

BASISWISSEN FLIPPER-ELEKTRONIK

Ein Service von www.flippermarkt.de

Kapitel 1

Version 1.0 – 17.1.2007

Spannung

Strom

Widerstand

Leistung

Gleichrichtung

© Jan Schaffer (buja85)

Der Inhalt dieses Dokuments ist urheberrechtlich geschützt. Seine Nutzung ist nur zum privaten Zweck zulässig. Jede Vervielfältigung, Vorführung, Sendung, Vermietung und/oder Leihe des Dokuments oder einzelner Inhalte ist ohne Einwilligung des Rechteinhabers untersagt und zieht straf- oder zivilrechtliche Folgen nach sich. Alle Rechte bleiben vorbehalten.

Was immer wir an einem Flipper wahrnehmen, ob eine Spule zieht, eine Lampe brennt etc., es wird bewirkt durch elektrischen Strom.

So wie Wasser durch einen Gartenschlauch fließt, bewegen sich Ladungsträger, nämlich negativ geladene Elementarteilchen (Elektronen), durch ein Material, das geeignet ist, diese zu befördern, einen sogenannten Leiter, z.B. durch einen Kupferdraht.

Im Gegensatz zum Wasser bewegen sich die Elektronen hauptsächlich an der Oberfläche, aber das spielt hier keine Rolle.

Damit Wasser durch den Schlauch fließen kann, muss ein Druck dahinter sitzen.

Das gleiche gilt für die Elektronen, und diesen Druck bezeichnet man als Spannung.

Spannung: Die Maßeinheit ist Volt, Kurzbezeichnung V, das Formelzeichen U.

Nun ist bekannt, dass die Menge des Wassers, die durch einen Schlauch fließt, nicht nur von dem Druck abhängt, sondern auch vom Durchmesser des Schlauches. Der Schlauch setzt dem Wasserstrom einen Widerstand entgegen. Drücken wir den Schlauch zusammen, wächst der Widerstand, es fließt weniger Wasser.

Auch das Transportmedium der Elektronen setzt diesen stets einen Widerstand entgegen.

Wir beschränken uns bei unseren Betrachtungen auf den **Wirkwiderstand** oder auch **Ohmschen Widerstand**, der sich bei Gleichstrom und Wechselstrom identisch verhält.

Widerstand: Die Maßeinheit ist Ohm, Kurzbezeichnung Ω , das Formelzeichen R.

Die Menge der Elektronen, die während einer Sekunde durch den Leiter befördert werden, wird gemessen als Ampere.

Strom: Die Maßeinheit ist Ampere, Kurzbezeichnung A, das Formelzeichen I.

Beim Gartenschlauch kann man problemlos messen, wie viel Wasser in einer Sekunde befördert wird.

Bei den Elektronen geht das nicht, da muss man sich behelfen mit dem, was die Teilchen bewirken.

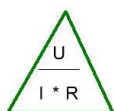
Ich greife zur Stromstärke auf eine alte Definition zurück, die zur Zeit von Georg Simon Ohm aufgestellt wurde.

Es fließt ein konstanter Strom von 1 A, wenn aus einer Lösung von Silbernitrat in Wasser in einer Sekunde genau 1,18 mg Silber an der negativen Elektrode abgeschieden wird.

Wir kennen jetzt die elektrischen Größen **U, I und R** und kommen zurück auf Herrn Ohm, der eine feste Beziehung dieser drei Größen festgestellt hat, was allgemein als das **Ohmsche Gesetz** bekannt ist und dessen Definitionsgleichung lautet: **$U = I \cdot R$**

Es ist offensichtlich, dass man bei entsprechender Umstellung der Gleichung problemlos auch I und R berechnen kann, wenn die jeweils beiden anderen Werte bekannt sind.

Dazu ist ein als magisch bezeichnetes Dreieck bekannt:



Man nimmt die Maßeinheit aus dem Dreieck und ermittelt deren Wert durch die im Dreieck verbliebene Formel.

Vor den Maßeinheiten finden sich häufig Präfixe: Kilo..., Mega..., Milli... zum Beispiel.

Was es damit auf sich hat, zeigt die nachfolgende Tabelle.

