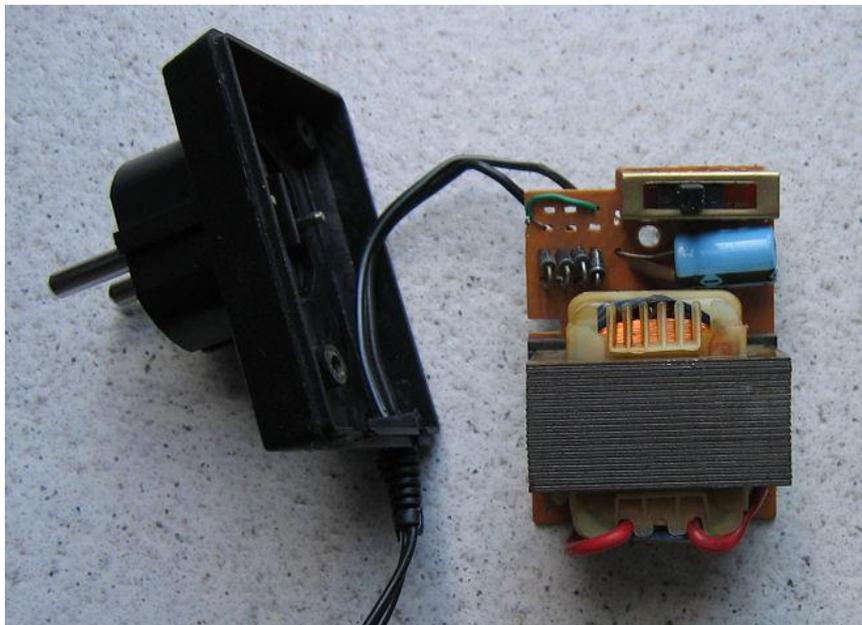


# Gleichrichter Wechselrichter

Alfons Reichert



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Physikalische Grundlagen.....</b>	<b>4</b>
2.1 Theorie .....	4
2.1.1 Gleichrichter .....	4
2.1.2 Wechselrichter .....	8
2.2 Versuche.....	12
2.2.1 Einweggleichrichter .....	12
2.2.2 Zweiweggleichrichter .....	15
2.2.3 Kaskadengleichrichter .....	18
2.2.4 Reedwechselrichter .....	23
2.2.5 Thyristorwechselrichter .....	27
2.2.6 H-Brückenwechselrichter .....	32
2.2.7 Colpitswechselrichter .....	36
<b>3. Anwendungen.....</b>	<b>45</b>
3.1 Netzteil .....	45
3.2 Trickschaltung.....	48
3.3 Autowechselrichter .....	50
<b>4. Literatur.....</b>	<b>56</b>

## 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 LEDs dagegen nur mit Gleichstrom. Als vor rund 120 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 nach wie vor für Wechselstrom ausgelegt sind. Vielleicht ändert sich das in Zukunft. Elektronische Schaltungen, 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 und im März 2021

## 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.

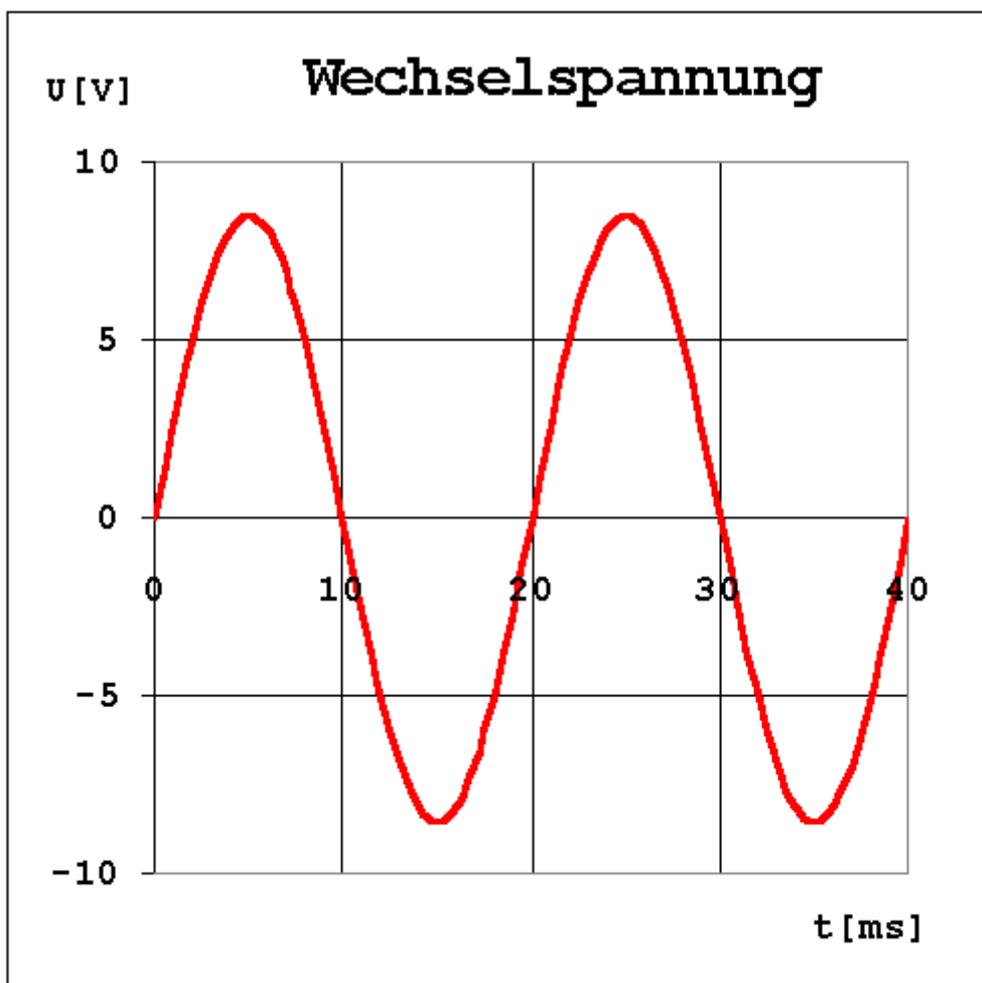


Abb. 1: Sinuswechselspannung

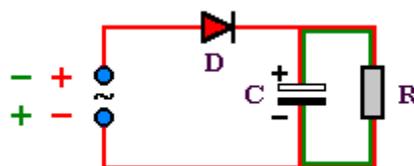
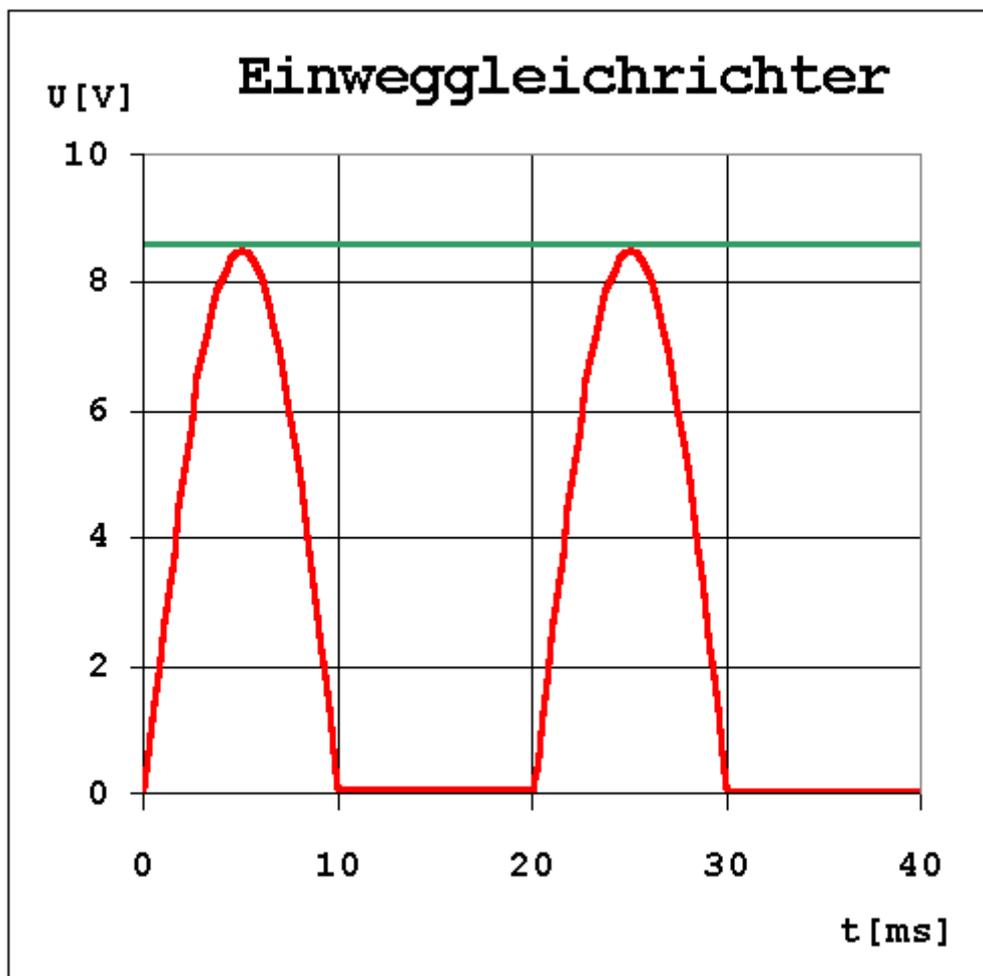


Abb. 2: Einweggleichrichter

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 etwa der Amplitude der Wechselspannung abzüglich der Durchlassspannung der Diode entspricht. Sie ist in Abb. 3 als grüne Linie eingezeichnet. Einweggleichrichter werden häufig als Demodulatoren in Empfangsschaltungen der Kommunikationstechnik eingesetzt. Darin wird die benötigte Leistung durch einen nach geschalteten 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.

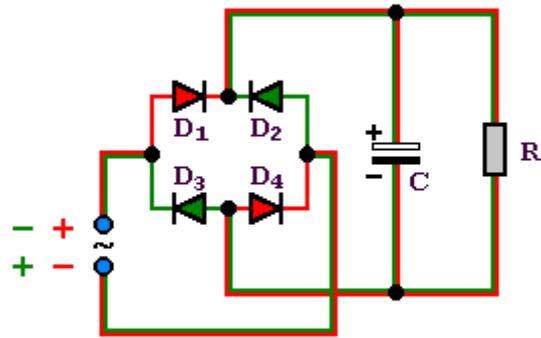


Abb. 4: Zweiweggleichrichter

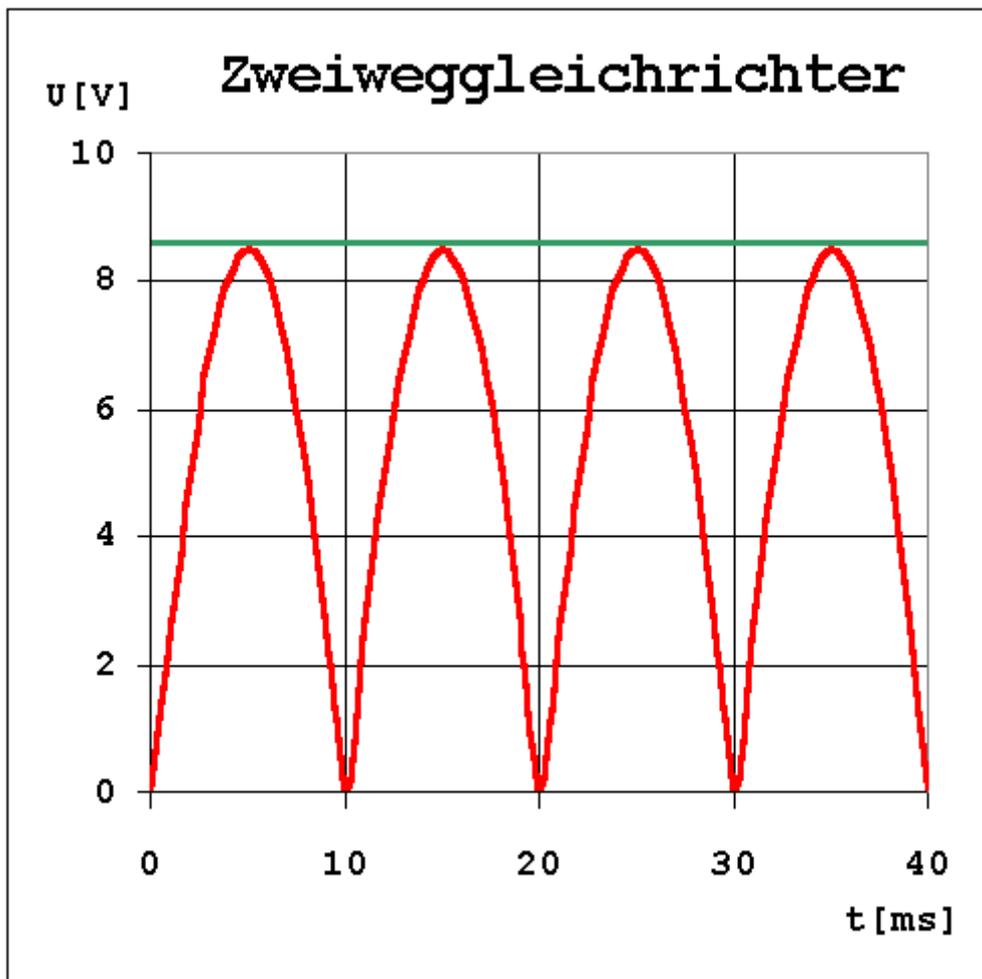


Abb. 5: Ausgangsspannung am Zweiweggleichrichter

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 als beim Einweggleichrichter. Die maximal abgreifbare Gleichspannung entspricht auch in diesem Falle der Amplitude der Wechselspannung abzüglich der Durchlass-

spannung der beiden Dioden. Sie ist in Abb. 5 als grüne Linie zu erkennen. Zweiweggleichrichter finden Verwendung in vielen Netzteilen elektronischer Kleingeräte.

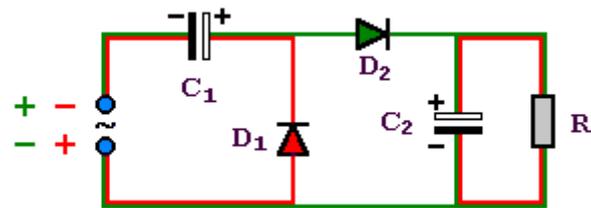


Abb. 6: Kaskadengleichrichter

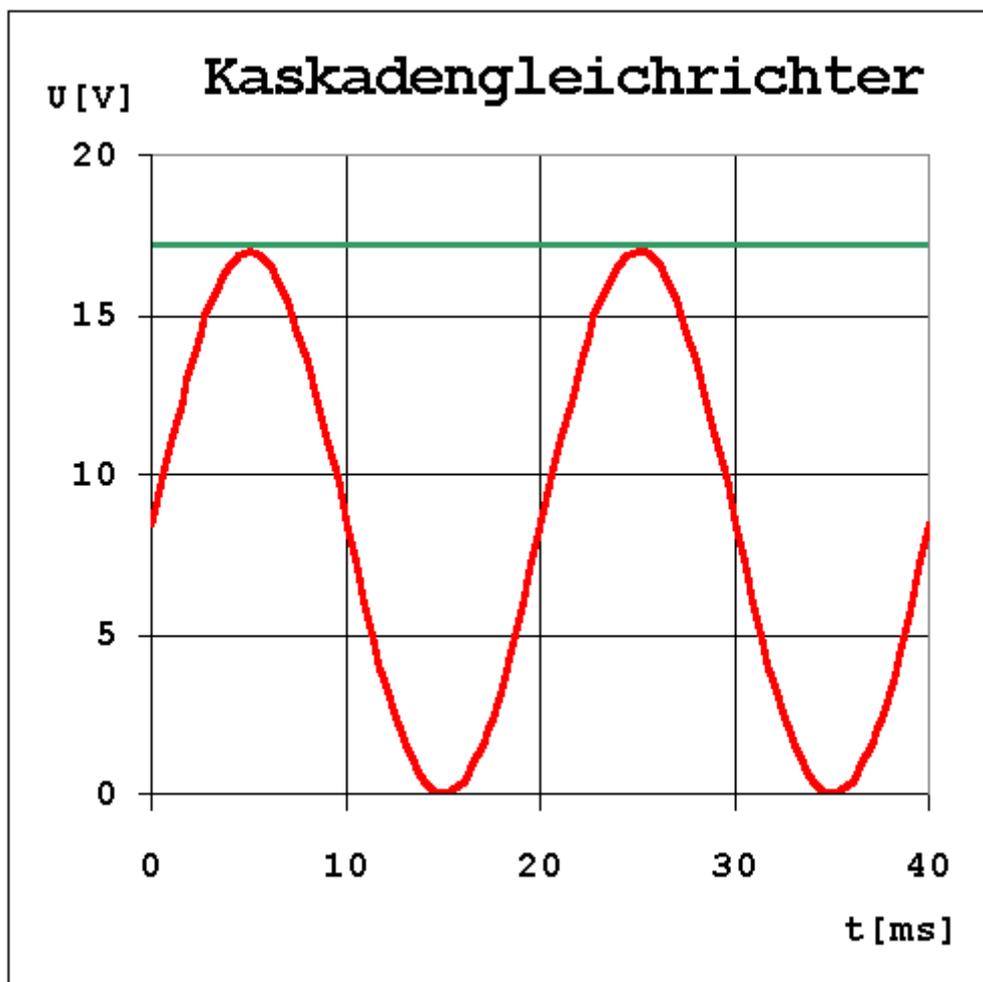
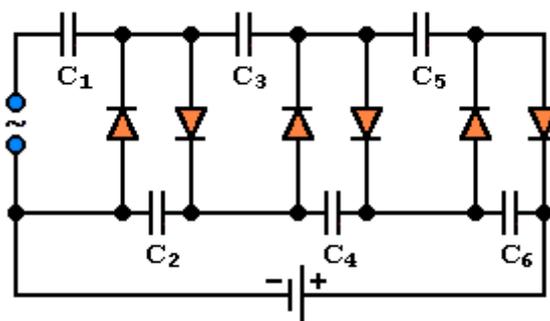


Abb. 7: Ausgangsspannung Kaskadengleichrichter

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 abzüglich der Durchlassspannung der beiden Dioden. 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

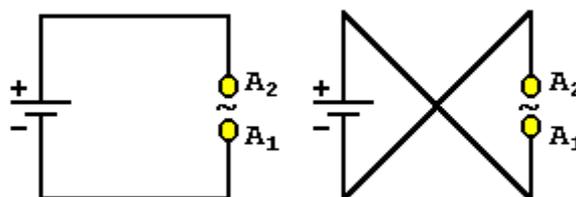
Diode  $D_2$ . Der Kondensator  $C_2$  wird auf die doppelte Amplitude der Wechselspannung aufgeladen, da der Kondensator  $C_1$  als zusätzliche Gleichspannungsquelle wirkt, die mit der Wechselspannungsquelle in Reihe geschaltet ist. Zumindest ist das rein theoretisch so. Denn in Wirklichkeit gibt Kondensator  $C_1$  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. Die pulsierende Ausgangsspannung ist in der Praxis nicht um die Amplitude der Wechselspannung nach oben verschoben, sondern nur um einen etwas 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

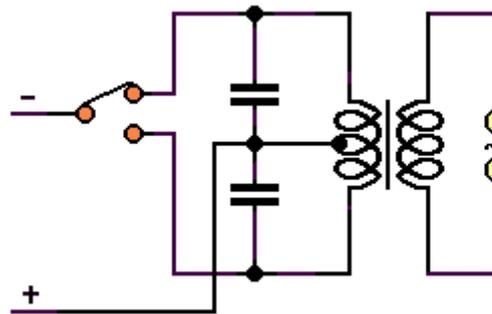
Wechselrichter wandeln Gleichspannung in Wechselspannung um. Sie enthalten meist einen Polwechsler, der die Pole der eingespeisten Gleichspannung im Takte der gewünschten Wechselspannung wechselseitig mit den Ausgängen verbindet. In einer Halbwelle wird der Ausgang  $A_1$  mit dem Minuspol der Gleichspannungsquelle 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).



**Abb. 1: Polwechsler**

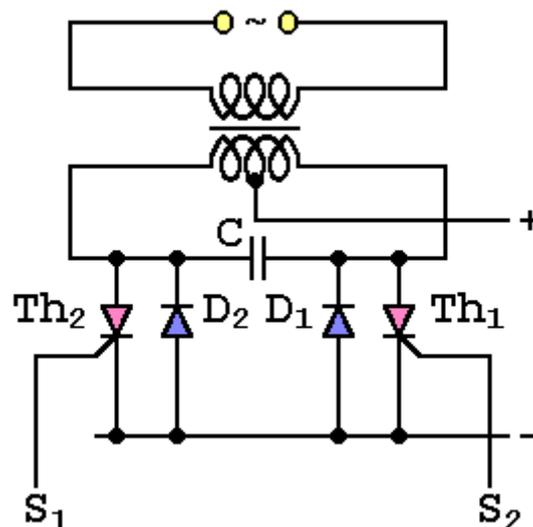
Die dabei eingesetzten Techniken sind sehr unterschiedlich. Sie sollen im Folgenden behandelt werden. Im einfachsten Falle verwendet man einen Wechselschalter. Abb. 2 zeigt einen Schaltungsaufbau, wie er früher häufig verwendet wurde. Man spricht von einem mechanischen Zerhacker. Der Wechselschalter 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 Ver-

lauf 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.



**Abb. 2: mechanischer Wechselrichter**

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  $S_1$  bzw.  $S_2$  am jeweiligen Gate gesteuert. Der Kondensator C 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: Thyristorwechselrichter**

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  $S_2$ . H-Brückenwechselrichter werden in der HGÜ-Technik (vgl. A. Reichert Transformatoren) verwendet.

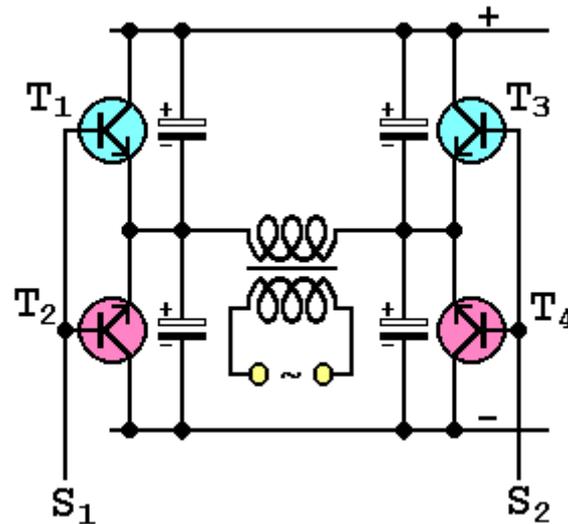


Abb.4: H-Brückenwechselrichter

Eine ganz andere Lösung für einen Wechselrichter zeigt Abb. 5.

