobachtung:

Man erhält auf dem Oszillographen die Kurven in Abb.3. In beiden Fällen fließt ein Wechselstrom $I_{eff} = 0,177A$.

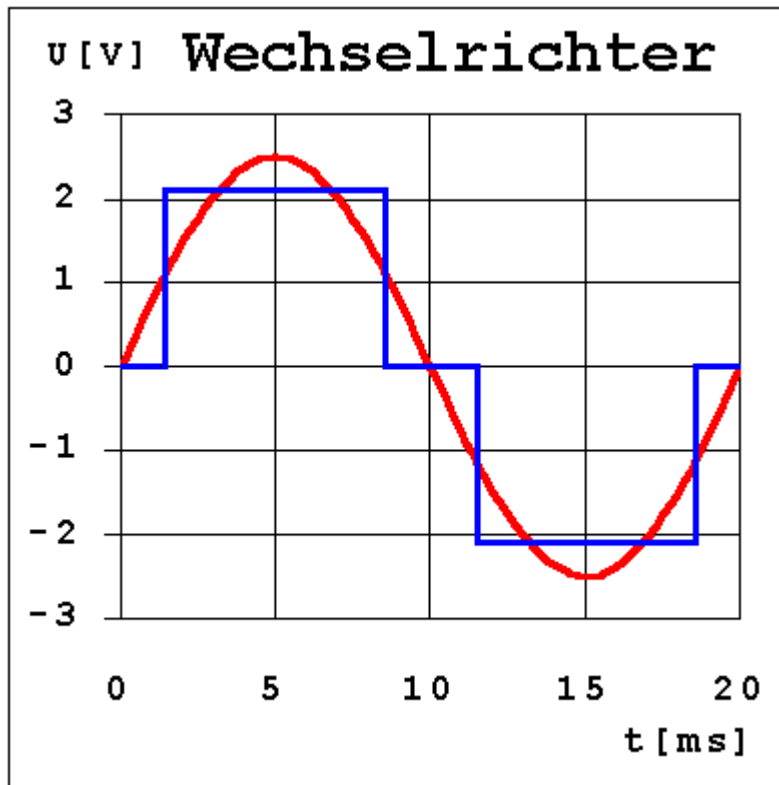


Abb.3: Prüfspannungen

Auswertung:

Die rote Kurve zeigt den Verlauf der Sinuswechselspannung im öffentlichen Netz, die blaue den Verlauf der Spannung am Wechselrichter. Da beide recht ähnlich sind, kann man mit dem Wechselrichter fast alle Geräte betreiben, die fürs Stromnetz geeignet sind, also z.B. eine Lampe etwa für Reparaturen am Auto oder beim Campen aber auch kleinere Fernsehgeräte usw. Bei einigen Geräten muss man beachten, dass die Spitzenleistung beim Einschalten die zulässige Spitzenausgangsleistung des Wechselrichters nicht übersteigt. Das kann vor allem bei Geräten der Fall sein, die Elektromotoren enthalten, wie z.B. Bohrmaschinen. Stromnetz und Wechselrichter liefern den gleichen Effektivwert der Spannung. Dazu errechnet man zunächst die Amplitude U_N der Wechselspannung aus dem Netz und dann den Maximalwert der Ausgangsspannung U_W des Wechselrichters. Es gilt:

$$R_{ges} = 230V/0,177A$$

$$= 1300\Omega.$$

Aus den Kurven liest man für den Maximalwert der Spannung am Widerstand R bei Netzspannung U_{RN} und bei der Spannung des Wechselrichters U_{RW} ab:

$$\begin{aligned}U_{RN} &= 2,5V \\U_{RW} &= 2,1V.\end{aligned}$$

Für die Maximalwerte der Gesamtspannungen U_N und U_W erhält man damit

$$\begin{aligned}U_N &= R_{ges} \cdot U_{RN} / R \\&= 1300\Omega \cdot 2,5V / 10\Omega \\&= 325V\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}U_W &= R_{ges} \cdot U_{RW} / R \\&= 1300\Omega \cdot 2,1V / 10\Omega \\&= 273V\end{aligned}$$

Bei Sinusspannung gilt zwischen dem Effektivwert U_{eff} und der Amplitude U_0 der Spannung folgender Zusammenhang:

$$\begin{aligned}U_{eff} &= U_0 / \text{sqr}(2) \\&= 325V / \text{sqr}(2) \\&= 230 \text{ V}.\end{aligned}$$