Präfix	Zeichen	Potenz (Basis 10)	Faktor für den Messwert
femto	f	-15	0,000.000.000.000.001
piko	p	-12	0,000.000.000.001
nano	n	-9	0,000.000.001
mikro	μ	-6	0,000.001
milli	m	-3	0,001
centi	c	-2	0,01
dezi	d	-1	0,1
kilo	k	3	1.000
mega	M	6	1.000.000
giga	G	9	1.000.000.000
Tera	T	12	1.000.000.000.000

1 mA sind ein tausendstel Ampere, 2,7 M Ω sind 2.700.000 Ω .

Nun gibt es neben Strom, Spannung und Widerstand weitere elektrische Größen, die Arbeit braucht uns nicht zu interessieren, wohl aber die **Leistung**, sie ist auf den Glühbirnen vermerkt wie auch auf den Widerständen, bei letzteren durch einen Farbcode.

Leistung: Die Maßeinheit ist Watt, das Formelzeichen P.

Es gilt die feste Beziehung $P = U \cdot I$

Neben den unmittelbar möglichen Umformungen der Gleichung gilt unter Einbeziehung des Ohmschen Gesetzes auch:

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = U^2 / R$$

$$I = \text{Wurzel} (P / R)$$

$$U = \text{Wurzel} (P \cdot R)$$

Es interessiert uns bei Flippern die Leistung der verwendeten Widerstände.

Sie dienen meist dazu, den Strom für einen Verbraucher zu begrenzen, in dem die beim Verbraucher ankommende Spannung reduziert wird.

Wir wenden die aufgeführten Formeln bei einem Beispiel aus der Praxis an.

Man will eine Licht emittierende Diode (LED), deren Betriebsstrom 15 mA und deren Betriebsspannung (häufig als Durchlassspannung bezeichnet) 2 V beträgt, an einer Stromquelle mit einer Spannung von 12 V betreiben.

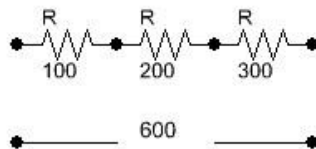
Dann müssen wir 10 V über einen Vorwiderstand „vernichten“.

Es gilt $R = U / I$, mithin $10 / 0,015$, somit kommen wir auf 667 Ω .

An dem Widerstand fallen dann bei 15 mA 10 V ab, so dass $0,015 \cdot 10 = 0,15$ Watt in Wärme umgesetzt werden. Wir müssen also einen Widerstand wählen, der das aushält, also mindestens für diese Leistung spezifiziert ist. $\frac{1}{8}$ Watt, ein handelsüblicher Wert, ist unzureichend, wir werden uns also für $\frac{1}{4}$ Watt entscheiden.

In diesem Beispiel sind Verbraucher hintereinander angeordnet, man sagt, sie sind in Reihe oder auch in Serie geschaltet.

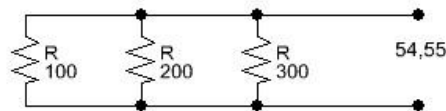
Reihenschaltung



Bei einer Reihenschaltung ergibt sich der Gesamtwiderstand aus der Summe der Einzelwiderstände.

Man kann Widerstände auch nebeneinander anordnen, dann sind sie **parallel** geschaltet. Die Berechnung ist dann etwas komplizierter.

Parallelschaltung



Bei einer Parallelschaltung ergibt sich der Gesamtwiderstand aus dem Kehrwert der Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände.

Beispiel: Es seien drei Widerstände mit den Werten 100, 200 und 300 Ω parallel geschaltet.

$$1 / 100 + 1 / 200 + 1 / 300 = 0,01833$$

$$1 / 0,01833 = 54,55$$

Von der Parallelschaltung macht man Gebrauch, wenn ein Widerstand mit den erforderlichen Daten nicht zur Hand ist. Mitunter ist ein solcher auch nicht oder nur sehr schwer erhältlich, das betrifft insbesondere die Leistung.

2 Ω mit 50 Watt sind schwer zu bekommen, 4 Ω mit 25 Watt schon eher.