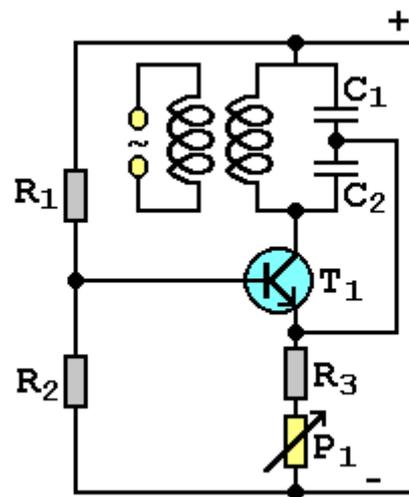
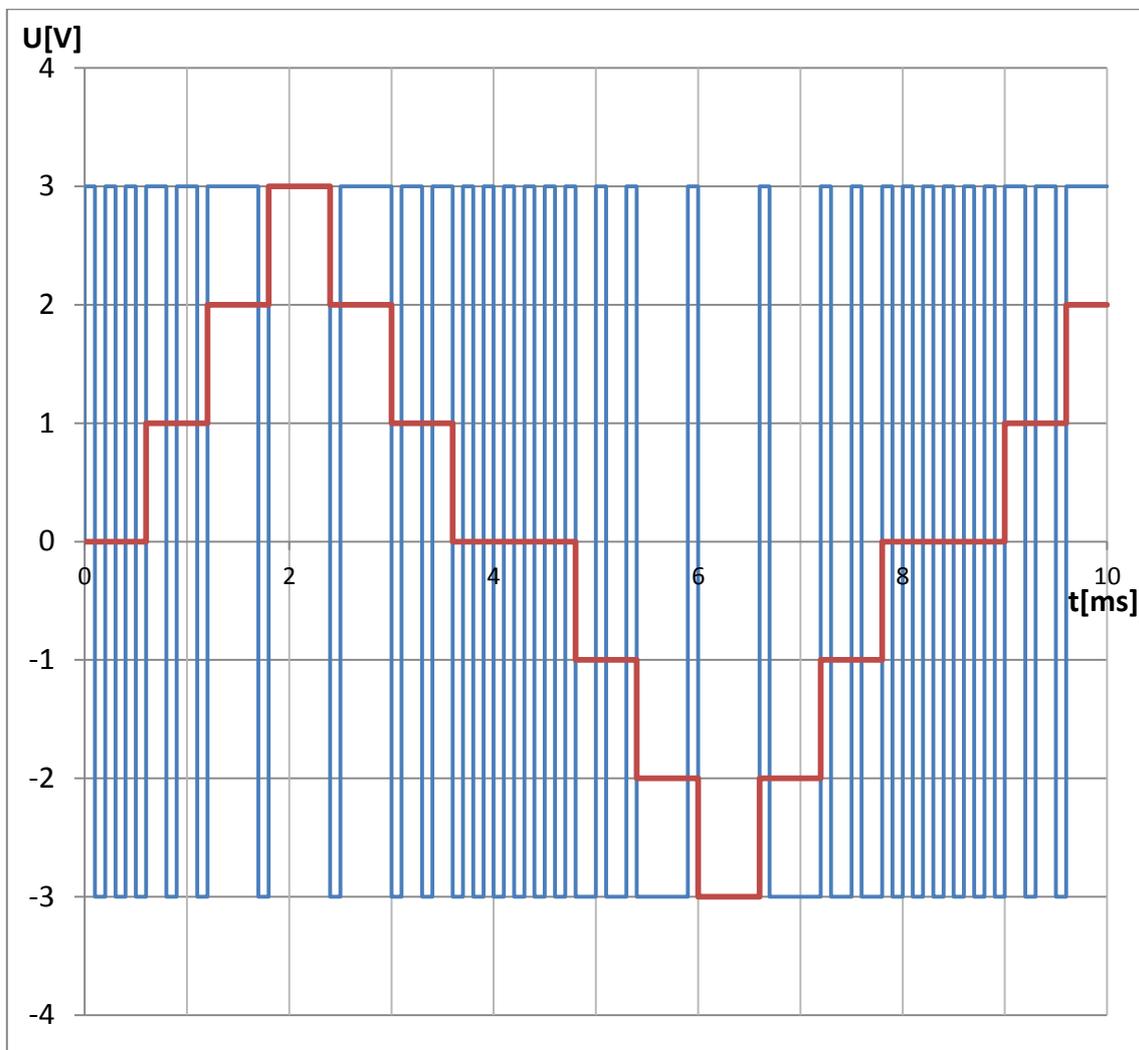


Abb. 5 Colpittswechselrichter

Er besteht aus einem Colpittsoszillator, der von selbst sinusförmige Wechselspannung liefert. Auch andere Oszillatorschaltungen sind möglich, etwa der Hartley- oder der Meißnerszillator. 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 Rückkopplungsschal-

tung. 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 Oszillatorspule 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.

Über die Einschaltzeiten der Transistoren beim H-Brückenwechselrichter bzw. der Thyristoren beim Thyristorwechselrichter lässt sich jede beliebige Form der Ausgangswechselspannung einstellen. So kann man z.B. sinusförmige Wechselspannung durch Pulsweitenmodulation nach Abb. 6 simulieren. Ein nachgeschalteter Tiefpassfilter in Form einer Induktivität oder Kapazität glättet das aus kurzen Pulsen erzeugte Signal, so dass eine saubere Sinusspannung entsteht.



**Abb. 6: simulierte angenäherte Sinusspannung**

## 2.2 Versuche

### 2.2.1 Einweggleichrichter

#### Versuch 1:

##### Aufbau:

Man baut mit einem Elektronikkasten die Schaltung nach Abb. 1 auf. Man schließt sie an eine Wechselspannungsquelle mit  $U = 6,3\text{ V}$  an. Für die Spannungsmessung benutzt man ein Messwerterfassungssystem, etwa cassy der Firma Leybold. Als Kondensator wählt man eine Kapazität  $C = 220\ \mu\text{F}$ , für den Widerstand einen Wert  $R = 1\ \text{k}\Omega$ .

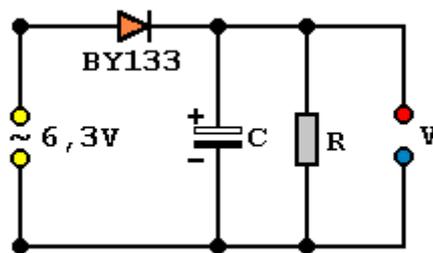


Abb. 1: Einweggleichrichter

##### Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. In cassy wählt man als Messzeit  $t = 50\text{ ms}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 100\ \mu\text{s}$ . Man startet die Messung. Sie stoppt automatisch. Dann wiederholt man den Messvorgang mit Kondensator, aber ohne Widerstand und nochmals mit Widerstand, aber ohne Kondensator. Zuvor sollte man die Option „Messreihe hinzufügen“ in cassy aktivieren.

##### Beobachtung:

Man erhält die Messkurven in Abb. 2.

##### Erklärung:

Ohne Widerstand (rote Kurve) lädt sich der Kondensator auf die Amplitude der Wechselspannung  $U_0$  abzüglich der Durchlassspannung  $U_D$  der Diode, also auf

$$U = U_0 - U_D = U_{eff} * \sqrt{2} - U_D = 6,3\text{V} * \sqrt{2} - 0,6\text{V} = 8,3\text{V}.$$

auf. Ohne Kondensator (blaue Kurve) liegt am Widerstand zu jedem Zeitpunkt die gleichgerichtete Wechselspannung abzüglich der an der Diode abfallenden Spannung  $U_D$  an. Die maximale Spannung sollte ebenfalls  $U = 8,3\text{ V}$  betragen, ist aber im Versuch etwas kleiner, da die Durchlassspannung der Diode mit steigender Stromstärke ein wenig zunimmt. Liegen beide Bauteile, Kondensator und Widerstand am Ausgang des Gleichrichters (schwarze Kurve), so lädt in einer Halbperiode 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 aufrechterhalten. 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 mehr oder weniger geglättet. Die Schwankung der Ausgangsspannung nennt man Welligkeit. Sie macht sich in Audiogeräten als Brummen bemerkbar. Um sie

so gering wie möglich 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 oder Schaltregler liefern an ihrem Ausgang eine vollkommen geglättete Gleichspannung.

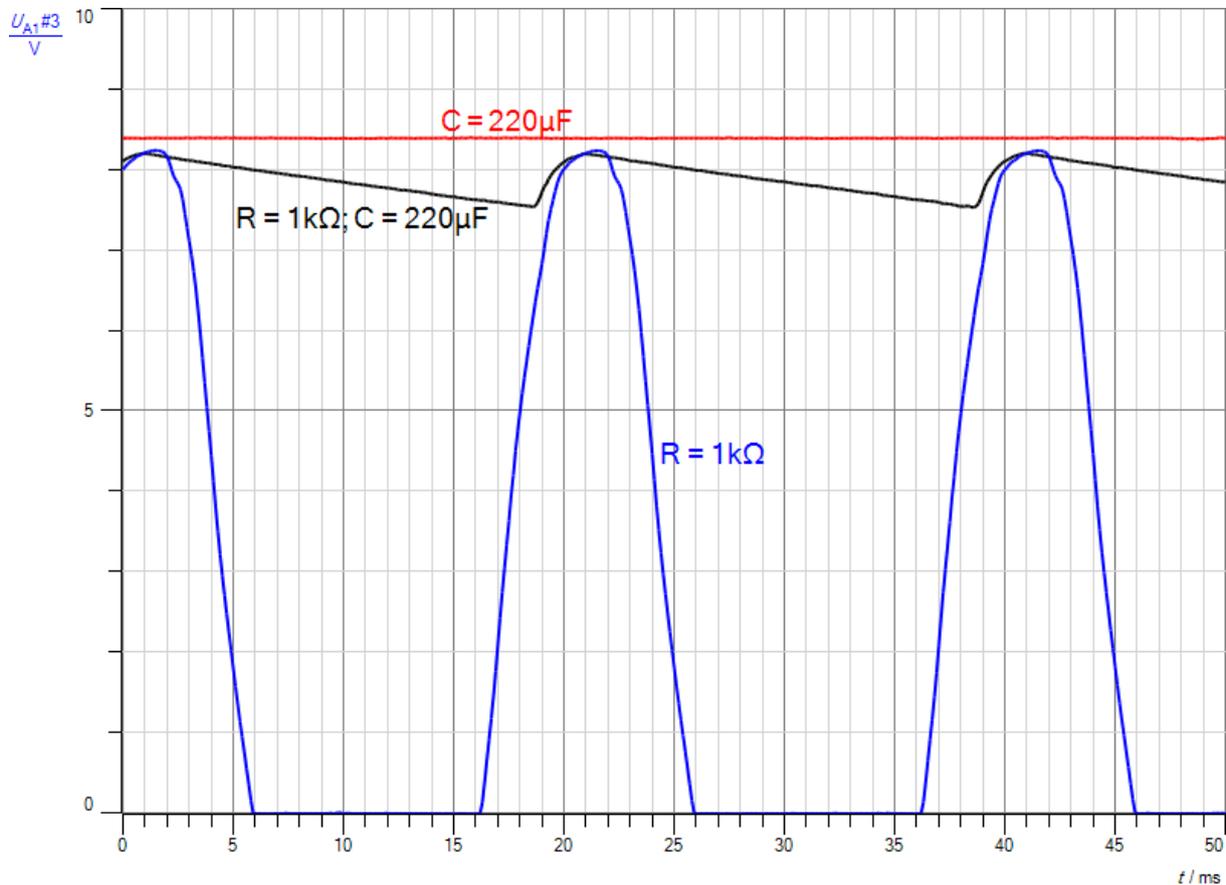


Abb. 2: Messkurven

### Versuch 2a:

#### Aufbau:

Man benötigt den gleichen Versuchsaufbau wie bei Versuch 1.

#### Durchführung:

Man wiederholt Versuch 1 mit einem konstanten Widerstand  $R = 100 \Omega$  und verschiedenen Kondensatoren.

#### Beobachtung:

Man erhält die Messkurven in Abb. 3.

#### Folgerung:

Der Mittelwert der Spannung steigt ein wenig mit größer werdendem Kondensator, die Restwelligkeit dagegen sinkt. Sie lässt sich aber auch mit einem sehr großen Kondensator nie ganz unterdrücken. Daher sind Einweggleichrichter nicht für Audiogeräte geeignet, sondern 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 zusätzlich verstärkt wird. Außerdem wird darin ein moduliertes Hochfrequenzsignal gleichgerichtet, wobei nur eine Halbwelle benötigt wird, da sie alle benötigten Informationen enthält (s. A. Reichert: Radiosender/Radioempfänger).

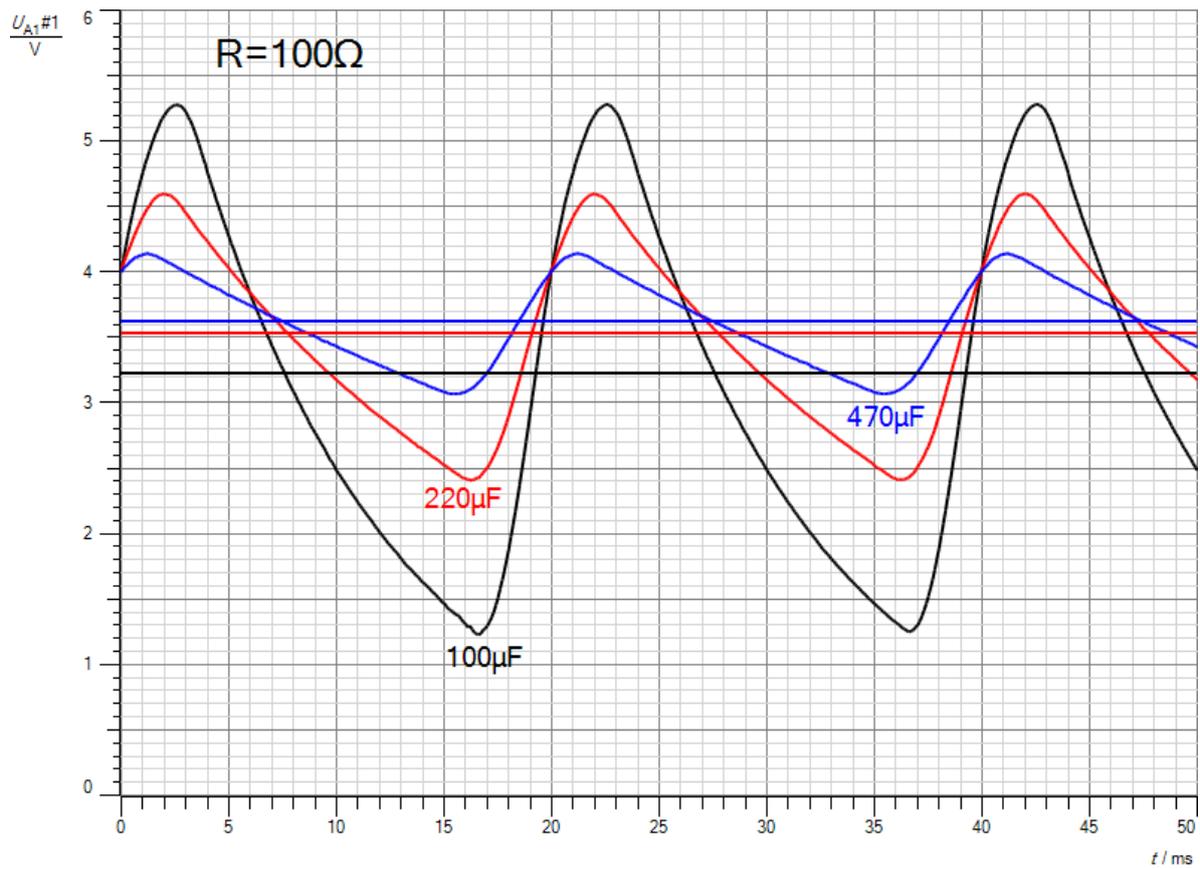


Abb. 3: Messkurven

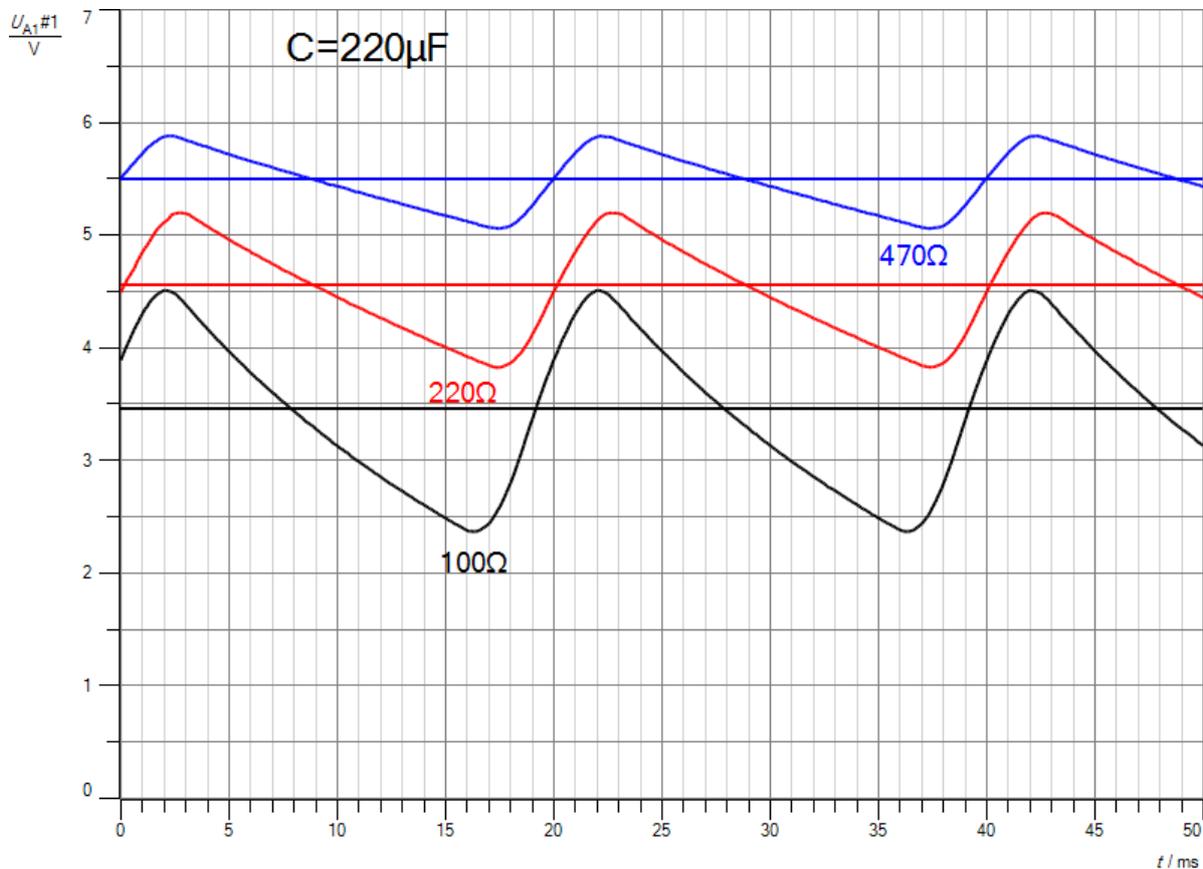


Abb. 4: Messkurven

## Versuch 2b:

### Aufbau:

Man benötigt den gleichen Versuchsaufbau wie bei Versuch 1.

### Durchführung:

Man wiederholt Versuch 1 mit einem konstanten Kondensator  $C = 220 \mu\text{F}$  und verschiedenen Widerständen.

### Beobachtung:

Man erhält die Messkurven in Abb. 4.

### Folgerung:

Je größer der Widerstand, umso geringer ist die Restwelligkeit der Gleichspannung und umso größer ist ihr Mittelwert. Daher wird auf Netzteilen immer die Ausgangsspannung bei verschiedenen Belastungen angegeben. Das sollte man beachten, wenn man das gleiche Netzteil für verschiedene Verbraucher einsetzt. Sonst kann es leicht passieren, dass Geräte mit kleiner Stromstärke wie LEDs überlastet werden.

## 2.2.2 Zweiweggleichrichter

### Versuch 1:

#### Aufbau:

Man baut mit einem Elektronikkasten die Schaltung nach Abb. 1 auf. Man schließt sie an eine Wechselspannungsquelle mit  $U = 6,3 \text{ V}$  an. Für die Spannungsmessung benutzt man ein Messwerterfassungssystem, etwa cassy der Firma Leybold. Als Kondensator wählt man eine Kapazität  $C = 220 \mu\text{F}$ , für den Widerstand einen Wert  $R = 1 \text{ k}\Omega$ .

#### Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. In cassy wählt man als Messzeit  $t = 50 \text{ ms}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 100 \mu\text{s}$ . Man startet die Messung. Sie stoppt automatisch. Dann wiederholt man den Messvorgang mit Kondensator, aber ohne Widerstand und nochmals mit Widerstand, aber ohne Kondensator. Zuvor sollte man die Option „Messreihe hinzufügen“ in cassy aktivieren.

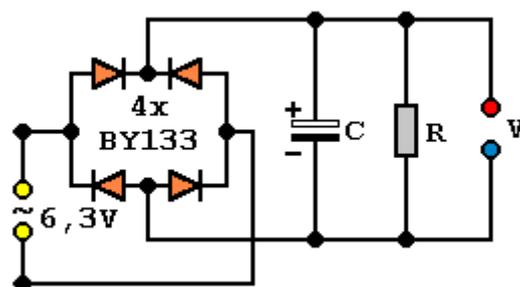


Abb. 1: Zweiweggleichrichter

### Beobachtung:

Man erhält die Kurven in Abb.2.

### Erklärung:

Ohne Widerstand (rote Kurve) lädt sich der Kondensator auf die Amplitude der Wechselspannung  $U_0$  abzüglich der Durchlassspannung  $U_D$  der beiden Dioden, also auf etwa

$$U_0 = U_{eff} * \sqrt{2} - U_D = 6,3V * \sqrt{2} - 2 * 0,5V = 7,8V.$$

auf. Ohne Kondensator (blaue Kurve) liegt am Widerstand die gleichgerichtete Wechselspannung abzüglich der an den beiden Dioden abfallenden Spannung  $2 \cdot U_D$  an. Die maximale Spannung sollte ebenfalls  $U = 7,8 \text{ V}$  betragen, ist aber etwas kleiner, da mit steigender Stromstärke die Durchlassspannung der Dioden ein wenig zunimmt. Liegen beide Bauteile, Kondensator und Widerstand am Ausgang des Gleichrichters (schwarze Kurve), so lädt sich der Kondensator in jeder Halbwelle auf, sobald die Ausgangsspannung des Gleichrichters die an ihm noch anliegende Spannung übersteigt. Außerdem treibt die Ausgangsspannung des Gleichrichters einen Strom durch den Widerstand. Da die Ausgangsspannung schwankt, dabei regelmäßig unter die Spannung am Kondensator fällt, versucht der Kondensator die Spannungslücken aufzufüllen. Er entlädt sich zum Teil, aber weniger als unter vergleichbaren Bedingungen wie bei einem Einweggleichrichter. Die Welligkeit ist geringer. Das verdeutlicht der Versuch 2.

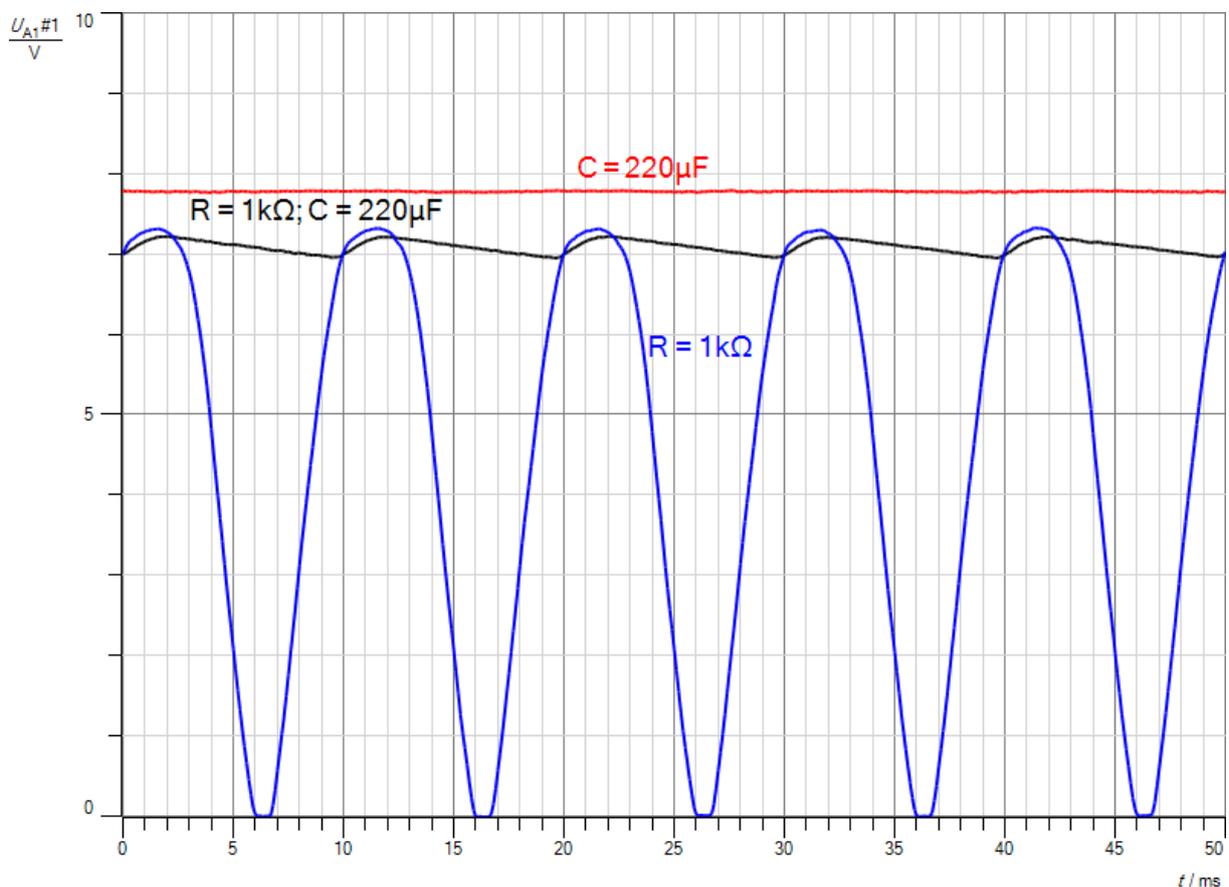


Abb. 2: Messkurven

### Versuch 2a:

#### Aufbau:

Man benötigt den gleichen Versuchsaufbau wie bei Versuch 1.