Für die Ausgangsspannung des Wechselrichters kann man den Effektivwert wie folgt errechnen:

$$U_{eff} = \text{sqr}(U_0^2 \cdot t / T)$$

wobei t die Zeit ist, in der die Spannung während einer Periode einen bestimmten Wert hat und T der Periodendauer entspricht. Für die Periodendauer der Wechselspannung gilt:

$$\begin{aligned}T &= 1/f \\&= 1/50\text{Hz} \\&= 0,02\text{s} \\&= 20 \text{ ms}.\end{aligned}$$

Aus der Kurve nach Abb.3 liest man ab, dass die Ausgangsspannung des Wechselrichters während einer Periode

$$t = 14,2 \text{ ms}$$

der Zeit maximal und den Rest der Periode null ist. Damit erhält man für den Effektivwert:

$$\begin{aligned}U_{eff} &= \text{sqr}((273V)^2 \cdot 14,2\text{ms} / 20\text{ms}) \\&= 230V.\end{aligned}$$

Der Wechselrichter hat noch eine Besonderheit. Er liefert an einem USB-Ausgang zusätzlich eine geglättete Gleichspannung

von 5 V bei einem Strom von 500 mA für elektronische Geräte oder zum Laden von Handys. Die restlichen technischen Daten entnehmen Sie der folgenden Tabelle.

Nenneingangsspannung	12V =
Eingangsspannungsbereich	10 bis 15V =
maximaler Eingangsstrom	15A
Standby-Stromverbrauch	250mA
Ausgangsspannung	230V~/50Hz, modifizierte Sinusform
Dauerausgangsleistung	100W, 150W für 30 Minuten
Spitzenausgangsleistung	200W
Leistungseffizienz	90%
USB-Ausgangsleistung	5V =/500mA
Ausschaltsschwellenwert bei niedrigem Batteriestand	9,5±0,5V =
Überhitzungsschutz	60±5°C
Sicherung	250V/15A
Betriebstemperatur	5 bis 45°C
Lagertemperatur	0 bis 50°C
Abmessungen	65x170mm
Gewicht	480g

Tabelle 1: Technische Daten des Autowechselrichters¹⁾

Beim Betrieb muss man beachten, dass die Batterie stark belastet wird. Eine typische Autobatterie besitzt eine Ladungskapazität von

$$Q = 45 \text{ Ah.}$$

Bei einer Leistung des Wechselrichters von

$$P = 100 \text{ W}$$

ergibt sich eine Stromaufnahme auf der Gleichspannungsseite von

$$\begin{aligned} I_0 &= 100\text{W}/12\text{V} \\ &= 8,33 \text{ A.} \end{aligned}$$

bei einer Leistungseffizienz von 100%. Berücksichtigt man den in der Tabelle angegebenen Wirkungsgrad von 90%, so erhält man für den tatsächlichen Strom

$$\begin{aligned} I &= 8,33\text{A}/0,9 \\ &= 9,26 \text{ A.} \end{aligned}$$

Damit wäre die Batterie nach

$$\begin{aligned} t &= 45 \text{ Ah}/9,26\text{A} \\ &= 4,9 \text{ h} \end{aligned}$$

komplett leer. Nach Möglichkeit sollte man den Wechselrichter mit eingeschaltetem Motor, also bei laufender Lichtmaschine benutzen. Dabei darf er jedoch während des Startvorgangs nicht angeschlossen sein, da die Stromversorgung des Zigarettenanzünders während des Startens unterbrochen wird und beim Wiedereinschalten hohe Spannungsspitzen auftreten können, die das Gerät zerstören könnten.

Außerdem sollte man den Standby-Stromverbrauch beachten. Auch er kann die Batterie entladen, und das immerhin nach

$$\begin{aligned}t &= 45\text{Ah}/0,25\text{A} \\ &= 180 \text{ h} \\ &= 7,5\text{d.}\end{aligned}$$

Steht das Auto also etwas mehr als eine Woche, ohne es zu benutzen, so ist die Batterie durch den angeschlossenen Wechselrichter auch ohne Verbraucher bereits leer. Ähnliche Wechselrichter werden in der Solartechnik eingesetzt, allerdings meist mit höherer Leistung und einer besser angepassten Sinusspannung.

4. Literatur

1) Bedienungsanleitung Wechselrichter PI 100-12 USB, Hrsgb.:
Votcraft, Lindenweg 15, D-92242 Hirschau