Wenn Widerstände zu heiß werden, kann man dem durch eine Parallelschaltung abhelfen.

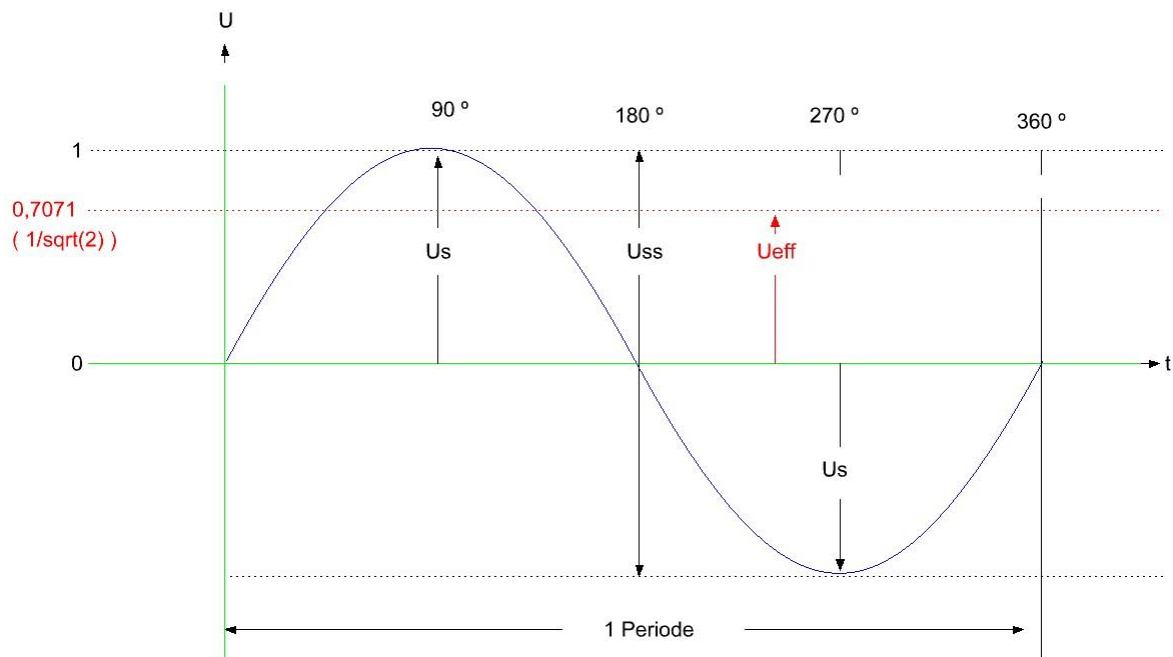
Es entsteht zwar die gleiche Wärme, sie wird von mehreren Oberflächen aber besser abgeleitet als von einer.

Bisher haben wir uns mit **Gleichstrom** mit einer **Gleichspannung** befasst.
 Für **Gleichstrom** findet man oft die Bezeichnung **DC** als Abkürzung von direct current, auf Messgeräten steht mitunter nur das Symbol \equiv .
 Für **Gleichspannung** sieht man häufig die Bezeichnung **VDC**.

Die Elektronen bewegen sich stets in die gleiche Richtung, von Minus (Kathode) nach Plus (Anode). Dieses wird als die **Physikalische Stromrichtung** bezeichnet.
 In der Digitaltechnik hat man sich auf die **Technische Stromrichtung** geeinigt. Man unterstellt eine umgekehrte Richtung des Stromflusses, dadurch wird das Verständnis von Stromlaufplänen erleichtert.

Daneben gibt es **Wechselstrom** mit einer **Wechselspannung**, wie er uns z.B. ins Haus geliefert wird. Für **Wechselstrom** findet man oft die Bezeichnung **AC** als Abkürzung von alternating current, auf Messgeräten steht mitunter nur das Symbol \sim .
 Für **Wechselspannung** sieht man oft die Bezeichnung **VAC**.