#### Durchführung:

Man wiederholt Versuch 1 mit einem konstanten Widerstand  $R = 100 \Omega$  und verschiedenen Kondensatoren.

#### Beobachtung:

Man erhält die Messkurven in Abb. 3.

#### Folgerung:

Der Mittelwert der Spannung nimmt zu, die Restwelligkeit dagegen sinkt, wenn der Kondensator größer wird. Die Welligkeit lässt sich aber selbst mit einem großen Kondensator nie

ganz unterdrücken. 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 als bei einem Einweggleichrichter. Außerdem ist die Welligkeit deutlich geringer. Daher können Brückengleichrichter, wie man Zweiweggleichrichter häufig nennt, auch als Netzteil für Audiogeräte wie Transistorradios, MP3-Player und Walkman eingesetzt werden. Stört die Restwelligkeit, so schaltet man ihm einen Spannungsregler nach, der sie komplett unterdrückt.

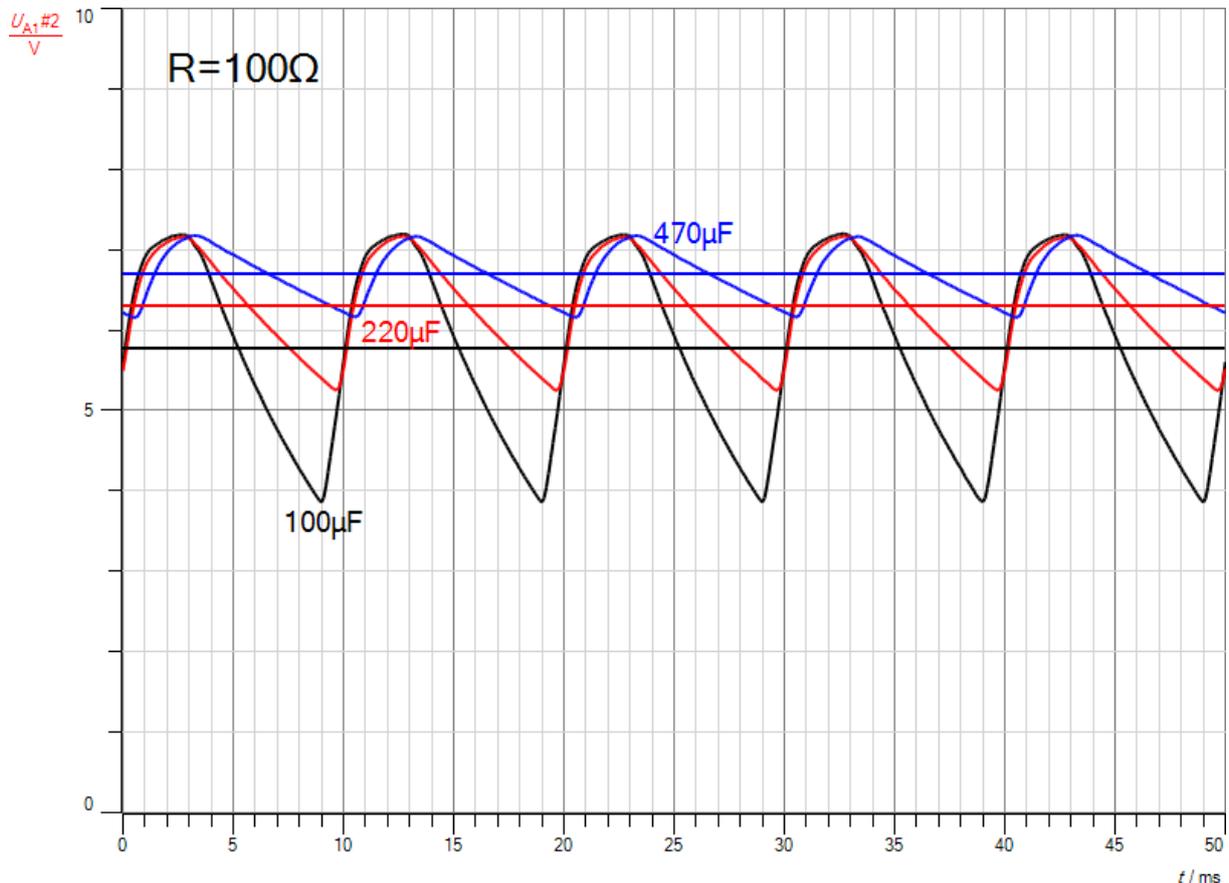


Abb. 3: Messkurven

### Versuch 2b:

#### Aufbau:

Man benötigt den gleichen Versuchsaufbau wie bei Versuch 1.

#### Durchführung:

Man wiederholt Versuch 1 mit einem konstanten Kondensator  $C = 220 \mu\text{F}$  und verschiedenen Widerständen.

#### Beobachtung:

Man erhält die Messkurven in Abb. 4.

#### Folgerung:

Mit steigendem Widerstand nimmt die Restwelligkeit der Gleichspannung ab. Sie ist insgesamt deutlich geringer als beim Einweggleichrichter. Der Mittelwert der Spannung steigt, wenn der Widerstand zunimmt und die Belastung sinkt. Die Werte liegen höher als beim Einweggleichrichter unter gleichen Bedingungen. Sie weichen für die verschiedenen Widerstände weniger voneinander ab. Trotzdem muss auf Netzteilen immer die Ausgangsspannung bei verschiedenen Belastungen angegeben werden. Das sollte man beachten, wenn

man das gleiche Netzteil für verschiedene Verbraucher einsetzt. Sonst kann es leicht passieren, dass Geräte mit kleiner Stromstärke wie LEDs überlastet werden.

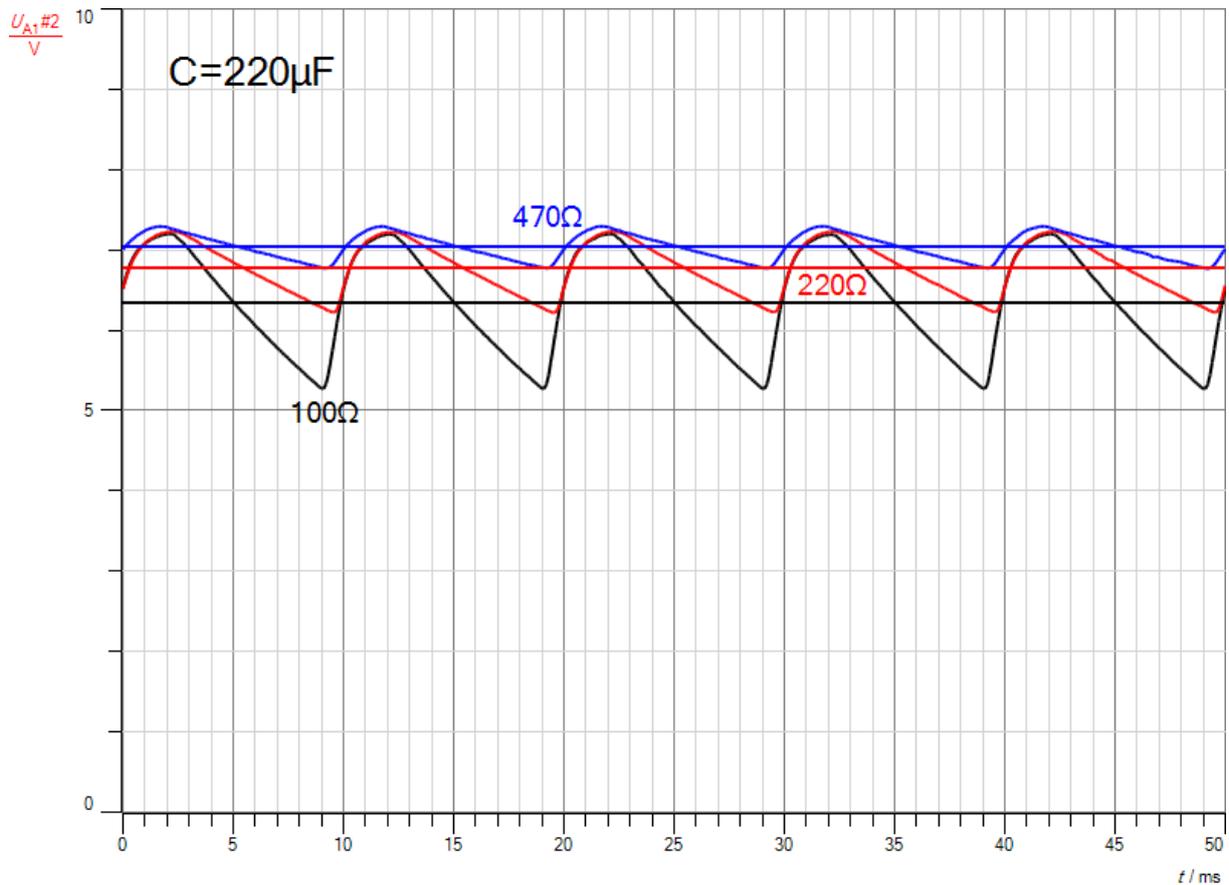


Abb. 4: Messkurven

### 2.2.3 Kaskadengleichrichter

#### Versuch 1:

#### Aufbau:

Man baut auf der Platine eines Elektronikkastens die Schaltung nach Abb. 1 zusammen und verbindet sie mit einer Spannungsquelle mit  $U = 6,3\text{V}$ . Für die Spannungsmessung benutzt man ein Messwerterfassungssystem, etwa cassy der Firma Leybold. Als Kondensatoren verwendet man  $C_1 = 1000\ \mu\text{F}$  und  $C_2 = 100\ \mu\text{F}$ , als Widerstand  $R = 1\ \text{k}\Omega$ .

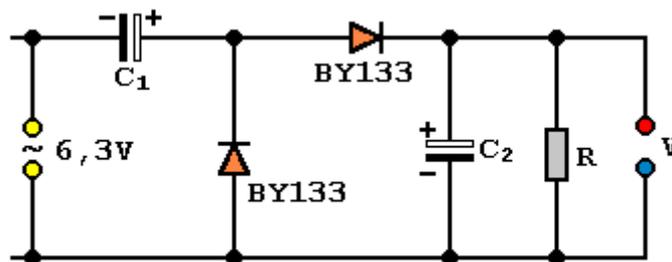


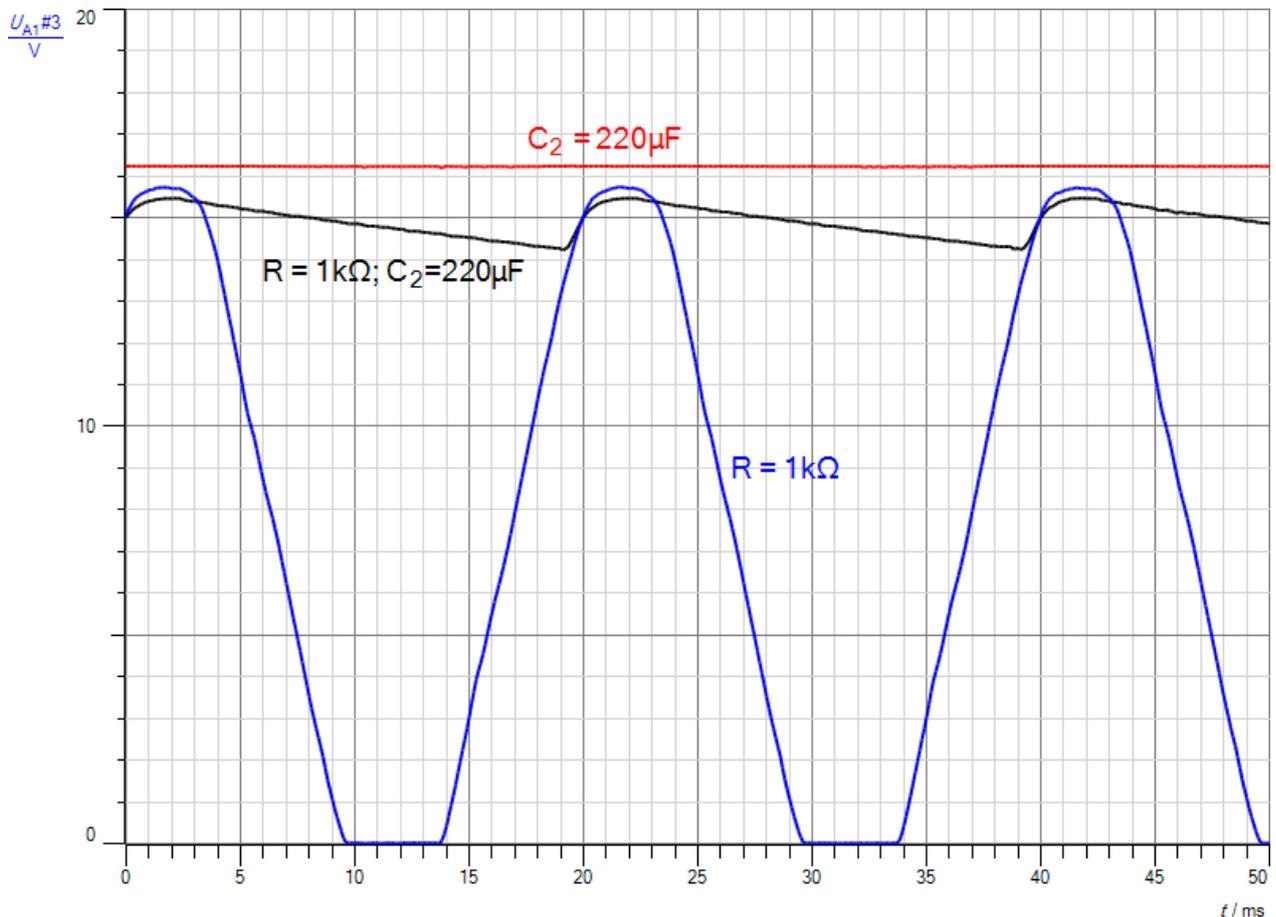
Abb. 1: Kaskadengleichrichter

**Durchführung:**

Man schaltet alle Geräte ein. In cassy wählt man als Messzeit  $t = 50 \text{ ms}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 100 \mu\text{s}$  ein. Man startet die Messung. Sie stoppt automatisch. Dann wiederholt man den Messvorgang mit beiden Kondensatoren, aber ohne Widerstand und nochmals mit Widerstand und Kondensator  $C_1$ , aber ohne Kondensator  $C_2$ . Zuvor sollte man die Option „Messreihe hinzufügen“ in cassy aktivieren.

**Beobachtung:**

Man erhält die Messkurven in Abb. 2.



**Abb. 2: Messkurven**

**Erklärung:**

Ohne Widerstand (rote Kurve) lädt sich der Kondensator  $C_2$  auf fast die doppelte Amplitude der Wechselspannung  $U_0$  abzüglich der Durchlassspannung  $U_D$  der beiden Dioden, also auf

$$\begin{aligned}
 U &= 2 * (U_0 - U_D) \\
 &= 2 * (U_{eff} * \sqrt{2} - U_D) \\
 &= 2 * (2 * 6,3V * \sqrt{2} - 0,5V) \\
 &= 16,8V
 \end{aligned}$$

auf. Ohne Kondensator  $C_2$  (blaue Kurve) liegt am Widerstand die gleichgerichtete Wechselspannung abzüglich der an den beiden Dioden abfallenden Spannung von  $2 * U_D$  an. Die maximale Spannung müsste ebenfalls  $U = 16,8 \text{ V}$  betragen, ist aber etwas geringer wegen der höheren Durchlassspannung der beiden Dioden bei höherer Stromstärke. Liegen beide Bau-

teile, Kondensator  $C_2$  und Widerstand am Ausgang des Gleichrichters, so erhält man den schwarzen Kurvenverlauf. Übersteigt die Ausgangsspannung des Gleichrichters die am Kondensator noch anliegende Spannung, so lädt er sich auf. Außerdem treibt die Ausgangsspannung des Gleichrichters einen Strom durch den Widerstand. Da die Ausgangsspannung schwankt, also regelmäßig unter die Spannung am Kondensator fällt, versucht der Kondensator die Spannungslücken aufzufüllen. Er entlädt sich zum Teil. Die Ausgangsspannung ist im Schnitt höher als beim Einweg- und Zweiweggleichrichter. Dafür weist sie eine höhere Welligkeit als beim Zweiweggleichrichter auf. Sie entspricht in etwa der beim Einweggleichrichter. Sie lässt sich 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 2a:

#### Aufbau:

Man benötigt den gleichen Versuchsaufbau wie bei Versuch 1.

#### Durchführung:

Man wiederholt Versuch 1 mit dem konstanten Kondensatoren  $C_1 = 1000 \mu\text{F}$ , dem konstanten Widerstand  $R = 100 \Omega$  und verschiedenen Kondensatoren  $C_2$ .

#### Beobachtung:

Man erhält die Messkurven in Abb. 3.

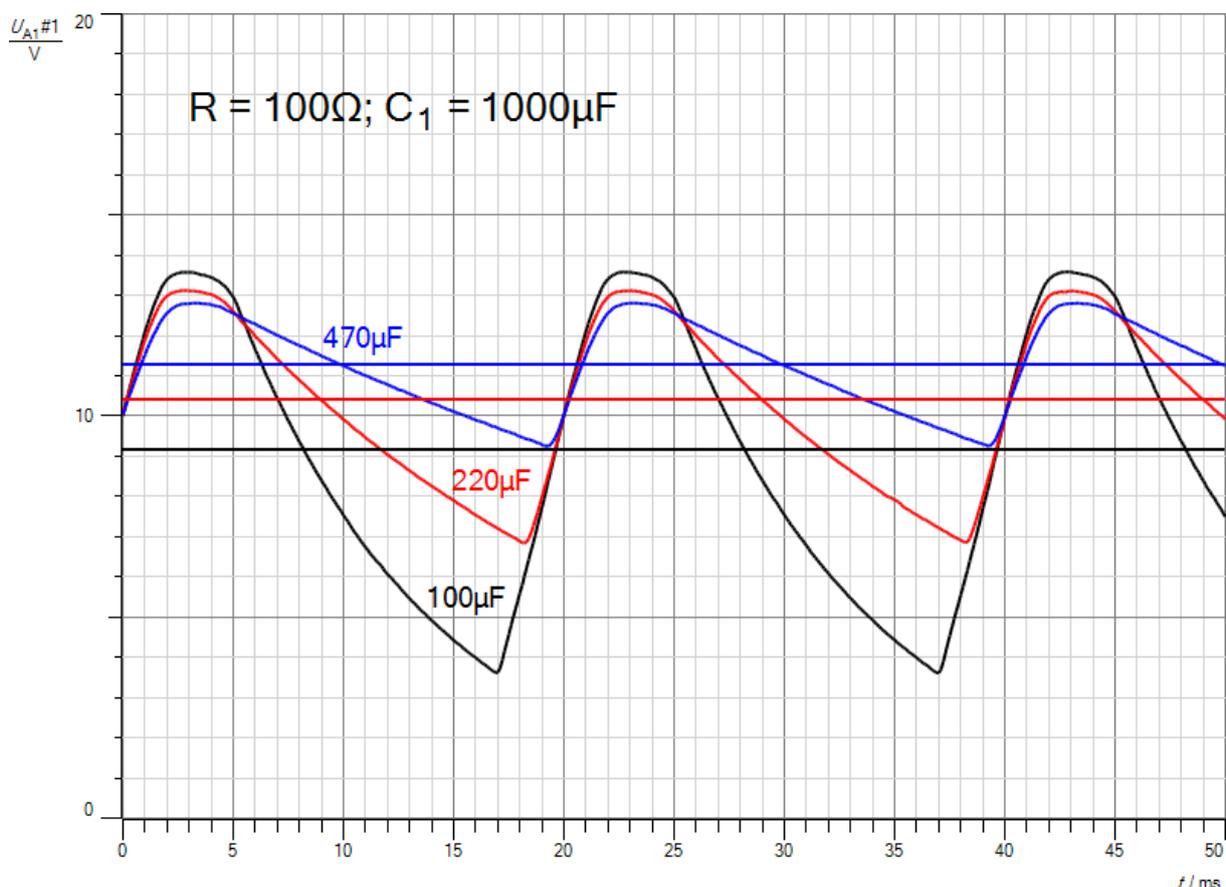


Abb.3: Messkurven

**Folgerung:**

Je größer der Kondensator  $C_2$ , umso größer ist der Mittelwert der Ausgangsspannung und umso kleiner ist ihre Restwelligkeit. Sie ist höher im Vergleich zum Zweiweggleichrichter, liegt aber prozentual in der gleichen Größenordnung wie beim Einweggleichrichter.

**Versuch 2b:****Aufbau:**

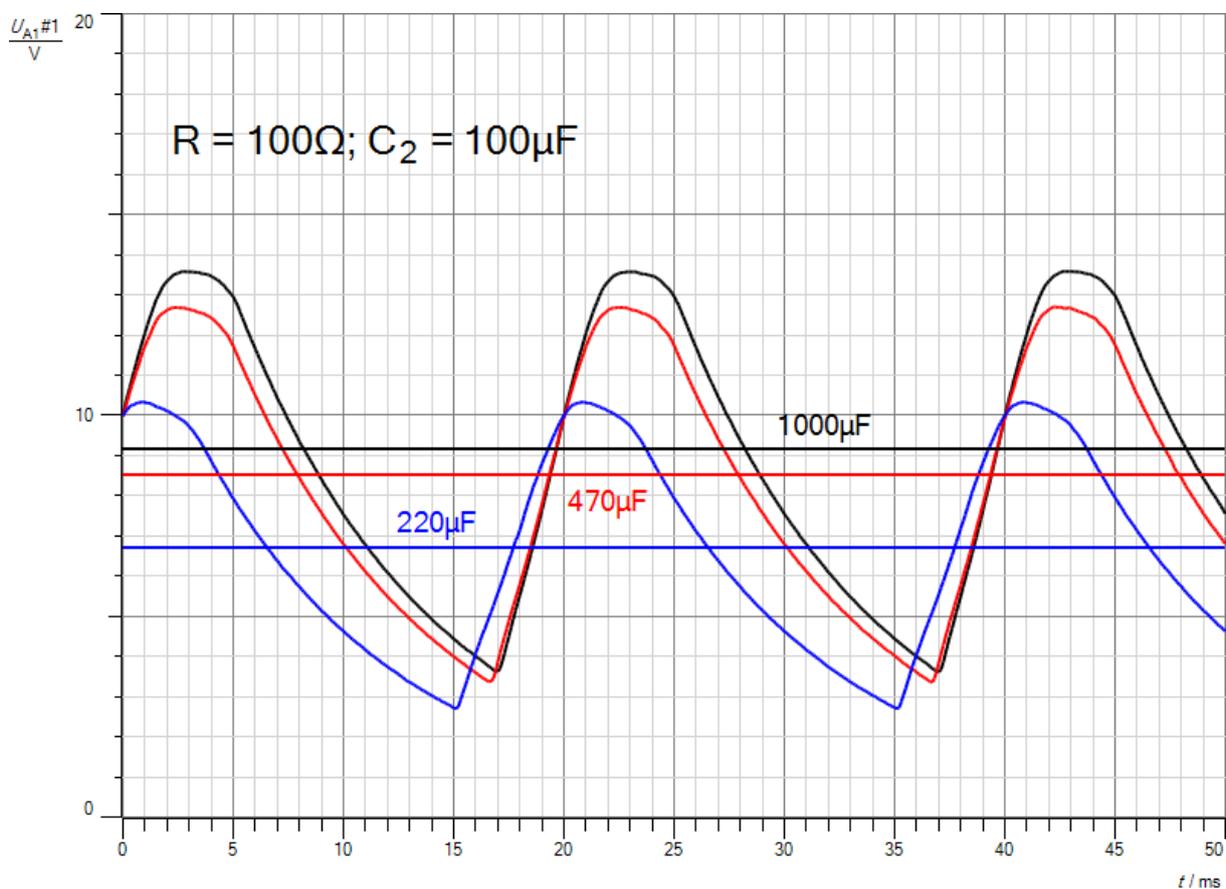
Man benötigt den gleichen Versuchsaufbau wie bei Versuch 1.

**Durchführung:**

Man wiederholt Versuch 1 mit dem konstanten Kondensatoren  $C_2 = 100 \mu\text{F}$ , dem konstanten Widerstand  $R = 100 \Omega$  und verschiedenen Kondensatoren  $C_1$ .

**Beobachtung:**

Man erhält die Messkurven in Abb. 4.



**Abb.4: Messkurven**

**Folgerung:**

Je größer der Kondensator  $C_1$ , umso größer ist der Mittelwert der Ausgangsspannung. Auf die Welligkeit hat er nur wenig Einfluss. Sie bleibt bei allen Kondensatorwerten hoch und liegt in der Größenordnung wie beim Einweggleichrichter.

**Versuch 2c:****Aufbau:**

Man benötigt den gleichen Versuchsaufbau wie bei Versuch 1.

**Durchführung:**

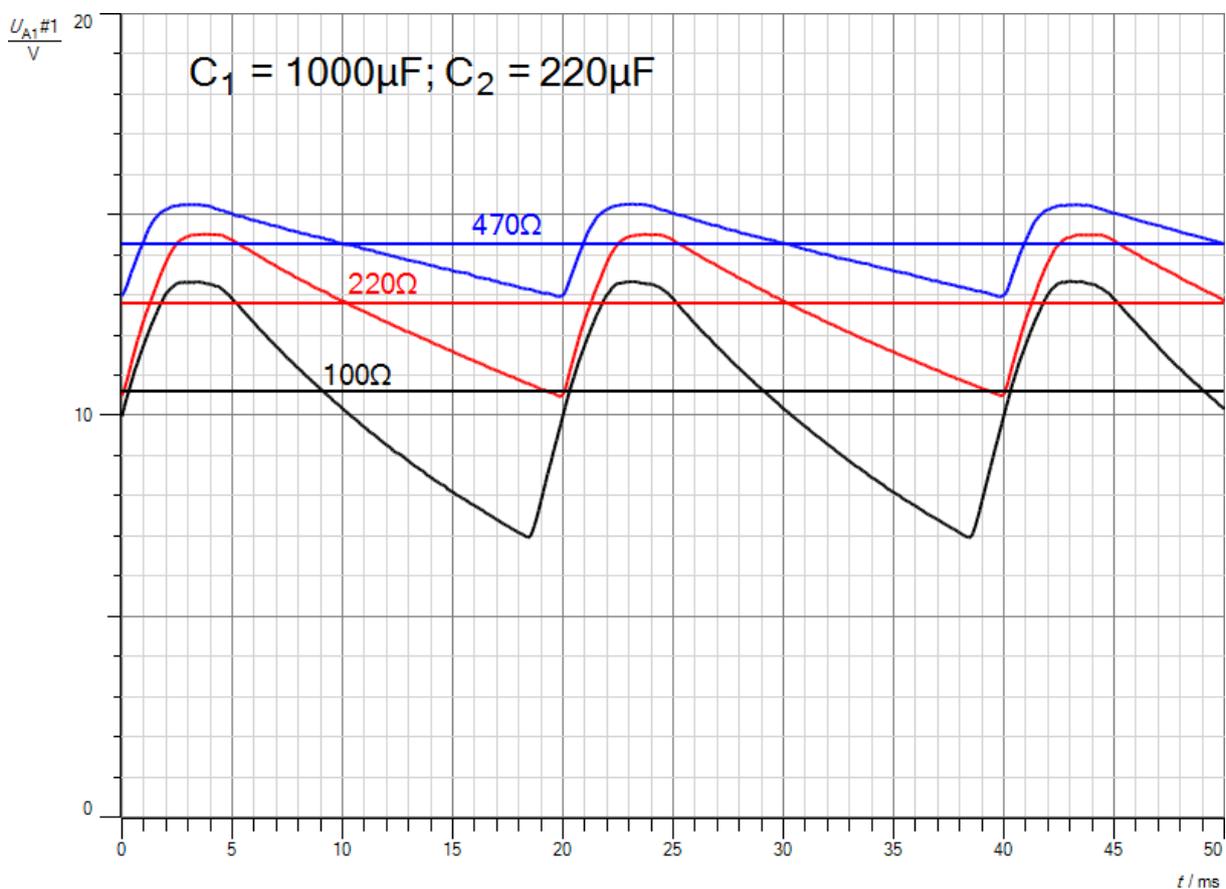
Man wiederholt Versuch 1 mit den konstanten Kondensatoren  $C_1 = 1000 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 220 \mu\text{F}$  und verschiedenen Widerständen.

**Beobachtung:**

Man erhält die Messkurven in Abb. 5.

**Folgerung:**

Je kleiner der Widerstand, umso kleiner ist die mittlere Ausgangsspannung. Ohne Belastung erreicht sie näherungsweise die doppelte Amplitude der angelegten Wechselspannung. Die Welligkeit sinkt mit zunehmendem Widerstand, da sich der Kondensator in den Lücken weniger entlädt. Sie ist allerdings höher im Vergleich zum Zweiweggleichrichter, liegt aber in der gleichen Größenordnung wie beim Einweggleichrichter. Kaskadengleichrichter werden nur verwendet, wenn die Belastung gering ist und die Welligkeit nicht stört. Typisches Anwendungsbeispiel ist die elektrische Zahnbürste (vgl. A. Reichert: Aus dem Innenleben einer elektrischen Zahnbürste).



**Abb.5: Messkurven**

**Fazit:**

Die verschiedenen Gleichrichter haben unter gleichen Bedingungen unterschiedliche Vor- und Nachteile. Der Einweggleichrichter ist einfach im Aufbau, liefert aber nur eine geringe Ausgangsspannung bei hoher Restwelligkeit. Er nutzt die Eingangswchselspannung nur zu 50% aus. Einweggleichrichter werden verwendet bei Empfangsschaltungen in Radios und anderen Empfängern, da es bei ihnen nicht auf die Größe der Ausgangsspannung ankommt. Sie wird anschließend verstärkt. Durch die hohe Welligkeit wird die Niederfrequenz, die die Information enthält, nur wenig verzerrt.

Die Ausgangsspannung eines Zweiweggleichrichters ist im Mittelwert höher als beim Einweggleichrichter. Er nutzt beide Halbwellen der Eingangsspannung. Seine Restwelligkeit ist deutlich geringer als bei den beiden anderen Gleichrichtern. Dafür ist er im Aufbau komplizierter. Zweiweggleichrichter werden am häufigsten eingesetzt als Netzteile für Transistorradios, MP3-Player usw. Stört die Restwelligkeit, so schaltet man ihm einen Spannungsregler nach, der sie komplett unterdrückt. (vgl. A. Reichert: Regler)

Der Kaskadengleichrichter liefert die höchste Ausgangsspannung bei hoher Restwelligkeit. Die Ausgangsspannung kann durch mehrere Kaskaden, die hintereinander geschaltet sind, die Eingangsspannung deutlich übersteigen. Der Kaskadengleichrichter nutzt beide Halbwellen der Eingangsspannung. Im Aufbau liegt er zwischen den beiden anderen, je nachdem wie viele Kaskaden er besitzt. Kaskadengleichrichter werden nur selten verwendet und zwar dann, wenn die Restwelligkeit keine Rolle spielt, wie beim Ladeteil einer elektrischen Zahnbürste (vgl. A. Reichert: Elektrische Zahnbürste). In der Physik werden Sie benutzt, um sehr hohe Gleichspannungen zu erzeugen, etwa in Gasentladungslampen.

Bei allen drei Gleichrichtern kann man die Ausgangsspannung natürlich erhöhen, indem man eine höhere Eingangsspannung verwendet z.B. durch einen Trafo mit mehr Windungen auf der Sekundärseite. Allerdings werden die Netzteile dann größer und schwerer.

### 2.2.4 Reedwechselrichter

Abb.1 zeigt den genauen Schaltplan eines mechanischen Zerkhackers.

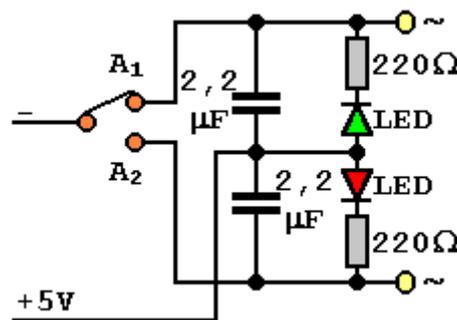


Abb. 1: Reedwechselrichter

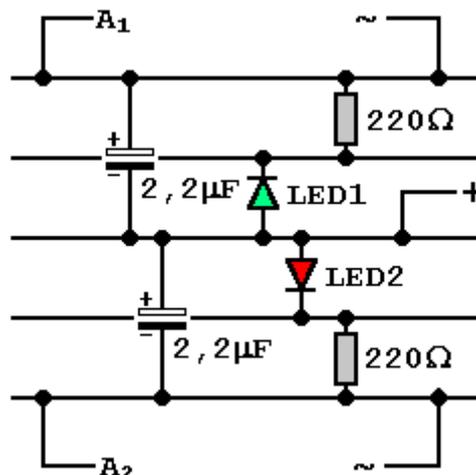
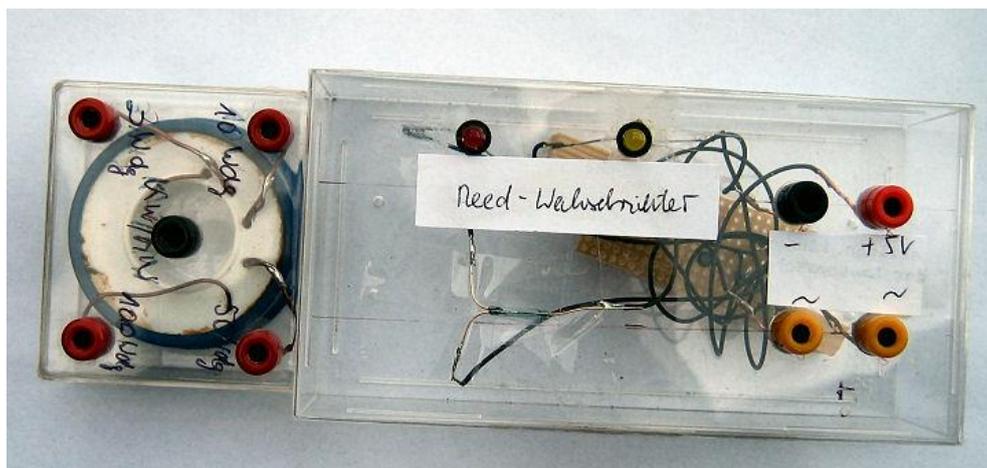


Abb. 2: Verschaltung auf einer Lochrasterplatine

Der Wechselschalter ist als Reedkontakt mit einem Eingang E und zwei Ausgängen A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> ausgelegt. Die LEDs 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 LEDs 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 Schalllitze mit den entsprechenden Anschlüssen auf der Platine verbunden. Die LEDs lötet man nicht direkt auf die Platine, sondern steckt sie in die Fassungen und verbindet sie mit etwas Schalllitze mit den Löchern auf der Platine, die in Abb. 2 den Anoden bzw. Kathoden der LEDs entsprechen. Zum Schluss stellt man mit einem Stück Schalllitze eine Verbindung zwischen der schwarzen Buchse und dem Eingang des Reedschalters her. Den fertigen Reedwechselschalter samt Schaltspule für den Reedkontakt (s. Versuch 3) zeigt Abb.3.



**Abb. 3: Reedwechselrichter**

#### **Versuch 1:**

##### **Aufbau:**

Den Reedwechselrichter aus Abb.3 verbindet man über die schwarze und rote Buchse mit dem Minus- bzw. Pluspol einer Gleichspannungsquelle mit  $U = 5V$ .

##### **Durchführung:**

Man fährt mit einem Magneten über den Eingang oder die Ausgänge des Reedschalters senkrecht zur Längsrichtung langsam hin und her.

##### **Beobachtung:**

Zu Beginn leuchtet die grüne LED, beim Bewegen des Magneten die rote. Je nachdem wie die Ausgänge des Reedschalters mit den Anschlüssen A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> auf der Platine verkabelt wurden, können sich die LEDs auch genau umgekehrt verhalten. Entfernt man den Magneten, so leuchtet wieder die grüne LED bzw. die rote.

##### **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.

### Versuch 2:

#### Aufbau:

Den Reedwechselrichter aus Abb.3 legt man an eine Gleichspannungsquelle mit  $U = 5\text{ V}$ . Die gelben Ausgangsbuchsen werden mit den Spannungseingängen von cassy mobile verbunden.

#### Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. An cassy mobile wählt man als Messzeit  $t = 2\text{ s}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 10\text{ ms}$ . Man startet cassy mobile. Man fährt mit dem Magneten mehrfach über den Reedschalter senkrecht zur Längsrichtung hin und her. Die Aufzeichnung stoppt automatisch.

#### Beobachtung:

Man erhält die Kurve in Abb. 4.

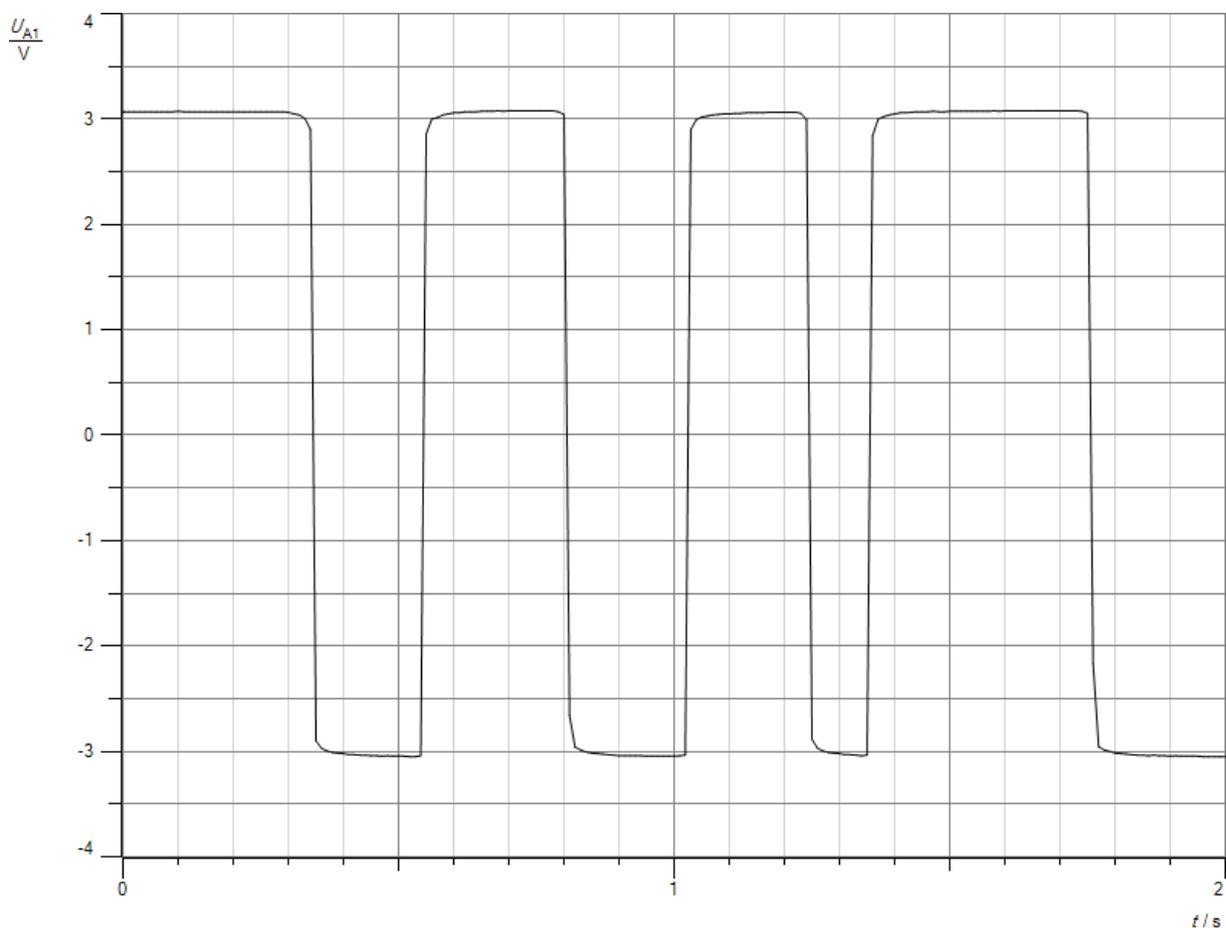


Abb. 4: Ausgangsspannung

#### Erklärung:

Durch den Magneten wird der Reedschalter mehrfach hin und her geschaltet. Die Ausgangsspannung kehrt ihre Polung um. Es entsteht an den Ausgängen eine rechteckförmige Wechselspannung. Ihre Amplitude ist kleiner als die angelegte Gleichspannung, da die beiden LEDs eine Durchlassspannung von jeweils ungefähr  $U_D = 2\text{ V}$  haben.

Für den dritten Versuch benötigt man zusätzlich eine Spule mit 100 Windungen, einem Durchmesser von ca. 5 cm und einer Höhe von etwa 2 cm (s. Abb. 3 links). 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).

### Versuch 3:

#### Aufbau:

Man legt die Spule auf den Reedkontakt und schließt sie an eine Wechselspannung oder an eine pulsierende Gleichspannung mit  $U = 2 - 4 \text{ V}$  an. Der Reedwechselrichter wird mit  $U = 5 \text{ V}$  Gleichspannung versorgt. Die gelben Ausgangsbuchsen werden mit den Spannungseingängen von cassy mobile verbunden.

#### Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. An cassy wählt man als Messzeit  $t = 50 \text{ ms}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 200 \mu\text{s}$ . Man startet cassy. Die Aufzeichnung stoppt automatisch.

#### Beobachtung:

Man hört ein Klappergeräusch des Reedkontaktes wie von einer Klapperschlange. Mit cassy mobile beobachtet man bei einer Wechselspannung der Frequenz  $f = 50 \text{ Hz}$  die Kurve in Abb. 5 mit einer Periodendauer  $T = 10 \text{ ms}$ , bei pulsierender Gleichspannung verdoppelt sie sich auf  $T = 20 \text{ ms}$ .

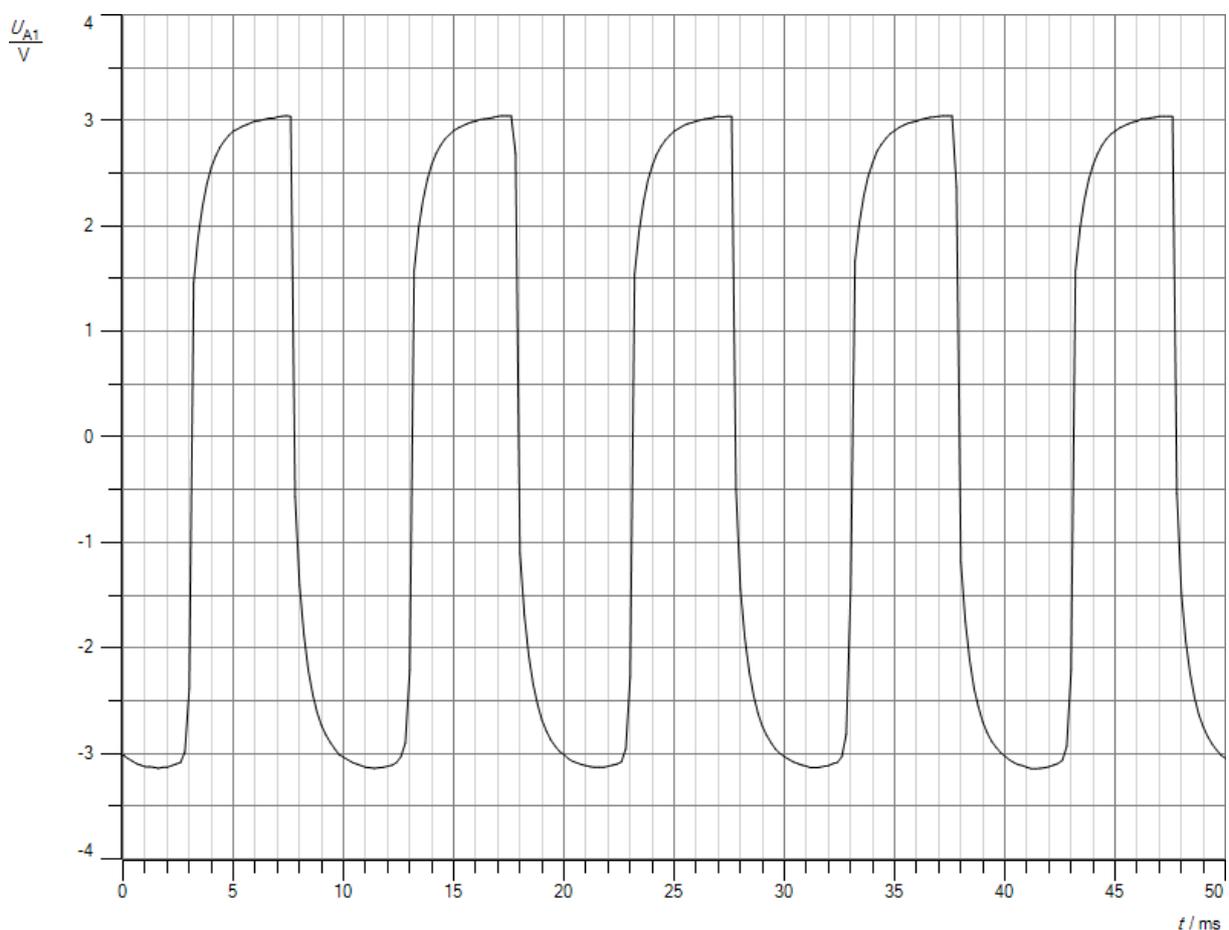


Abb.5: Ausgangsspannung

### Erklärung:

Die Wechselfspannung verläuft nicht ganz rechteckförmig, da die Kondensatoren sie aufgrund ihrer Ladecharakteristik ein wenig glätten. Die Frequenz der Ausgangsspannung beträgt  $f = 100 \text{ Hz}$ , ist also doppelt so hoch wie die der angelegten Wechselfspannung. Der Reedkontakt schaltet unabhängig von der Polung des Elektromagneten, also 100mal pro s um. Bei pulsierender Gleichspannung beträgt die Frequenz der Wechselfspannung dagegen nur  $f = 50 \text{ Hz}$ , da der Reedkontakt 50mal pro s zwischen den beiden Schaltzuständen wechselt.

### 2.2.5 Thyristorwechselrichter

Abb.1 zeigt den konkreten Aufbau eines Thyristorwechselrichters.

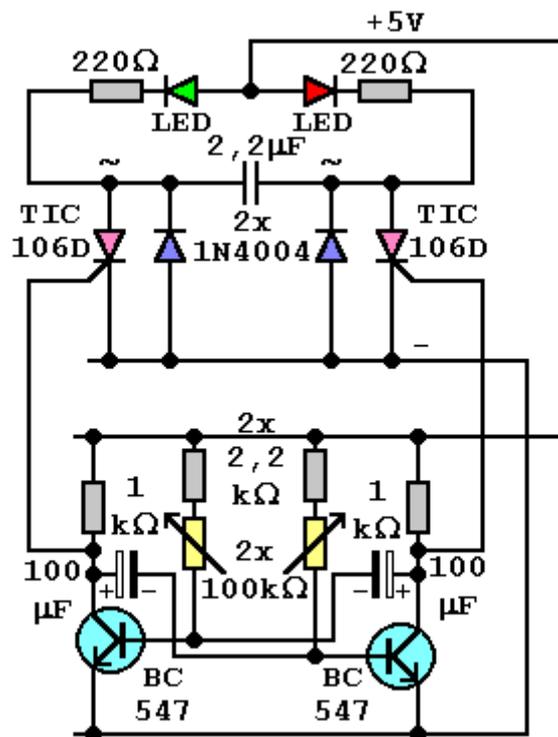


Abb.1: Thyristorwechselrichter

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

Die fertig verlötete 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 Wechselfspannung befestigt man am Deckel eine rote Telefonbuchse für den Pluspol, eine schwarze für den Minuspol der Gleichspannung und zwei gelbe für die Pole der Wechselfspannung. Die beiden LEDs werden mit Hilfe zweier Fasungen aus Kunststoff oder Chrom ebenfalls am Deckel befestigt. Sie dienen dazu, die Wechselfspannung sichtbar zu machen. Außerdem verschraubt man die beiden Potis im Deckel der Dose. Dann verbindet man über Schalllitze die Anschlüsse auf der Platine mit den entsprechenden Bauteilen am Deckel. Die fertige Schaltung zeigt Abb. 3.