Der Strom wechselt ständig seine Richtung, bei unserem Stromnetz 100 mal in der Sekunde, was 50 Perioden ausmacht und somit einer Frequenz von 50 Hertz entspricht.
 Hier sind die Dinge in vieler Hinsicht komplizierter.
 Der Verlauf von Strom und Spannung wird durch eine Sinusschwingung abgebildet, die nichts anderes ist als die Funktion des Sinus über die vollen 360 Grad, wie das folgende Bild zeigt.



Für die Spannung gibt es hier drei Maßeinheiten:

Vss, Vs und Veff mit den Formelzeichen Uss, Us und Ueff.

Die Spannungsdifferenz zwischen oberem und unterem Scheitel wird als **Uss** dargestellt und die Spannung zwischen der X-Achse und oberem (oder unterem) Scheitel als **Us**.

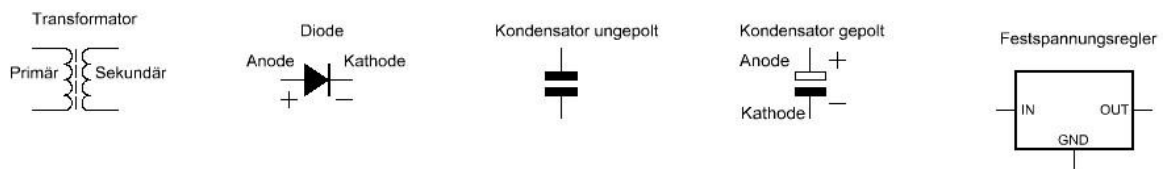
Veff, mitunter auch V_{rms} genannt, ist die Spannung, die in einem sonst identischen Stromkreis mit Ohmscher Last die gleiche Leistung bewirkt wie eine Gleichspannung gleicher Höhe.

Sie wird berechnet nach der Formel **Veff = Vss / 2 * Wurzel(2) = Vs / Wurzel(2)**.

Wird der Wert einer Wechselspannung nur in Volt angegeben, handelt es sich stets um den effektiven Wert Veff.

Nach Verständnis dieser Zusammenhänge können wir leicht ausrechnen, dass wir bei unserer Netzspannung von 230 VAC einen Spitzenwert von 650 Volt haben, so dass besondere Vorsicht bei Arbeiten vor dem Netztrafo eines Flippers geboten ist.

Dieser Netztrafo liefert auf seiner Sekundärseite eine Vielzahl von Wechselspannungen. Bis auf eine, nämlich die für die Allgemeine Beleuchtung (GI), müssen sie durch **Gleichrichtung** in Gleichspannungen umgewandelt werden. Nachstehend sehen wir die Symbole der Bauelemente, die zur Gleichrichtung Verwendung finden.

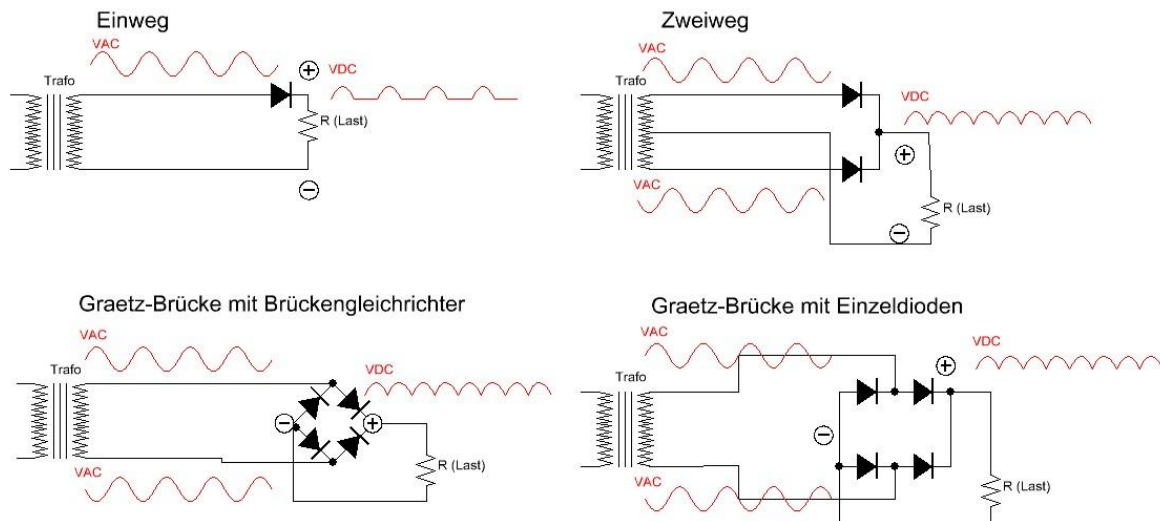


Die Gleichrichtung des Stroms erfolgt durch eine **Diode**.