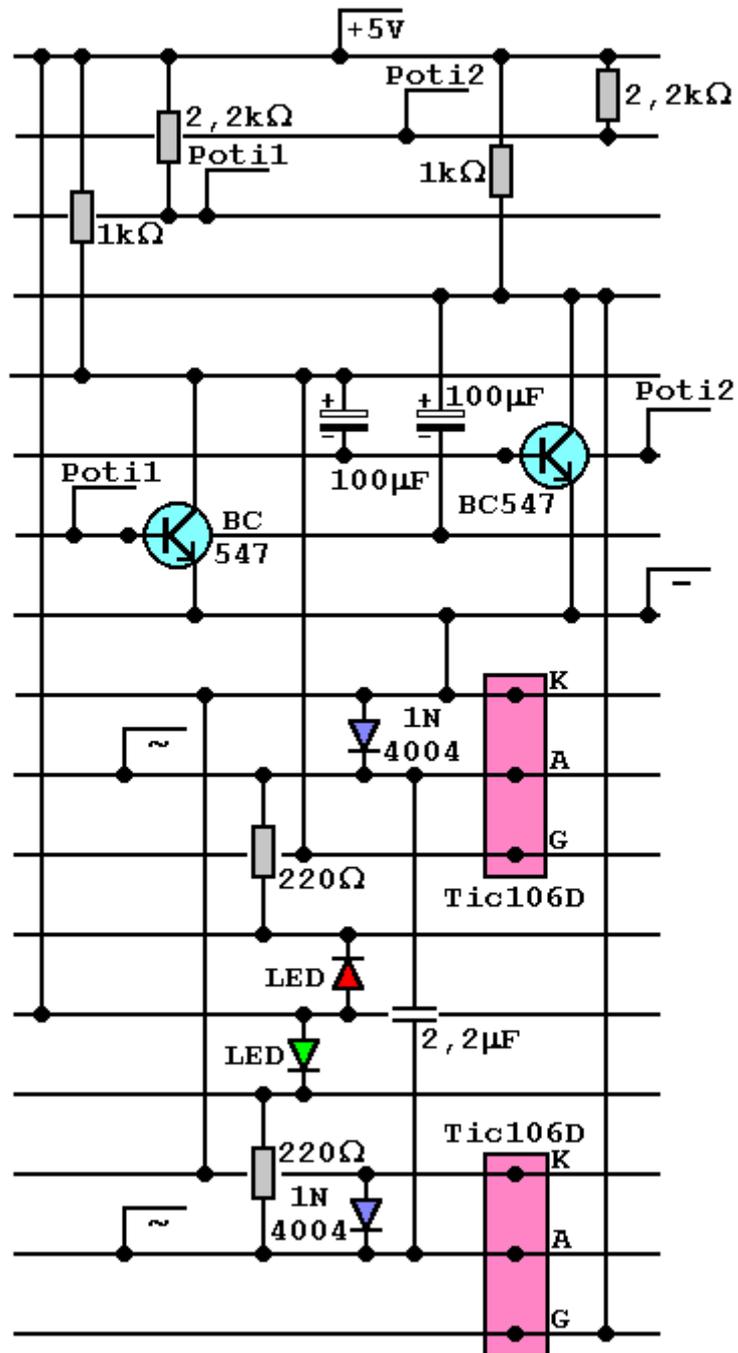


Abb. 2: Verschaltung auf einer Lochrasterplatte



Abb. 3: Thyristorwechsler

Besitzt man einen Funktionsgenerator, der eine pulsierende Rechteckspannung liefert, so kann man in der Schaltung nach Abb. 1 den selbstgebaute Multivibrator weglassen und die Thyristoren über den Rechteckgenerator ansteuern. Da man für einen der beiden Thyristoren das ursprüngliche und für den anderen das invertierte Rechtecksignal benötigt, schaltet man zwischen Generator und Wechselrichter die Schaltung nach Abb.4.

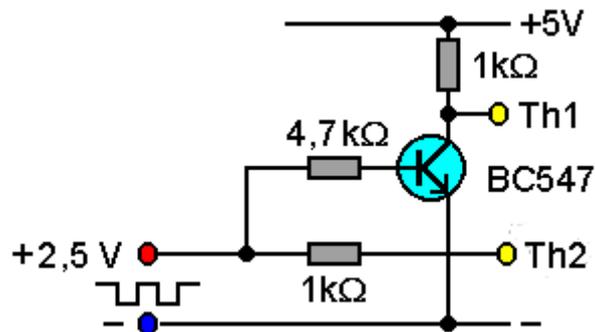


Abb. 4: Ansteuerung der Thyristoren

Die Schaltung mit einem externen Rechteckgenerator hat den Vorteil, dass man ohne großen Aufwand die Frequenz in einem großen Bereich variieren kann. In der Schaltung nach Abb. 1 müsste man dazu die Kondensatoren an den Basen der beiden Transistoren des Multivibrators austauschen. Zum Betrieb des Wechselrichters verbindet man die Ausgänge Th1 und Th2 in Abb. 4 mit je einem Steuergate der beiden Thyristoren.

#### Versuch 1:

##### Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 verbindet man über die schwarze und rote Buchse mit dem Minus- bzw. Pluspol einer Gleichspannungsquelle mit  $U = 5\text{ V}$ .

##### Durchführung:

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

##### Beobachtung:

Die beiden LEDs 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 LEDs 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 mit  $U = 5\text{ V}$ . Die gelben Buchsen werden mit den Spannungseingängen von cassy mobile verbunden.

##### Durchführung:

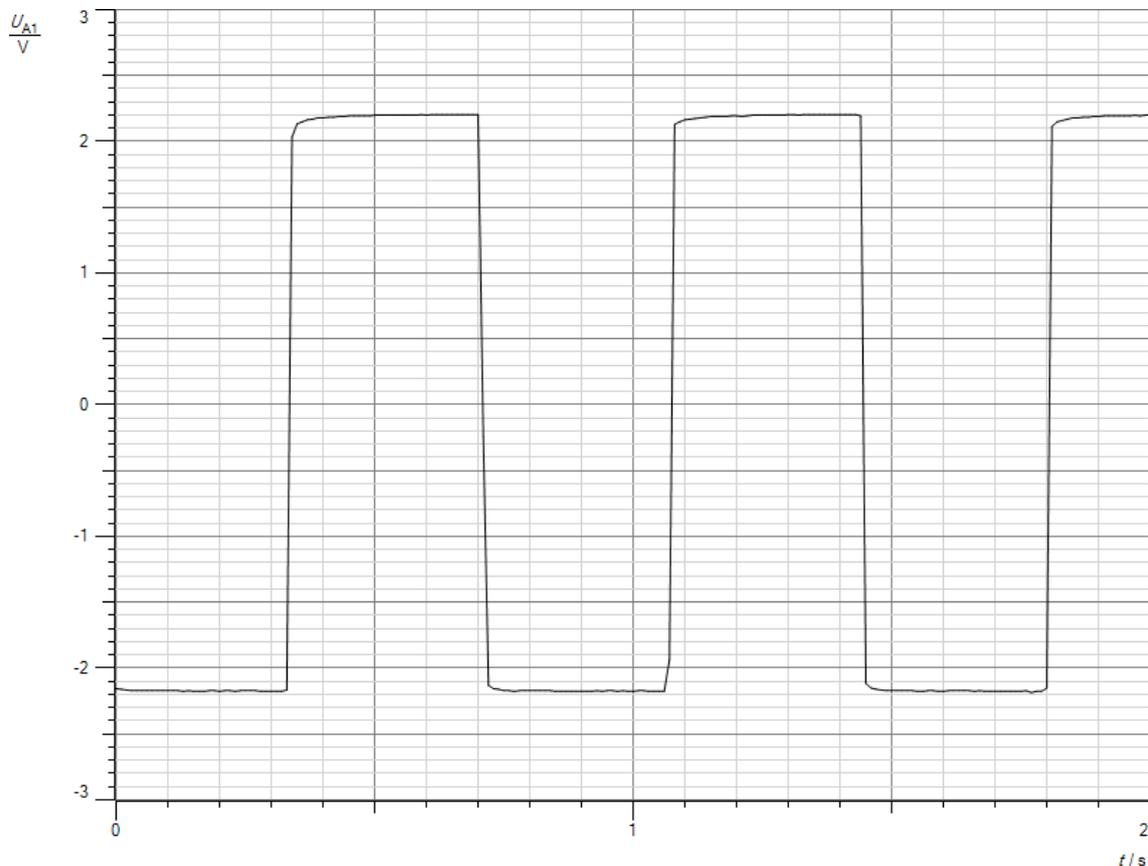
Man schaltet alle Geräte ein. Man dreht beide Potis in eine mittlere Stellung. An cassy mobile wählt man als Messzeit  $t = 2\text{ s}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 10\text{ ms}$ . Man startet cassy mobile. Die Aufzeichnung stoppt automatisch.

##### Beobachtung:

Man erhält die Kurve in Abb. 5.

**Erklärung:**

Durch den Multivibrator werden die beiden Thyristoren wechselseitig ein und ausgeschaltet. Die Ausgangsspannung verläuft fast rechteckförmig, da sie nur durch einen kleinen Kondensator geglättet wird.



**Abb. 5: Ausgangsspannung am Thyristorwechsellrichter**

**Versuch 3:****Aufbau:**

Die Schaltung aus Abb. 3 verbindet man mit einer Gleichspannungsquelle mit  $U = 5V$ . An die gelben Buchsen schließt man die Spannungseingänge von cassy mobile an.

**Durchführung:**

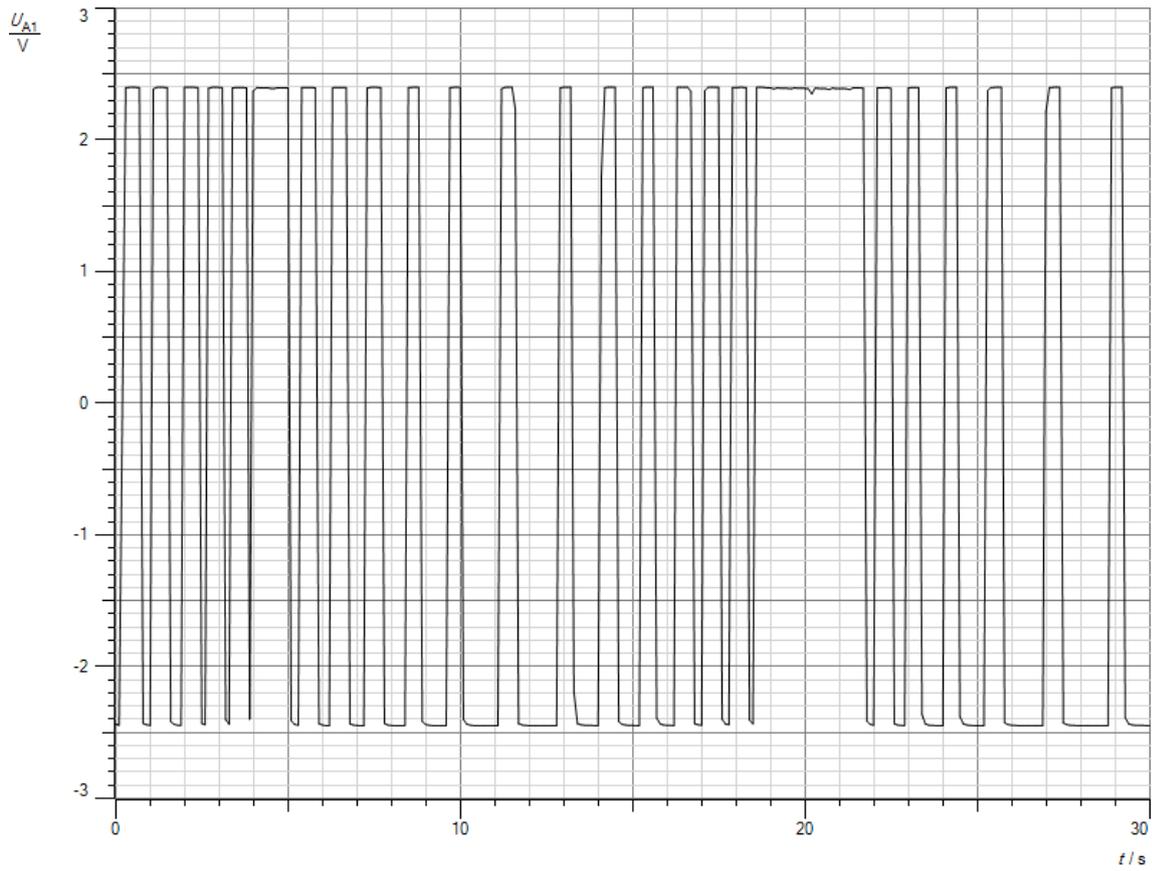
Man schaltet alle Geräte ein. Man dreht die Potis in eine mittlere Stellung, so dass beide LEDs symmetrisch blinken. An cassy mobile wählt man als Messzeit  $t = 30$  s bei einer Auflösung  $\Delta t = 100$  ms. Man startet cassy mobile. Die Aufzeichnung stoppt automatisch. Man dreht ein Poti langsam bis zum rechten Anschlag, dann bis zum linken Anschlag und wieder zurück in die mittlere Stellung. Man wiederholt den Vorgang mit dem anderen Poti.

**Beobachtung:**

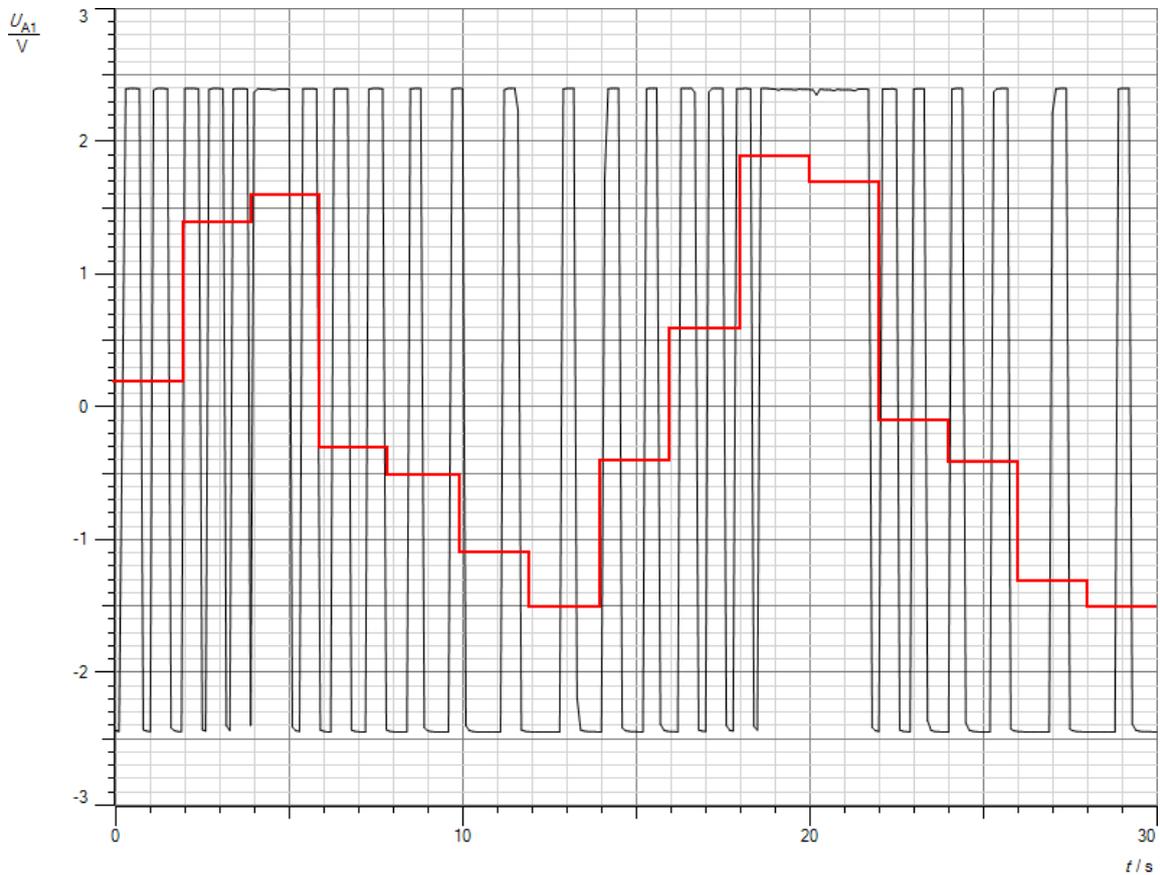
Man erhält die Kurve in Abb. 6.

**Auswertung:**

Die Ausgangsspannungsimpulse werden in ihrer Breite moduliert. Man ermittelt den Mittelwert jeweils für die Intervalle 0 – 2 s, 2 - 4 s usw. Man trägt mit einem Grafikprogramm die Mittelwerte in den einzelnen Intervallen in die Messkurve ein. Es ergibt sich die Kurve in Abb. 7.



**Abb. 6: Messkurve bei Pulsweitenmodulation**



**Abb. 7: Mittelwerte bei Pulsweitenmodulation**

### Folgerung:

Durch Pulsweitenmodulation kann man jede beliebige Ausgangswechselspannung erzeugen. Wählt man die Intervalle für die Mittelwertbildung kleiner, so verlaufen die Stufen flacher. Auf diese Weise wird in käuflichen Wechselrichtern eine näherungsweise sinusförmige Wechselspannung erzeugt. Die Stufen werden zusätzlich durch einen Ausgangskondensator geglättet.

### Versuch 4:

#### Aufbau:

Man baut die beiden Teile der Schaltung nach Abb. 8 getrennt auf. Die Trafos sind kleine Printrafos mit den in der Abb. 8 angegebenen Spannungswerten. Der erste besitzt einen Mittenabgriff. Man schließt die Solarbatterie zunächst an den 3 V-Spannungsregler an. Dann verbindet man sie mit dem Thyristorwechselrichter im unteren Teil der Schaltung.

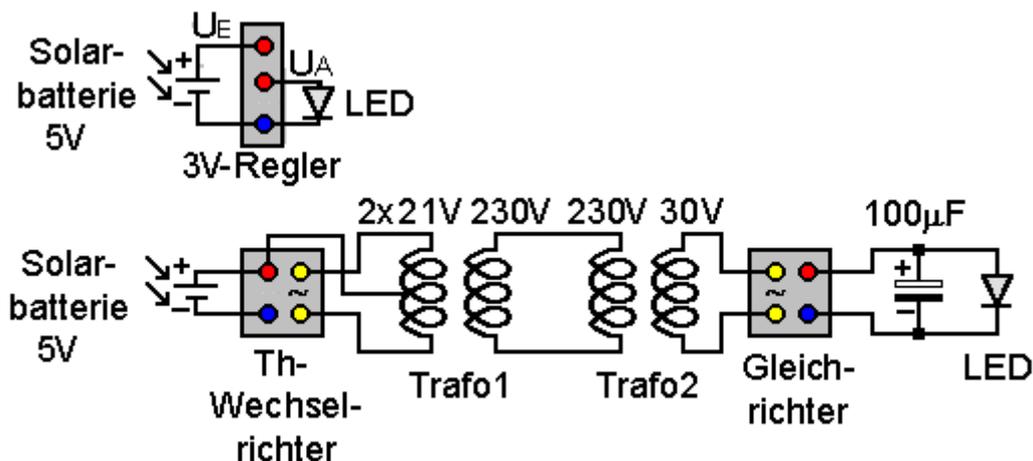


Abb.8: Aufbau der Schaltung

### Beobachtung:

Im ersten Teil des Versuches leuchtet die weiße LED während der ganzen Zeit gleichmäßig hell. Im zweiten Teil blinkt die LED am Ausgang des Gleichrichters bei jedem Polwechsel des Wechselrichters kurz auf, erkennbar am Aufleuchten der roten bzw. grünen LED des Wechselrichters.

### Erklärung:

Die LED im ersten Teilversuch wird unabhängig von der Eingangsspannung  $U_E$  am Regler konstant mit einer Spannung  $U_A = 3 \text{ V}$  versorgt, solange  $U_E$  mindestens  $U = 4,5 \text{ V}$  beträgt. Im zweiten wird die Gleichspannung der Solarbatterie in Wechselspannung umgewandelt, durch den 1. Trafo hochtransformiert, durch den zweiten wieder heruntertransformiert und anschließend gleichgerichtet. Wegen der Induktion weist die Spannung am Ausgang des zweiten Trafos Spannungsspitzen auf an den Stellen, die den steilen Bereichen der Rechteckspannung des Wechselrichters entsprechen (s. Versuch 3 Kapitel 2.2.6). Sie werden gleichgerichtet und lassen die LED aufblitzen. Der Versuch soll verdeutlichen, welcher Aufwand betrieben werden muss, wenn man die LED-Lampen in seinem Haus mit der eigenen Photovoltaikanlage auf dem Dach betreibt. Viel einfacher wäre die Lösung gemäß erstem Teilversuch, da LEDs Gleichspannung benötigen, die von der Photovoltaikanlage von Natur aus erzeugt wird. Dabei ist die Schaltung im 2. Teil nur eine sehr vereinfachte Modellschaltung, die Schaltung im Haushalt ist weit komplizierter. Da sie mit  $f = 50 \text{ Hz}$  arbeitet, leuchten LEDs im

Haushalt scheinbar gleichmäßig. Hinzu kommt, dass die Lebensdauer einer LED durch Spannungsspitzen sinkt, bei konstanter Spannung wie im ersten Teilversuch hält sie sehr lange.

### 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 im unteren Teil. Die Verschaltung auf einer Lochrasterplatine zeigt Abb. 2. 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 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 LEDs werden mit Hilfe zweier Fassungen aus Kunststoff oder Chrom ebenfalls am Deckel befestigt. Sie dienen dazu, die Wechselspannung sichtbar zu machen. Außerdem verschraubt man die beiden Potis 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.

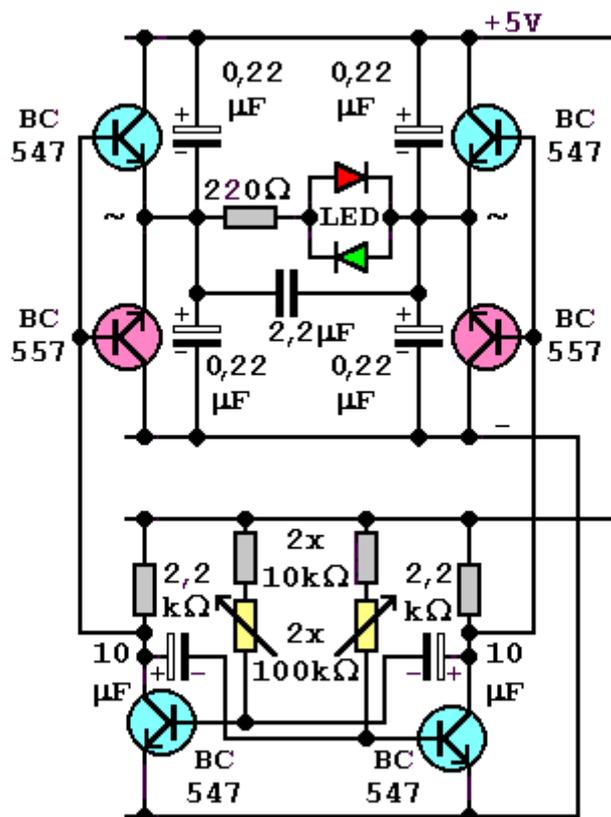


Abb.1: H-Brückenwechselrichter

Besitzt man einen Funktionsgenerator, der eine pulsierende Rechteckspannung liefert, so kann man in der Schaltung nach Abb. 1 den selbstgebauten Multivibrator weglassen und die Transistoren der H-Brücke über den Rechteckgenerator steuern. Dazu dient die Steuerschaltung nach Abb. 4. Man benötigt zwei Steuersignale, das ursprüngliche und das invertierte. Da der verwendete Rechteckgenerator nur Impulse mit  $U = 2,5 \text{ V}$  lieferte, für die Steuerung wegen der Reihenschaltung eines npn- und pnp-Transistors in beiden Zweigen der H-Brücke

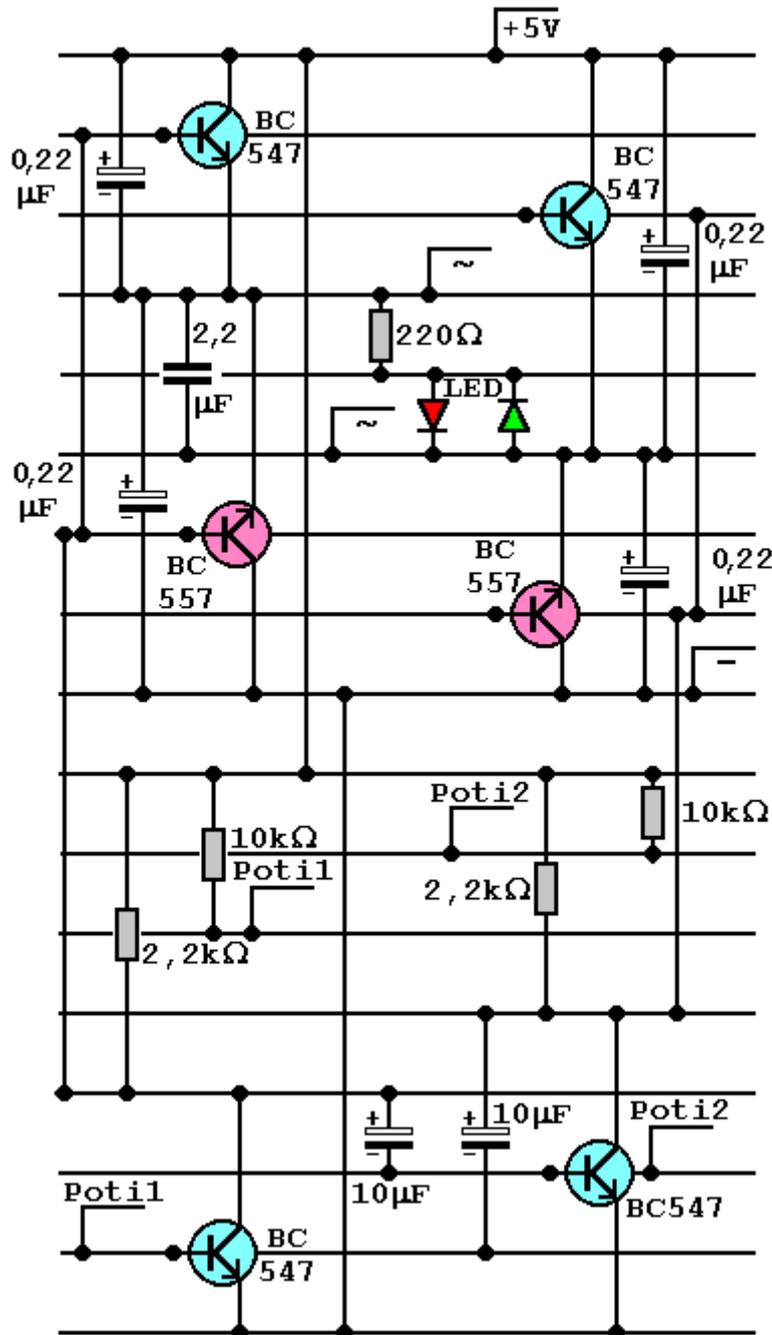


Abb.2: Verschaltung auf einer Lochrasterplatine

jedoch Impulse mit etwa  $U = 5\text{ V}$  benötigt werden, wird mit dem 1. Transistor das invertierte Signal erzeugt und mit dem 2. Transistor dieses Signal erneut invertiert, so dass an seinem Ausgang das ursprüngliche Signal mit einer erhöhten Spannung zur Verfügung steht. Der Widerstand  $100\text{ kW}$  zwischen den beiden Steuertransistoren sorgt für eine zur Nulllinie symmetrische Ausgangswchselspannung. Ohne ihn ist der Ausgangswchselspannung eine mehr oder weniger große Gleichspannung überlagert, so dass sie eher einer pulsierenden Gleichspannung entspricht. Die Schaltung mit einem externen Rechteckgenerator hat den Vorteil, dass man ohne großen Aufwand die Frequenz in einem großen Bereich variieren kann. In der Schaltung nach Abb. 1 müsste man dazu die Kondensatoren an den Basen der beiden Transistoren des Multivibrators austauschen. Zum Betrieb des Wechselrichters ver-

bindet man die Ausgänge St1 und St2 in Abb. 4 mit den linken bzw. rechten Basen der Transistoren in der H-Brücke nach Abb. 1.



Abb. 3: H-Brückenwechselrichter

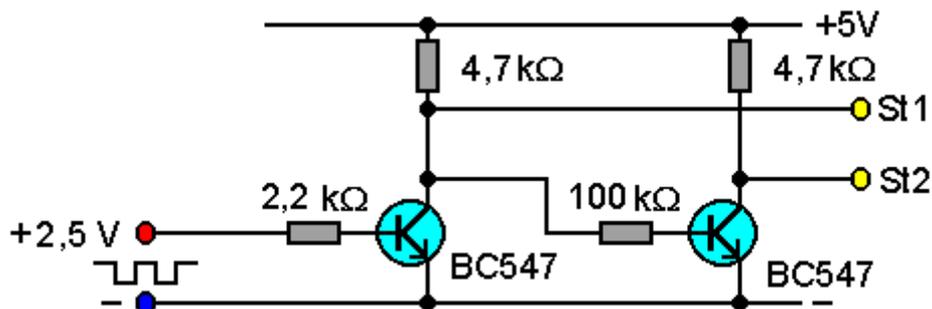


Abb. 4: Ansteuerung der H-Brücke

#### Versuch 1:

##### Aufbau:

Die Schaltung aus Abb. 3 schließt man über die schwarze und rote Buchse an den Minus- bzw. Pluspol einer Gleichspannungsquelle mit  $U = 5 \text{ V}$  an.

##### Durchführung:

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

##### Beobachtung:

Die beiden LEDs 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 LEDs symmetrisch.

##### Erklärung:

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

#### Versuch 2:

##### Aufbau:

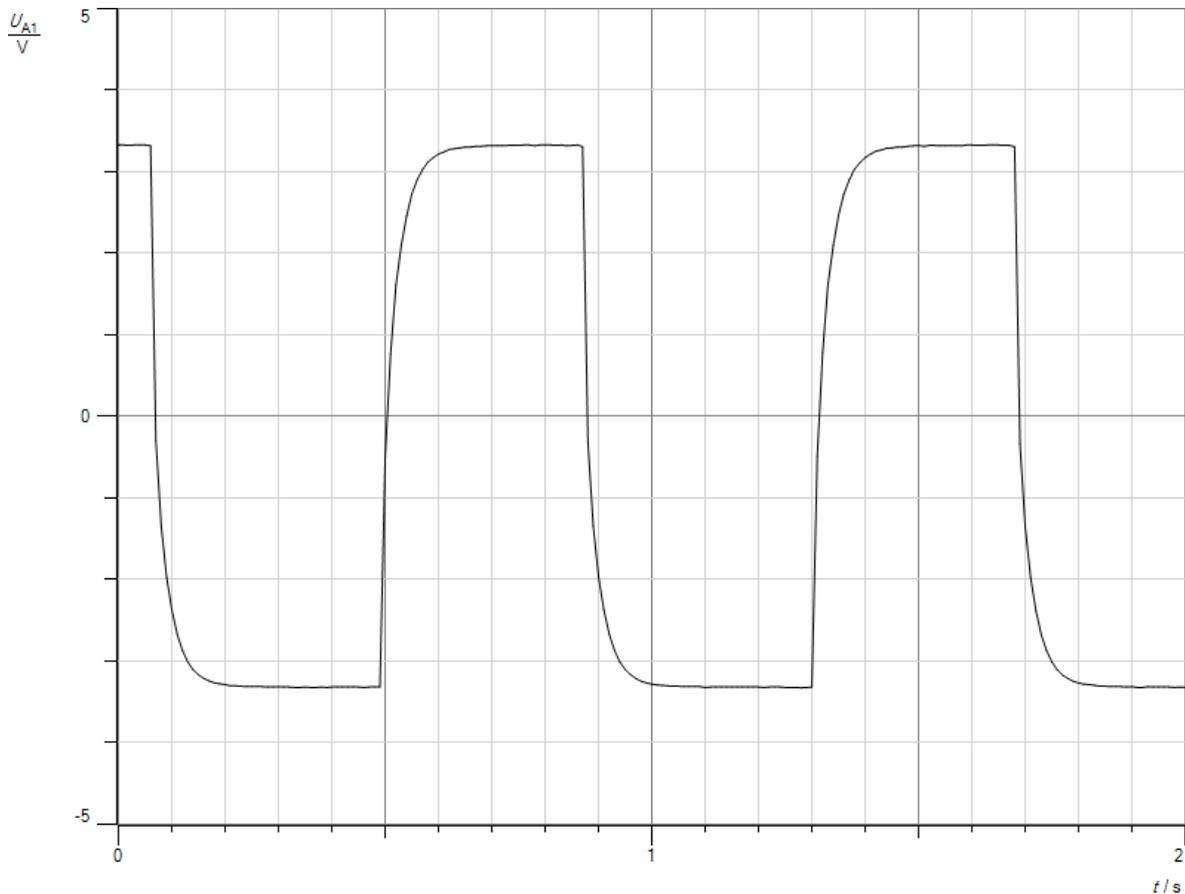
Die Schaltung aus Abb. 3 legt man an eine Gleichspannungsquelle mit  $U = 5 \text{ V}$ . Die gelben Buchsen werden mit den Spannungseingängen von cassy mobile verbunden.

##### Durchführung:

Man schaltet alle Geräte ein. Man dreht beide Potis in eine mittlere Stellung. An cassy mobile wählt man als Messzeit  $t = 2 \text{ s}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 10 \text{ ms}$ . Man startet cassy mobile. Die Aufzeichnung stoppt automatisch.

**Beobachtung:**

Man erhält die Kurve in Abb. 5.



**Abb. 5: Ausgangsspannung am H-Brückengleichrichter**

**Erklärung:**

Der Multivibrator schaltet die Transistoren über Kreuz in seinem Takt ein und aus. Die Ausgangsspannung verläuft näherungsweise rechteckig. Die fünf Kondensatoren am Ausgang glätten die Kurve in den Umschlagspunkten ein wenig stärker im Vergleich zum Thyristorwechselrichter.

**Versuch 3:**

**Aufbau:**

Man baut den Versuch nach Abb. 6 auf. Man benutzt den H-Brückenwechselrichter mit externem Rechteckgenerator. Als Trafos verwendet man zwei kleine Printransformatoren mit den angegebenen Spannungen. Man verbindet die Schaltung mit einer Spannungsquelle mit  $U = 5 \text{ V}$ . Am Rechteckgenerator wählt man den Frequenzbereich  $f = 10 - 100 \text{ Hz}$ . Man zeichnet mit einem Messwerterfassungssystem, etwa cassy der Firma Leybold bei  $f = 50 \text{ Hz}$  die Spannung am Ausgang des Wechselrichter in einem ersten Teilversuch ohne die angeschlossenen Trafos und in einem zweiten Versuch am Ausgang des zweiten Trafos ohne Belastung mit der LED auf. An cassy wählt man die Optionen: Messzeit:  $t = 100 \text{ ms}$ , Intervall  $\Delta t = 100 \mu\text{s}$ , Aufnahme: wiederholend, Trigger:  $U_A, 0,0 \text{ V}^\wedge$ . Man misst mit einem Multimeter bei

verschiedenen Frequenzen im Bereich  $f = 10 - 100$  Hz die Effektivspannung am Ausgang des 2. Trafos bei angeschlossener LED.

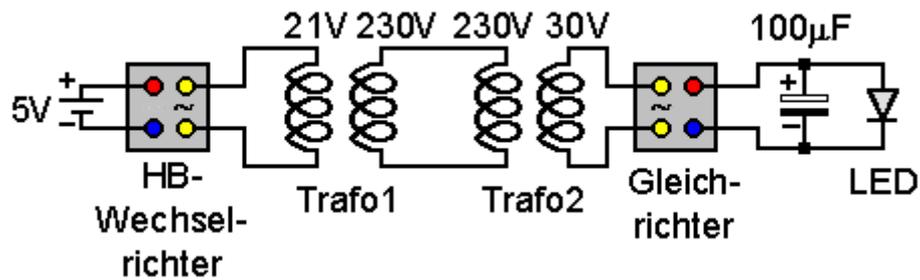


Abb.6: Versuchsaufbau

**Beobachtung:**

Bei jedem Polwechsel des Wechselrichters, erkennbar am Aufleuchten bzw. Erlöschen der roten bzw. grünen LED des Wechselrichters, blinkt die weiße LED am Gleichrichter kurz auf. Erhöht man die Frequenz von  $f = 10$  Hz auf  $f = 100$  Hz, so leuchtet sie ab etwa  $f = 25$  Hz scheinbar dauerhaft und zwar umso heller, je höher die Frequenz ist. Mit cassy erhält man die Kurven in Abb. 7 und Abb. 8. Mit dem Multimeter misst man bei  $f = 10$  Hz  $U_{\text{eff}} = 1,75$ , bei  $f = 50$  Hz  $U_{\text{eff}} = 2,74$  V und bei  $f = 100$  Hz  $U_{\text{eff}} = 3,06$  V.

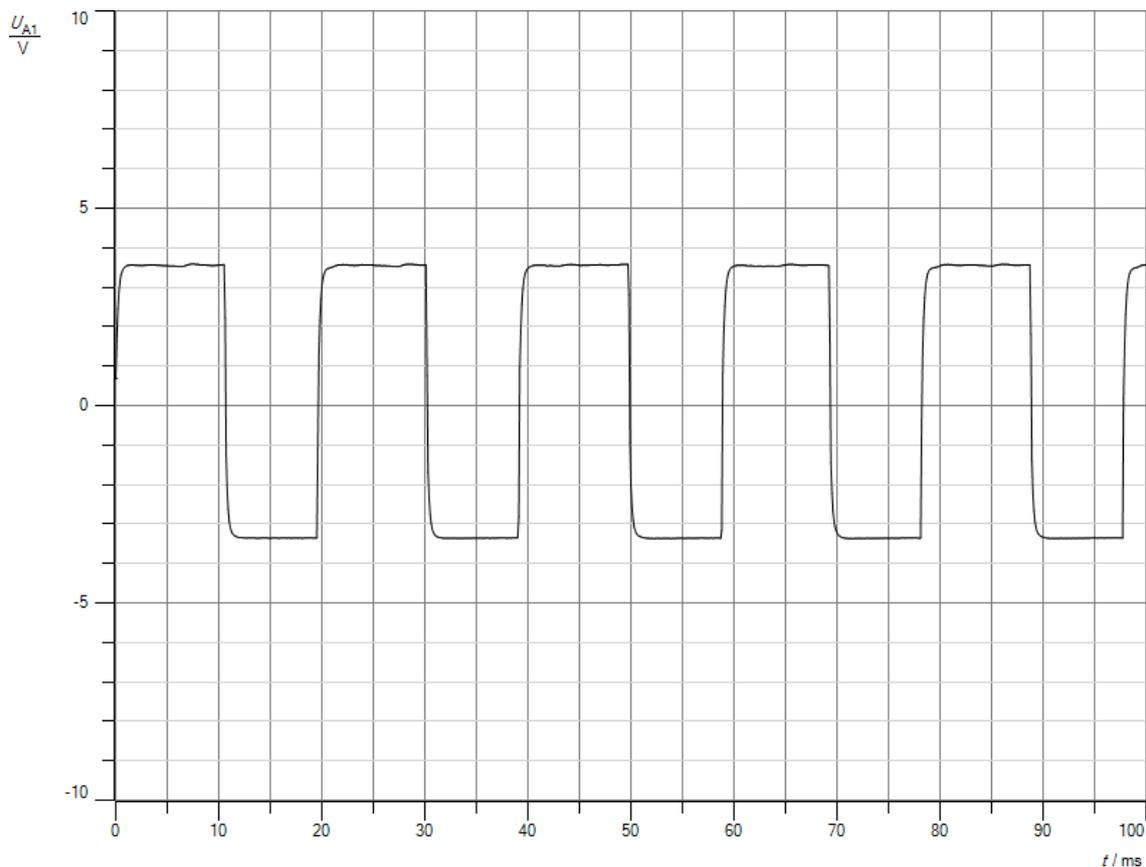
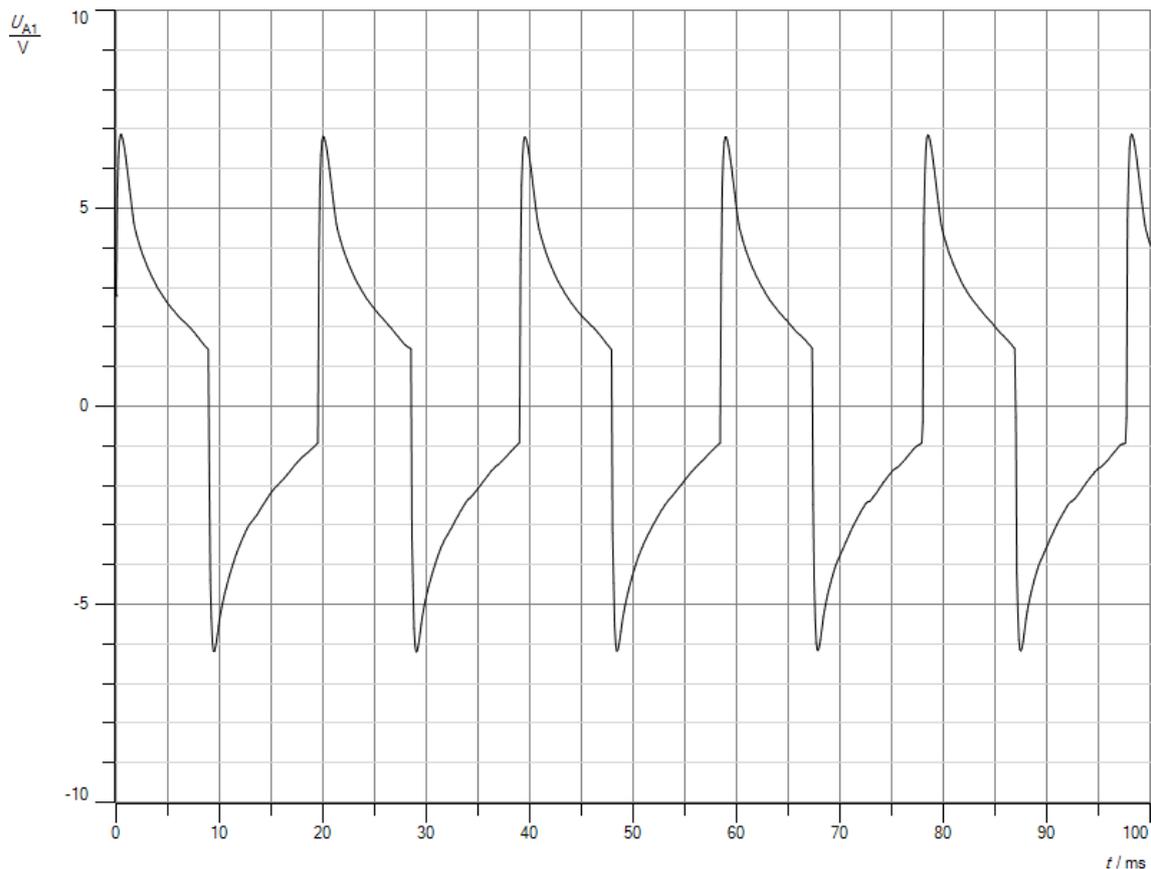


Abb. 7: Spannung am Ausgang des Wechselrichters



**Abb. 8: Spannung am Ausgang des 2. Trafos**

**Erklärung:**

Am Ausgang des Wechselrichters liegt eine Rechteckspannung mit der Amplitude  $U = 3,5 \text{ V}$  vor (s. Abb. 7). Durch Induktion entsteht am Ausgang des 2. Trafos eine Spannung, die in den Anstiegsbereichen der Rechteckspannung hohe Spitzen mit  $U = 6,5$  aufweist (s. Abb. 8). Durch den Gleichrichter vor der LED werden sie gleichgerichtet und mit Hilfe des Kondensators geglättet. Mit zunehmender Frequenz nimmt die Zahl der Spannungsspitzen pro Sekunde zu und damit ihr Einfluss auf die Effektivspannung am Ausgang des 2. Trafos. Sie steigt und die LED leuchtet heller. Der Versuch demonstriert die Probleme, die bei Wechselrichtern auftreten können. Wird mit ihnen in einer Photovoltaikanlage eine Wechselspannung erzeugt, die anschließend hochtransformiert wird, um sie ins Netz einspeisen zu können, so muss man unbedingt auf die Konstanz der Frequenz achten, mit der der Wechselrichter betrieben wird. Ansonsten kommt es zu Spannungsschwankungen, die den ordnungsgemäßen Betrieb der angeschlossenen Verbraucher beeinträchtigen und sie sogar zerstören können.

**2.2.7 Colpitswechselrichter**

Abb. 1 zeigt den konkreten Schaltplan eines Colpitsoszillators. Die Verschaltung auf einer Lochrasterplatine macht Abb. 2 deutlich. Die fertig verlötete 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 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 Piezolausprecher klebt man mit mehreren Streifen Tesafilm auf die Innen-

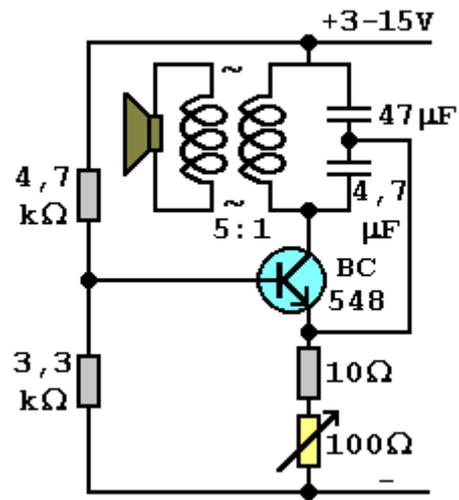


Abb.1: Schaltplan Colpittsoszillator

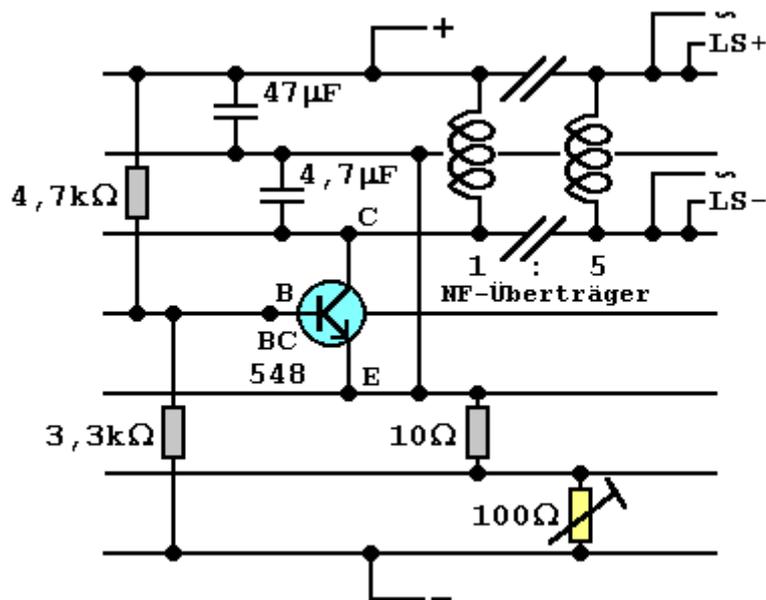


Abb.2: Verschaltung des Colpittsoszillators

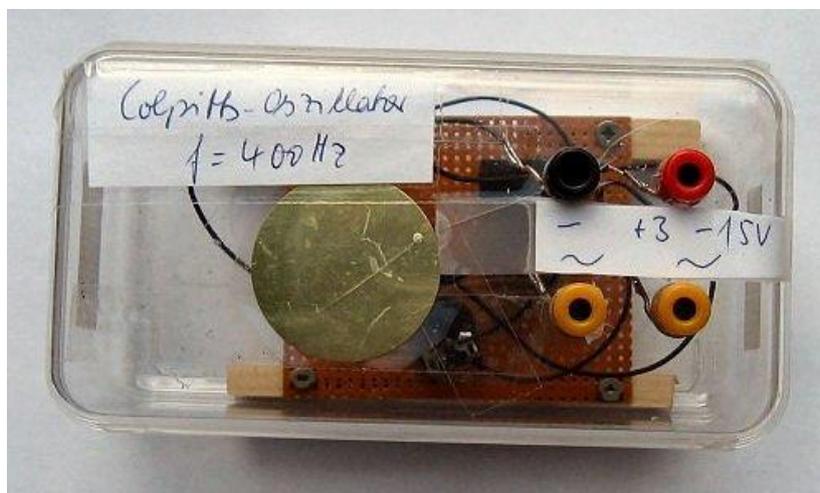


Abb.3: Colpittsoszillator

seite des Deckels. Vorher muss man an ihn zwei Litzen löten, eine auf den Rand und eine auf die Mitte. Dann verbindet man über Schaltlitze die Anschlüsse auf der Platine mit den entsprechenden Bauteilen am Deckel. Die fertige Schaltung zeigt Abb. 3.