Von der Anode zur Kathode, also in ihrer Durchlassrichtung, wird sie leitend, lässt den Strom also durch, wenn eine Mindestspannung angelegt wird, die **Durchlassspannung**. Deren Höhe hängt vom Typ der Diode ab, durchschnittlich sind es 0,5 V.

In der Sperrichtung, also von der Kathode zur Anode, lässt sie keinen Strom durch. Der Kathodenanschluss ist durch einen Ring gekennzeichnet.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen die Grundschaltungen für Gleichrichtungen.



Bei der Einweg-Gleichrichtung lässt eine Diode die obere Halbwellen des Wechselstroms durch.

Die Zweiweggleichrichtung setzt eine Mittelanzapfung bei der Sekundärwicklung des Trafos voraus und verarbeitet auch die untere Halbwellen.

Letzteres trifft auch auf die Graetz-Brücke zu, wobei keine Mittelanzapfung erforderlich ist.

Bei Flippern finden wir für die Gleichrichtung meist die Graetz-Brücke. Dabei sind die 4 Dioden entweder einzeln vorhanden, wie bei den WPC95-Geräten, oder in einem Gehäuse untergebracht, wie es in den vorherigen Geräte-Generationen die Regel ist. Wir sprechen dann von einem **Brückengleichrichter**.

Aus den Abbildungen sehen wir, dass hinter der Gleichrichtung zwar eine Gleichspannung anliegt, der Strom kann dort nur in eine Richtung fließen. Allerdings schwankt die Spannung dort zwischen 0 V und ihrem Maximalwert. In der Form ist sie für die meisten Verbraucher ungeeignet, sie muss geglättet werden.

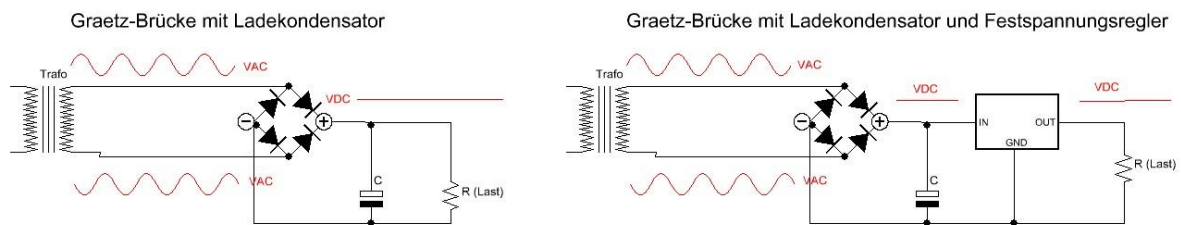
Dies erfolgt durch einen **Ladekondensator**.

Der Kondensator dient dabei als Energiespeicher. Wird an einen Kondensator eine Gleichspannung gelegt, so fließt kurzzeitig Strom, bis der Kondensator geladen ist. Fällt der Wert der Versorgungsspannung unter den der Ladespannung, gibt der Kondensator die gespeicherte Energie wieder ab und glättet somit die Spannung.

Die Menge der Ladungsträger, die ein Kondensator speichern kann, wird als seine Kapazität bezeichnet.

Kapazität: Die Maßeinheit ist Farad, Kurzbezeichnung F, das Formelzeichen C.