Benötigt man einen Wechselrichter für verschiedene Frequenzen, so kann man die Kondensatoren im Schwingkreis austauschen. Man kann für den Schwingkreis auch eine eigene auswechselbare Spule benutzen unabhängig vom Überträger. Das gelingt mit der Schaltung in Abb. 4.

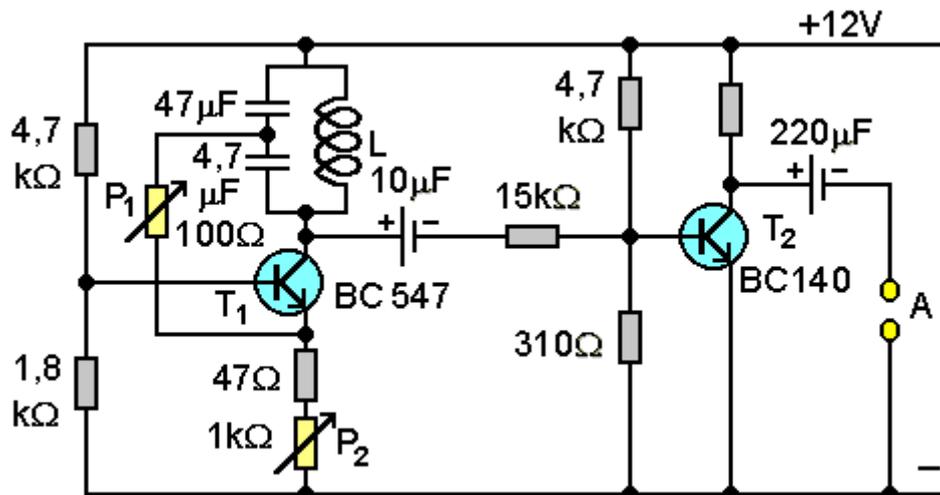


Abb. 4: Colpittswechselrichter für verschiedene Frequenzen

Mit den beiden Potentiometern  $P_1$  und  $P_2$  kann man die Energiezufuhr bzw. -abfuhr des Schwingkreises regeln. Gleichzeitig steuert man über  $P_1$  den Transistor  $T_1$  über dessen Basis-Emitterspannung  $U_{BE}$  im Takte des Schwingkreises. Über  $P_2$  stellt man den Arbeitspunkt von  $T_1$  ein. Wird genau so viel Energie zu- wie abgeführt, so liegt ein Gleichgewicht vor und man erhält eine enddämpfte Schwingung. Wegen der Dämpfung ist ihre Frequenz  $f$  nicht exakt gleich der Resonanzfrequenz  $f_R$  eines ungedämpften Schwingkreises. Sie liegt aber im Bereich der Resonanzkurve. Für  $f_R$  gilt

$$f_R = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C}}$$

mit  $L$  als Induktivität und  $C$  als Kapazität. Außerdem können die Frequenzen  $f$  und  $f_R$  wegen der Toleranzen der Bauteile voneinander abweichen. Arbeitet  $T_1$  im linearen Bereich, so erhält man eine saubere Sinusschwingung, anderenfalls kommt es zu Verzerrungen. Der Transistor  $T_2$  verstärkt den Strom, so dass man einen Kleintrafo, eine LED-Einheit bzw. eine Motoreinheit anschließen kann (s. u. Versuch 3).

#### Versuch 1:

##### Aufbau:

Die Schaltung aus Abb.3 verbindet man über die schwarze und rote Buchse mit dem Minus- bzw. Pluspol einer Gleichspannungsquelle mit einer Spannung von  $U = 3 - 15$  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.

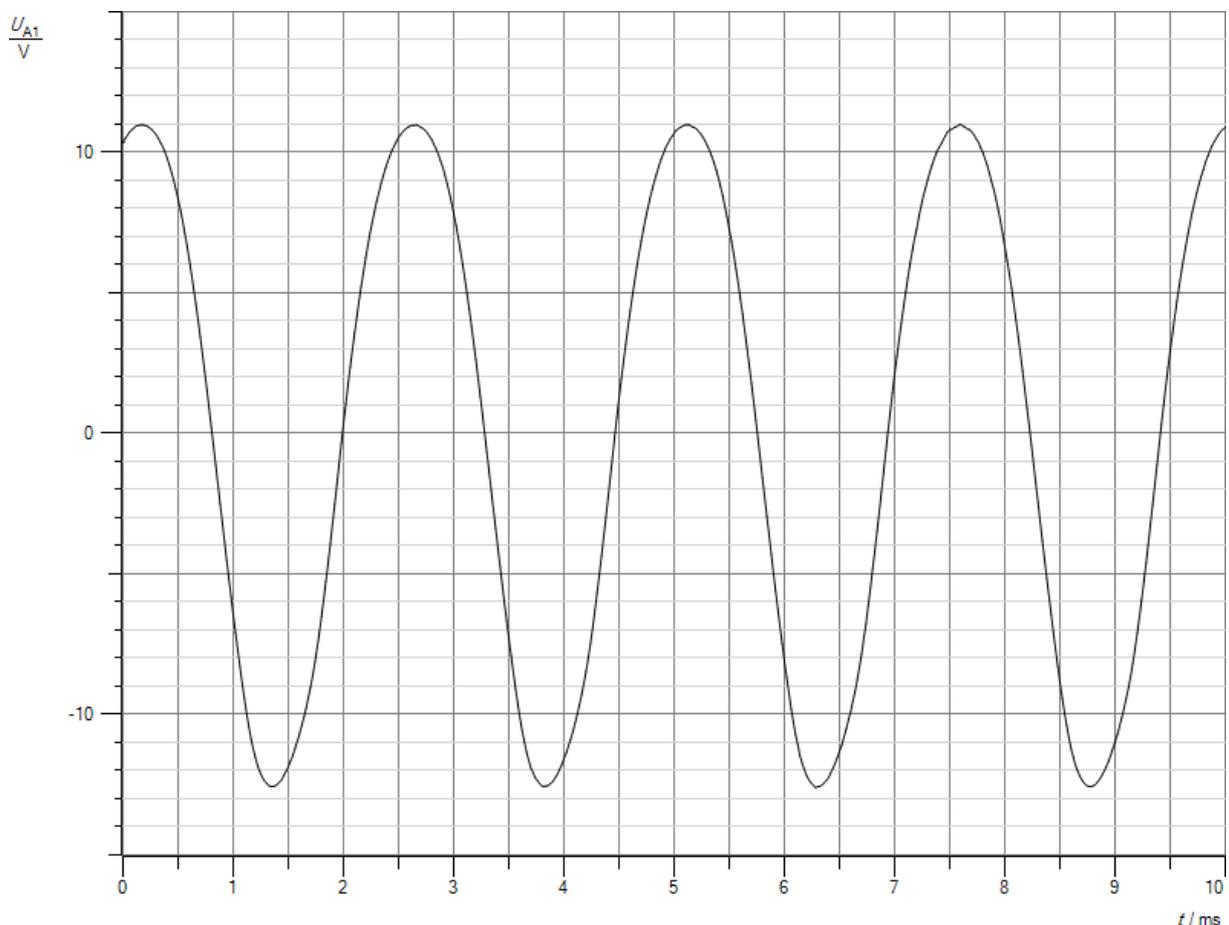
**Versuch 2:**

**Aufbau:**

Die Schaltung aus Abb. 3 legt man an eine Gleichspannungsquelle mit  $U = 5\text{ V}$ . Die gelben Buchsen werden mit den Spannungseingängen von cassy mobile verbunden.

**Durchführung:**

Man schaltet alle Geräte ein. An cassy mobile wählt man als Messzeit  $t = 10\text{ ms}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 50\text{ }\mu\text{s}$ . Man startet cassy mobile. Die Aufzeichnung stoppt automatisch.



**Abb. 5: Ausgangsspannung am Colpittswechselrichter**

**Beobachtung:**

Man erhält die Kurve in Abb. 5.

**Auswertung:**

Man ermittelt aus der Kurve die Periodendauer  $T$  und erhält

$$T = 2,48\text{ ms.}$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$f = \frac{1}{T} = 403 \text{ Hz.}$$

#### 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 Überträgers und die beiden Kondensatoren bestimmt. Sie beträgt mit den angegebenen Bauteilen  $f = 400 \text{ Hz}$ , wie sich aus der Messkurve ergibt.

#### Versuch 3:

##### Aufbau:

Man baut den Versuch nach Abb. 6 mit dem Colpitsoszillator aus Abb. 4 auf. Die Induktivität beträgt  $L = 3 \text{ H}$ . Die weiße LED hat die Kenndaten  $U_{\text{max}} = 3,2 \text{ V}$  und  $I_{\text{max}} = 20 \text{ mA}$ . Bei den Trafos handelt es sich um kleine Printtrafos mit den angegebenen Spannungswerten.

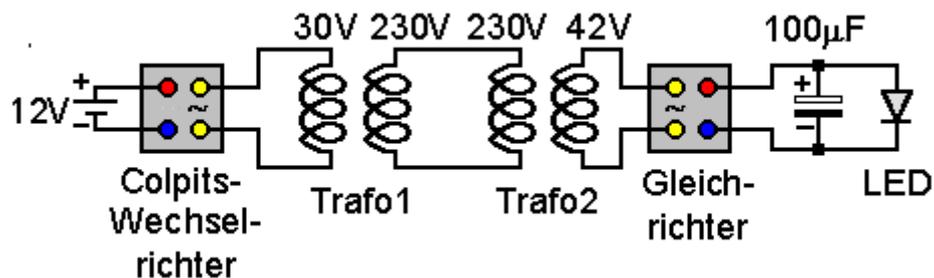


Abb. 6: Versuchsaufbau

##### Durchführung:

Man schließt ohne LED an den Ausgang des 2. Trafos ein Messwerterfassungssystem wie cassy der Firma Leybold an. An cassy wählt man die Optionen: Messzeit:  $t = 100 \text{ ms}$ , Intervall  $\Delta t = 100 \mu\text{s}$ , Aufnahme: wiederholend, Trigger:  $U_A, 0,0 \text{ V} \wedge$ . Man schaltet die Spannungsquelle ein, startet cassy und dreht an beiden Potis des Wechselrichters solange bis man eine saubere Sinuslinie mit maximaler Amplitude erhält. Man stoppt cassy. Dann schließt man die LED-Einheit mit Gleichrichter an den Ausgang des 2. Trafos an. Man misst die Effektivspannung am Ausgang des 2. Trafos.

##### Beobachtung:

Man erhält die Kurve in Abb. 7. Die LED leuchtet. Die Effektivspannung beträgt  $U_{\text{eff}} = 2,79 \text{ V}$ .

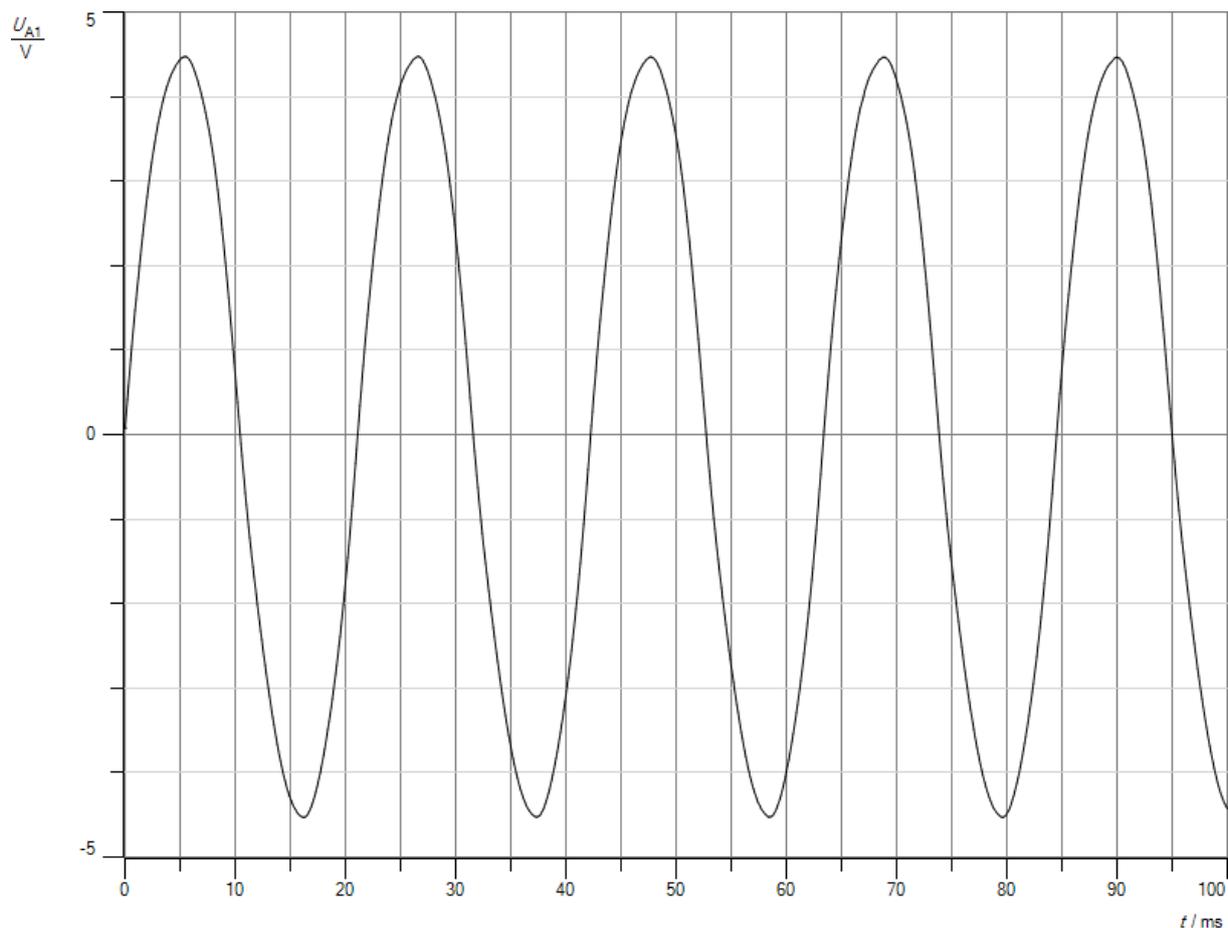
##### Auswertung:

Aus der Messkurve erhält man für die Periodendauer

$$T = 21,2 \text{ ms.}$$

und für die Frequenz

$$f = 47,2 \text{ Hz.}$$



**Abb. 7: Messkurve**

Benutzt man die Formel für die Resonanzfrequenz des Schwingkreises, so ergibt:

$$f_R = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C}} = \frac{1}{2\pi * \sqrt{3H * 4,27 * 10^{-6}F}} = 44,5 \text{ Hz.}$$

Dabei muss man beachten, dass sich die Kapazität des Schwingkreises aus einer Reihenschaltung von zwei Kondensatoren zusammensetzt. Folglich gilt:

$$C = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2} = \frac{47 * 10^{-6}F * 4,7 * 10^{-6}F}{47 * 10^{-6}F + 4,7 * 10^{-6}F} = 4,27 * 10^{-6}F.$$

Berechneter und gemessener Wert stimmen im Rahmen der Bauteiltoleranzen gut überein.

#### **Versuch 4:**

##### **Aufbau:**

Man baut den Versuch nach Abb. 8 mit dem Colpitsoszillator aus Abb. 4 auf. Die Induktivität beträgt  $L = 3 \text{ H}$ . Die weiße LED hat die Kenndaten  $U_{\max} = 3,2 \text{ V}$  und  $I_{\max} = 20 \text{ mA}$ .

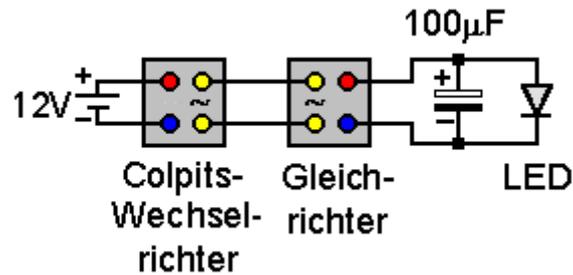


Abb. 8: Versuchsaufbau

**Durchführung:**

Man schaltet die Spannungsquelle ein. Man misst die Effektivspannung am Ausgang des Oszillators bei angeschlossener LED. Dabei darf man die Einstellungen der beiden Potis am Colpits-Wechselrichter im Vergleich zu Versuch 3 nicht verändern.

**Beobachtung:**

Die LED leuchtet heller auf als in Versuch 3. Die Effektivspannung beträgt  $U_{\text{eff}} = 3,15 \text{ V}$ .

**Erklärung:**

Am Ausgang des Oszillators liegt eine sinusförmige Wechselspannung vor. Sie wird durch den Gleichrichter vor der LED gleichgerichtet. Mit dieser Gleichspannung kann man die LED betreiben, da sie Gleichspannung benötigt. Dass die LED heller leuchtet als in Versuch 3 liegt an den Verlusten in beiden Trafos in Versuch 3.

### 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 Netzteil. Es wird außerdem zum Laden der Akkus benötigt. Bei geringer Anforderung an die Güte der Gleichspannung reicht ein Gerät nach Abb. 1 aus.

Es besteht aus vier Teilen:

- 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.

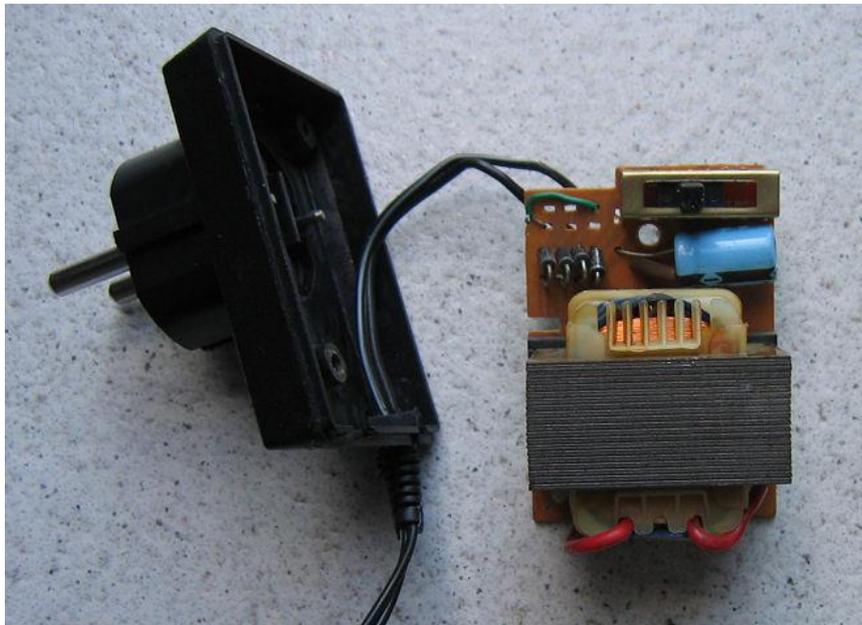


Abb.1: einfaches Netzgerät

Den genauen elektronischen Aufbau entnehmen Sie Abb.2.

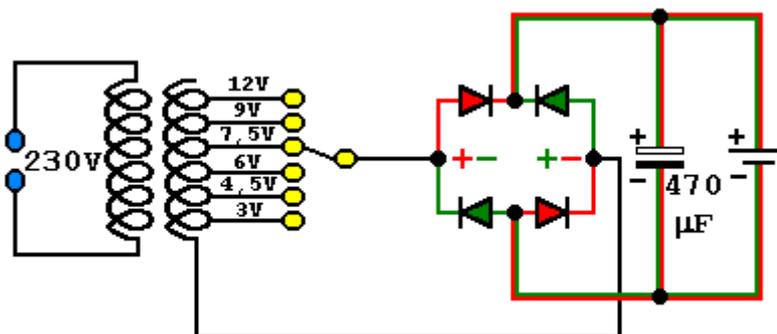


Abb.2: Schaltplan des Netzgerätes

Diese vier Einheiten kann man in Abb. 1 deutlich erkennen. 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  $f = 50 \text{ Hz}$  in jeder Sekunde 100mal. Liegt am linken Eingang plus und am rechten minus an, verdeutlicht durch die roten Plus- und Minuszeichen in Abb.2, 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 pulsierende Gleichspannung geglättet.

### Versuch 1:

#### Aufbau:

Man wählt am geschlossenen Netzteil aus Abb. 1 eine Ausgangsspannung  $U = 4,5 \text{ V}$  und verbindet seine Ausgänge mit den Spannungseingängen eines Messwerterfassungssystems, etwa cassy. Achten Sie auf die richtige Polung. Man schließt an den Ausgang des Netzteiles unterschiedliche Widerstände an.

#### Durchführung:

Man steckt das Netzteil in die Steckdose und schaltet cassy ein. In cassy wählt man als Messzeit  $t = 50 \text{ ms}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 100 \mu\text{s}$ . Man startet die Messung. Sie stoppt automatisch. Dann wiederholt man die Messung mit anderen Widerständen. Zuvor sollte man die Option „Messreihe hinzufügen“ in cassy aktivieren.

#### Beobachtung:

Man erhält die Messkurven in Abb. 3.

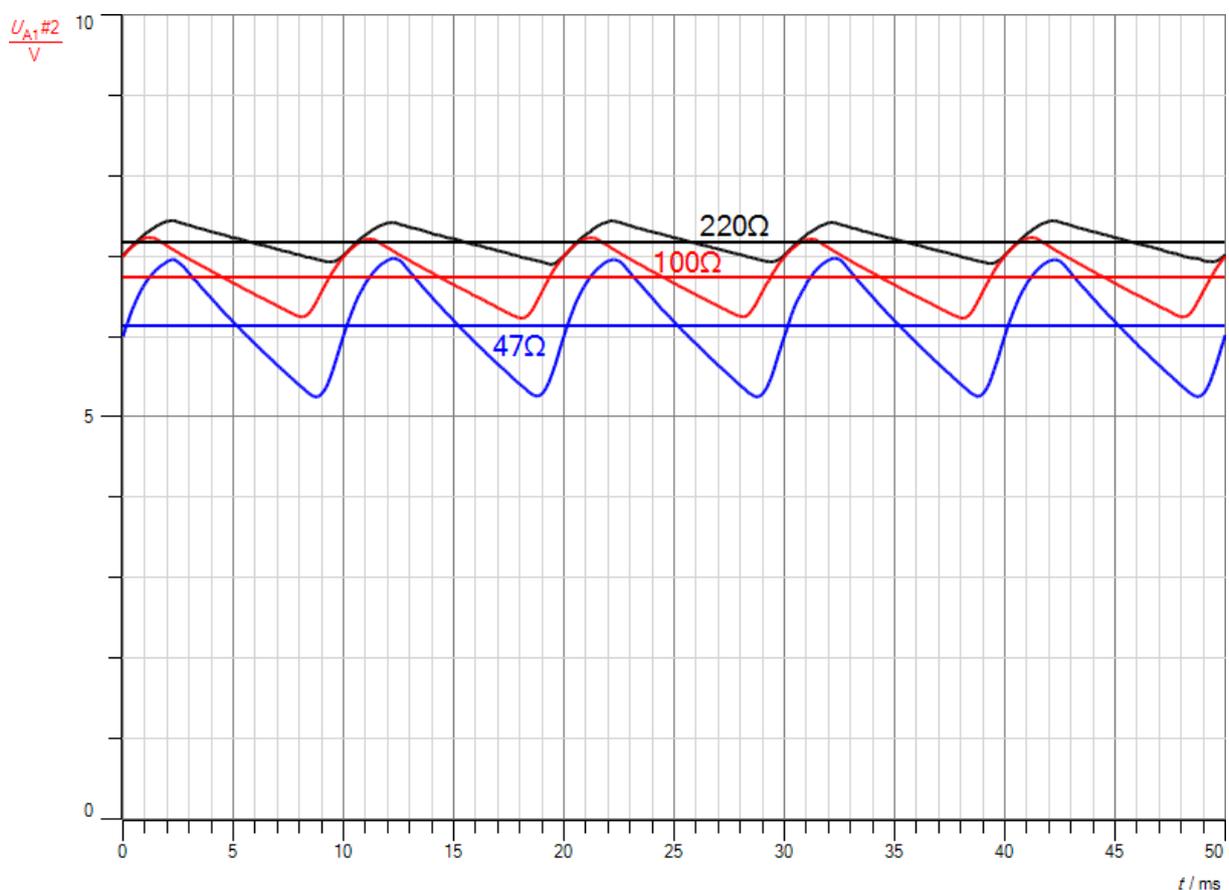


Abb.3: Messkurven

**Folgerung:**

Der Mittelwert der Ausgangsspannung ist bei allen drei Widerständen erheblich größer als die angegebene Ausgangsspannung. Sie gilt nur näherungsweise bei voller Belastung des Netzteiles mit  $I = 300 \text{ mA}$ . Außerdem nimmt die Welligkeit  $W$  mit sinkendem Widerstand stark zu. Bei  $R = 47 \Omega$  beträgt sie

$$W = \frac{\Delta U}{U} * 100\% = \frac{6,96V - 5,26V}{6,12V} * 100\% = 27,8\%.$$

Bei dieser Belastung wäre das Netzteil schlecht für Audiogeräte geeignet. Die Welligkeit würde sich als unangenehmes Brummen mit  $f = 100 \text{ Hz}$  bemerkbar machen. Man müsste einen Spannungsregler nachschalten oder ein Netzteil mit integriertem Regler benutzen.

**Versuch 2:****Aufbau:**

Man benutzt ein Netzteil mit integriertem Regler und einer Ausgangsspannung  $U = 5 \text{ V}$ . Man verbindet seine Ausgänge mit den Spannungseingängen von cassy. Achten Sie auf die richtige Polung. Man schließt an den Ausgang des Netzteiles unterschiedliche Widerstände an.

**Durchführung:**

Man steckt das Netzteil in die Steckdose und schaltet cassy ein. In cassy stellt man als Messzeit  $t = 50 \text{ ms}$  bei einer Auflösung  $\Delta t = 100\mu\text{s}$  ein. Man startet die Messung. Sie stoppt automatisch. Dann wiederholt man die Messung mit anderen Widerständen. Zuvor sollte man die Option „Messreihe hinzufügen“ in cassy aktivieren.

**Beobachtung:**

Man erhält die Messkurven in Abb. 4.

**Folgerung:**

Ein geregeltes Netzteil liefert unabhängig von der Belastung eine sehr konstante Ausgangsspannung, die bis auf

$$P = \frac{5,12V - 5V}{5V} * 100\% = 2,4\%$$

mit der Aufschrift übereinstimmt.

**Fazit:**

Möchte man einen Verbraucher, z.B. eine LED-Lampe mit einem nicht geregelten Netzteil betreiben, muss man unbedingt auf die zulässige Spannung der Lampe achten. Sonst kann sie schnell überlastet werden und durchbrennen. Am besten schließt man sie kurz ans Netzteil an und überprüft mit einem Voltmeter die Ausgangsspannung. Liegt sie mehr als 10% über der zulässigen Spannung der Lampe, ist das Netzteil mit der gewählten Spannung nicht für den Dauerbetrieb der LED-Lampe geeignet. Man muss eine geringere Spannung am Netzteil einstellen, sofern das möglich ist. Oder man benutzt ein geregeltes Netzteil. Dann ist man auf der sicheren Seite. Und die Zeiten sind vorbei, in denen sie erheblich teurer waren als unregelte. Wie ein Schaltregler funktioniert wird im Skript „Regler“ auf dieser Webseite erklärt.

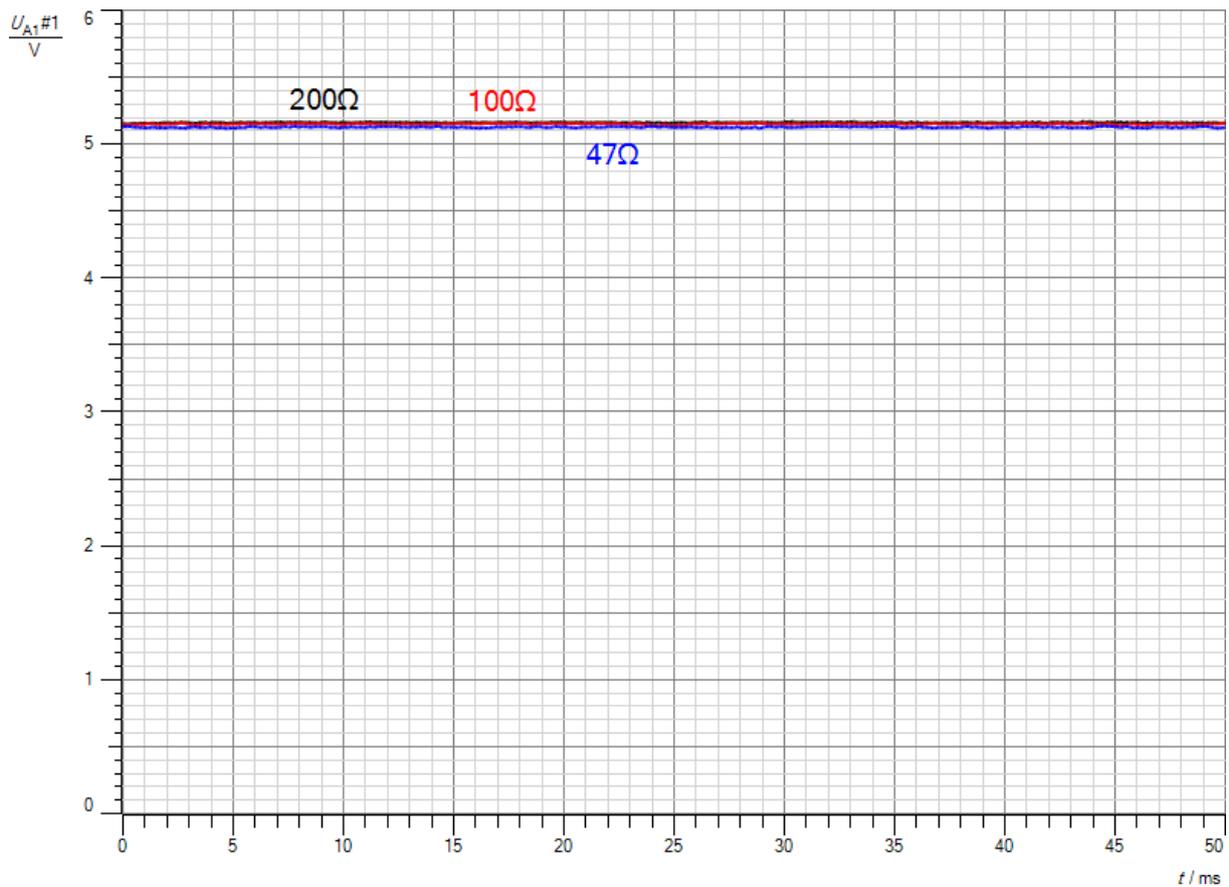


Abb.4: Messkurven

### 3.2 Trickschaltung

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

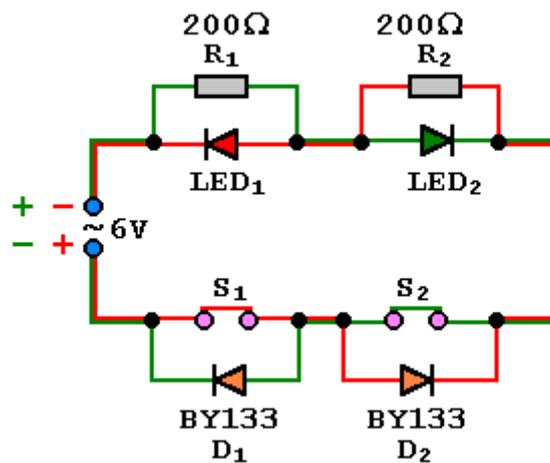


Abb.1: Trickschaltung mit Dioden

**Versuch:**

**Aufbau:**

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

**Durchführung:**

Man schließt erst den Schalter  $S_1$ , dann Schalter  $S_2$  und zum Schluss beide gleichzeitig.

**Beobachtung:**

Ist Schalter  $S_1$  geschlossen, so leuchtet nur die rote LED<sub>1</sub>, ist Schalter  $S_2$  geschlossen, so brennt die grüne LED<sub>2</sub>. Sind beide Schalter geschlossen, so leuchten beide LEDs gleichzeitig.

**Erklärung:**

Obwohl die LEDs 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  $D_1$  und  $D_2$ , die parallel zu den Schaltern liegen. Ist nur  $S_1$  geschlossen, so kann der Strom über den Schalter  $S_1$ , die Diode  $D_2$  und den Widerstand  $R_2$  zur roten LED<sub>1</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>,  $S_2$  und  $D_1$  geschlossen ist. Die rote LED leuchtet dagegen nicht. Bei der roten Polung der Spannungsquellen leuchtet keine der beiden LEDs, 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 LEDs auf den zulässigen Wert von etwa  $I = 20 \text{ mA}$  bei einer Spannung von  $U = 2 \text{ V}$  begrenzen. Für sie gilt daher:

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

Zwei vietnamesische Schüler eines 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. Sie hatten die Schaltung mit zwei Glühlämpchen und zwei Mikroschaltern nachgebaut, betrieben sie außerdem mit einer 4,5 V Flachbatterie, die normalerweise Gleichspannung liefert. Und damit sollte die Schaltung nicht funktionieren. Dem Geheimnis kam ich erst auf die Schliche, als ich die vermeintlich normale Batterie an einen Oszillographen anschloss. Dabei stellte sich heraus, dass sie in der Batterie eine der drei Monozellen durch einen kleinen H-Brückenwechselrichter ersetzt hatten, so dass die Batterie am Ausgang tatsächlich Wechselspannung lieferte. Außerdem hatten sie sie die zwei Glühlämpchen und die zwei Mikroschalter manipuliert, in dem sie in alle vier Bauteile winzige Dioden eingelötet hatten. Schloss man diese Reihenschaltung aus zwei Schaltern und zwei Glühlämpchen 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. 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 zeigt einen kleinen Wechselrichter der Firma Voltcraft (Bezugsquelle Conrad-Electronic), wie er für Autos verwendet wird. Er wird an die Buchse des Zigarettenanzünders angeschlossen und liefert an seinem Ausgang eine Wechselspannung mit  $f = 50 \text{ Hz}$  bei einer Dauerleistung  $P = 100 \text{ W}$  und einer kurzzeitigen Spitzenleistung  $P_S = 200 \text{ W}$ . Um die Form der Spannung mit der Sinusspannung des Netzes vergleichen zu können, führt man folgenden Versuch durch.



Abb.1: Autowechselrichter

**Versuch:**

**Aufbau:**

Man baut die Prüfschaltung nach Abb.2 auf.

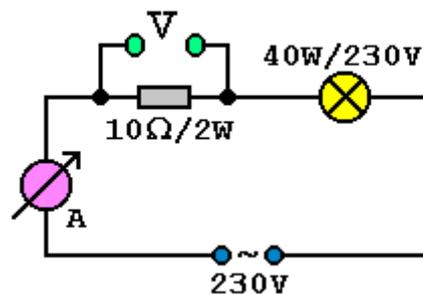
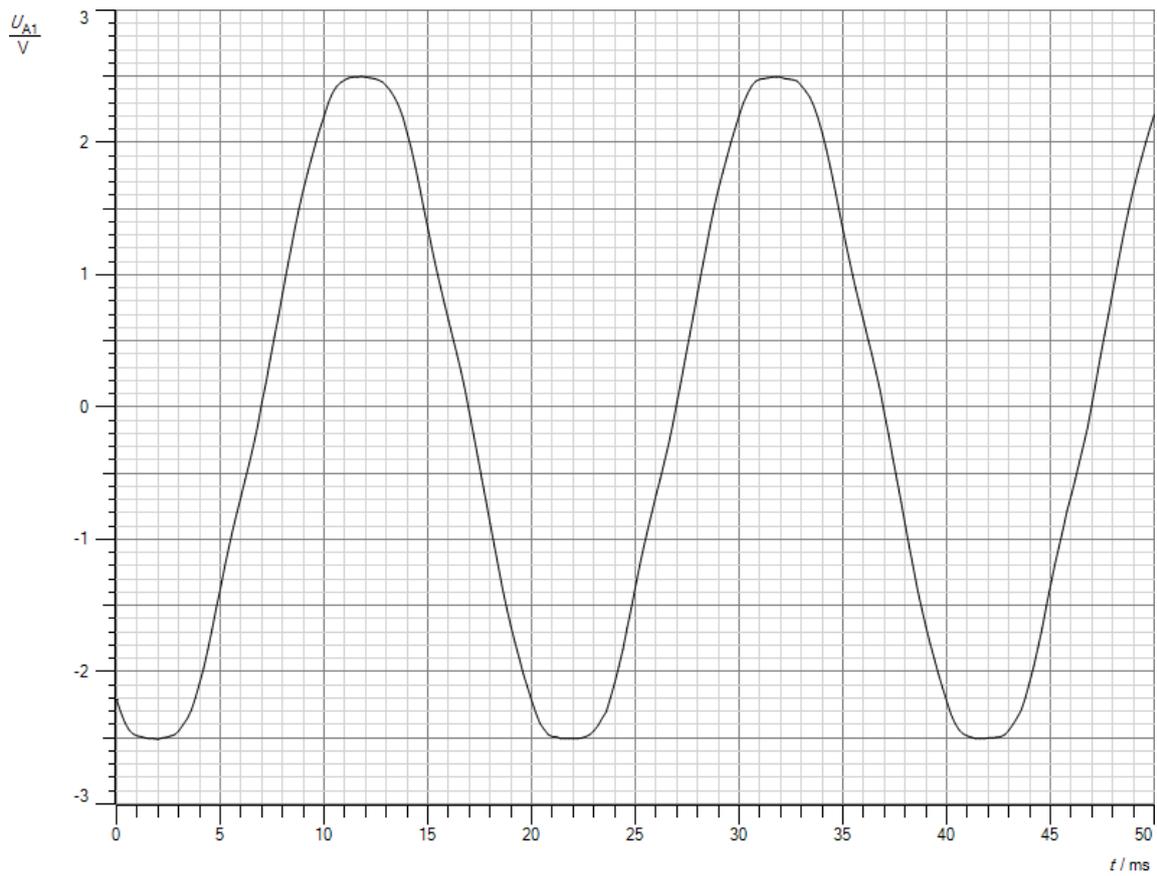


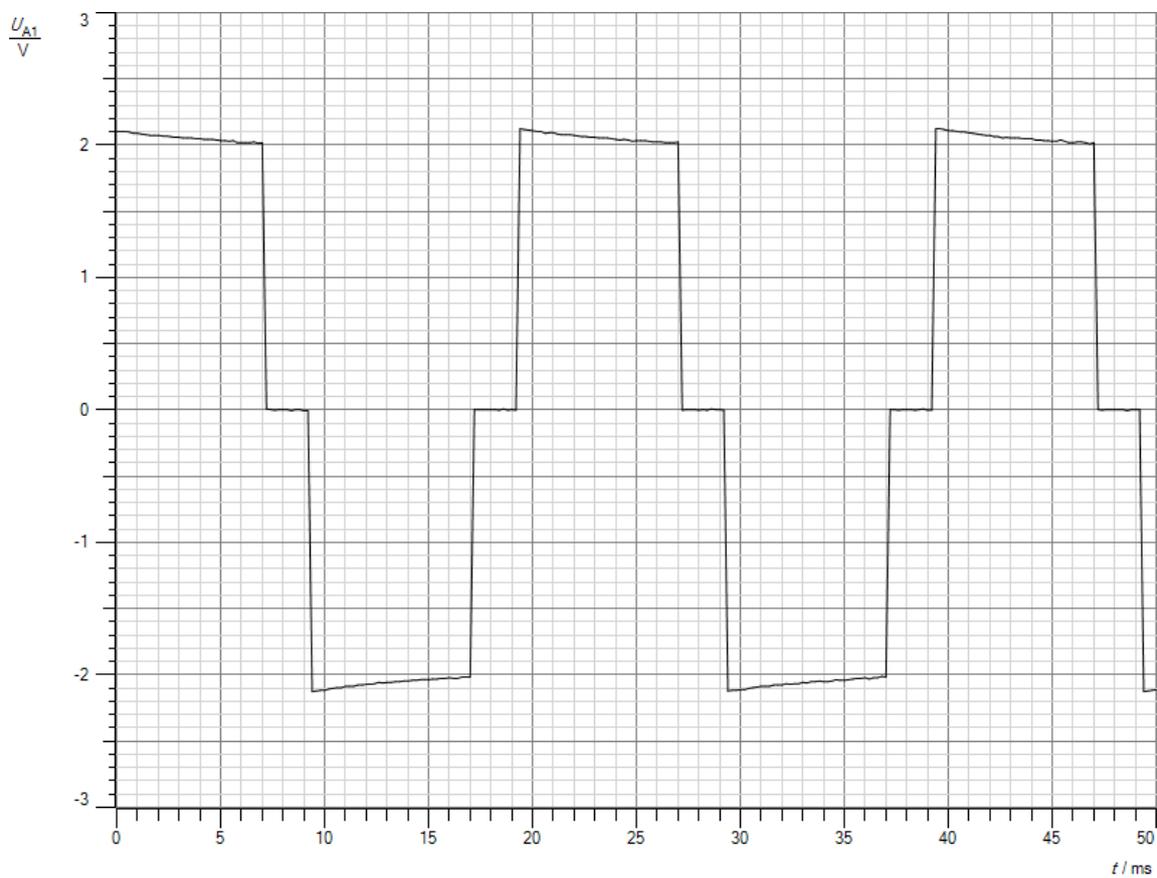
Abb.2: Prüfschaltung

**Durchführung:**

Man schließt sie über eine Sicherheitssteckdose zunächst an den Ausgang des Wechselrichters an. Zur Messung der Spannung benutzt man cassy mobile, als Strommessgerät ein Digitalmultimeter. Man kann auch für beide Größen gleichzeitig cassy mobile benutzen, wobei man auf die richtige Erdung achten muss. Der Wechselrichter wird auf der Eingangsseite mit



**Abb.3a: Spannung am Stromnetz**



**Abb.3b: Spannung am Wechselrichter**

einer Autobatterie, einem Solarmodul oder einem geglätteten Gleichspannungstrafo verbunden, die an ihrem Ausgang  $I = 5 \text{ A}$  und  $U = 12 \text{ V}$  liefern können. Anschließend legt man die Prüfschaltung über eine Sicherheitssteckdose ans Stromnetz.

**Beobachtung:**

Man erhält mit cassy mobile für die Spannungen die Kurven in Abb. 3a und 3b. In beiden Fällen fließt ein Wechselstrom

$$I_{\text{eff}} = 0,176\text{A}.$$

**Auswertung:**

Die Abb. 3a zeigt den Verlauf der Sinuswechselfspannung im öffentlichen Netz, die Abb. 3b den Verlauf der Spannung am Wechselrichter. Damit beide Geräte gleichwertig sind, muss man die Effektivspannungen miteinander vergleichen. Dazu errechnet man zunächst die Amplitude  $U_N$  der Wechselfspannung des Stromnetzes und den Maximalwert  $U_W$  der Wechselfspannung des Wechselrichters und aus beiden jeweils den Effektivwert. Es gilt:

$$R_{\text{ges}} = \frac{40\text{W}}{(0,176\text{A})^2} + 10\Omega = 1301\Omega.$$

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:

$$U_{RN} = 2,5\text{V}$$
$$U_{RW} = 2,05\text{V}.$$

Für die Maximalwerte der Gesamtspannungen  $U_N$  und  $U_W$  erhält man damit

$$U_N = \frac{R_{\text{ges}}}{R} * U_{RN} = \frac{1301\Omega}{10\Omega} * 2,5\text{V} = 325\text{V}.$$

$$U_W = \frac{R_{\text{ges}}}{R} * U_{RW} = \frac{1301\Omega}{10\Omega} * 2,05\text{V} = 267\text{V}.$$

Bei Sinusspannung gilt zwischen dem Effektivwert  $U_{\text{Neff}}$  und der Amplitude  $U_0$  der Spannung folgender Zusammenhang:

$$U_{\text{Neff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{325\text{V}}{\sqrt{2}} = 230\text{V}.$$

Für die Ausgangsspannung des Wechselrichters kann man den Effektivwert  $U_{\text{Weff}}$  wie folgt errechnen:

$$U_{\text{Weff}} = \sqrt{\frac{U_0^2 * t}{T}}$$

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 erhält man aus der Kurve:

$$T = 20\text{ms}.$$

Aus der Kurve nach Abb. 3b liest man ferner ab, dass die Ausgangsspannung des Wechselrichters während einer Periode für die Zeit  $t$

$$t = 15,2\text{ms}$$

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

$$U_{\text{Weff}} = \sqrt{\frac{(267\text{V})^2 * 15,2\text{ms}}{20\text{ms}}} = 233\text{V}.$$

Um die theoretischen Überlegungen zu überprüfen, misst man mit cassy an beiden Stromquellen die Effektivspannung am Messwiderstand  $R$ . Man erhält

$$U_{\text{Neff}} = 1,77\text{V}$$

$$U_{\text{Weff}} = 1,78\text{V}.$$

Rechnet man diese Messwerte auf den Gesamtwiderstand hoch, so ergibt sich:

$$U_{\text{Neff}} = \frac{1301\Omega}{10\Omega} * 1,77\text{V} = 230\text{V}.$$

$$U_{\text{Weff}} = \frac{1301\Omega}{10\Omega} * 1,78\text{V} = 232\text{V}.$$

Messwerte und theoretische Werte stimmen sehr gut überein. Stromnetz und Wechselrichter liefern die gleiche Effektivspannung. Man kann 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.

Der Wechselrichter hat noch eine Besonderheit. Er liefert an einem USB-Ausgang zusätzlich eine geglättete Gleichspannung von  $U = 5\text{V}$  bei einem maximalen Strom von  $I = 500\text{mA}$  für elektronische Geräte oder zum Laden von Smartphones oder Handys. Die restlichen technischen Daten entnehmen Sie der folgenden Tabelle.

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

$$Q = 45Ah.$$

Bei einer Leistung des Wechselrichters von

$$P = 100W$$

ergibt sich eine Stromaufnahme auf der Gleichspannungsseite von

$$I_0 = \frac{100W}{12V} = 8,33A$$

bei einer Leistungseffizienz von  $\eta = 100\%$ .

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
Ausschaltswellenwert 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 Autowechselrichters<sup>1)</sup>**

Berücksichtigt man den in der Tabelle angegebenen Wirkungsgrad von  $\eta = 90\%$ , so erhält man für den tatsächlichen Strom

$$I = \frac{8,33A}{0,9} = 9,26A.$$

Damit wäre die Batterie nach

$$t = \frac{45Ah}{9,26A} = 4,9h$$

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 Stromverbrauch im Standby-Betrieb beachten. Auch er kann die Batterie entladen, und das immerhin nach

$$t = \frac{45Ah}{0,25A} = 180h = 7,5d.$$

Steht das Auto 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 mit höherer Leistung und einer besser angepassten Sinusspannung.

## **4. Literatur**

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