Das linke Schaltbild enthält einen solchen Ladekondensator. Wegen der für solche Glättungen erforderlichen hohen Kapazität kommen Elektrolyt-Kondensatoren, kurz **Elkos**, zum Einsatz. Diese sind **gepolt**, die Anode muss an die Plus-Leitung, die Kathode an die Minus-Leitung. Die Spannung wird vollständig geglättet, wenn kein oder nur wenig Strom fließt. Um auf den Vergleich mit Wasser zurückzukommen: Man kann sich hier den Kondensator als Staubecken vorstellen, das durch unregelmäßigen Wasserzufluss gefüllt wird. Damit das Wasser unabhängig vom unregelmäßigen Zufluss regelmäßig abfließt, ist ein möglichst großes Fassungsvermögen des Staubeckens wünschenswert. Es besteht ein klarer Zusammenhang zwischen der Menge des zu- und abfließenden Wassers und der Größe des Beckens. So verhält es sich auch mit der Kapazität des Ladekondensators. Leider gibt es da ein Problem. Der leere Kondensator setzt dem Strom zunächst nur einen äußerst geringen Widerstand entgegen, es fließt zu Beginn des Ladevorgangs, wenn der Flipper eingeschaltet wird, ein sehr hoher Strom. Wird nun die Kapazität zu hoch gewählt, führt dies zu einer Zerstörung des Gleichrichters. Es läuft also auf einen Kompromiss hinaus, auf eine vollständige Glättung wird verzichtet. Dennoch haben wir es häufig mit defekten Gleichrichtern zu tun, die Ursache dafür ist der hohe Strom nach Einschalten des Gerätes, nicht die Belastung durch die Verbraucher.



Viele elektronischen Bauelemente kommen mit einer unvollständig geglätteten Spannung nicht zurecht, zudem benötigen sie eine Spannung mit konstanter Größe, bei den meisten ICs sind das +5 V.

Dafür werden dann Festspannungsregler eingesetzt, wie aus dem rechten Schaltbild ersichtlich.

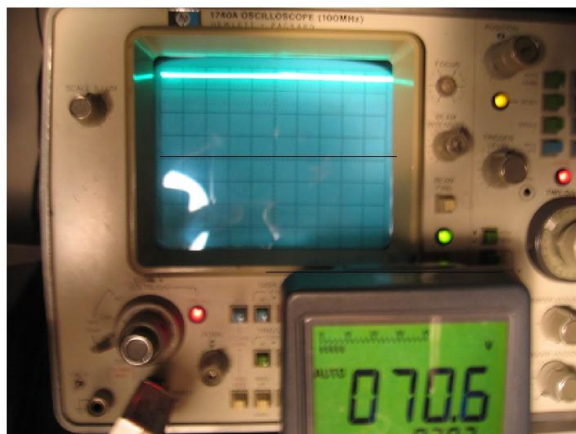
Wir sehen uns abschließend die Spannung für die Spulen in WPC-Geräten an. In den Stromlaufplänen wird diese mit +50 V angegeben.

Links ohne Last, da sind es saubere +70 V.

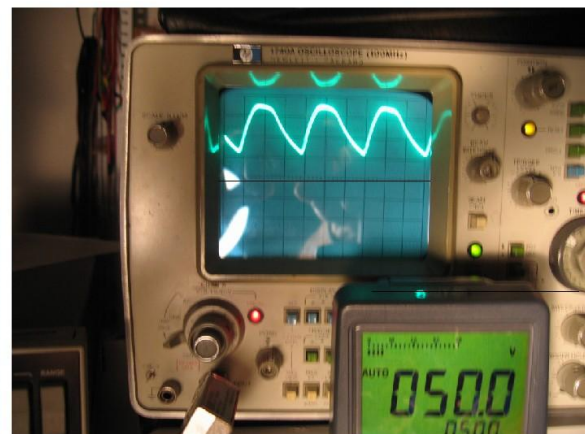
Rechts mit Belastung, das DMM zeigt +50 V, tatsächlich ist das aber ein gemittelter Wert, denn auf dem Oszilloskop sehen wir, dass die Spannung zwischen +20 V und +70 V schwankt.

Bei der hier gewählten Stromstärke kann der Ladekondensator (100 μF) nur eine Spannung von +20 V halten.

Ähnlich sieht es mit allen anderen unregulierten Spannungen aus, wenn sie belastet werden.



Vertikal 20 V / Div.



Vertikal 20 V / Div.