

ELEKTRONIK

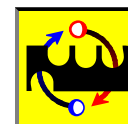
ABC

ELECTRONICUM

Mühlenstraße 16 und 23
A-4470 ENNS

www.electronicum.at

ÖSTERREICH	Telefon: 0676 33 19 163 oder 07223 82230 FAX: 07223 82230
DEUTSCHLAND	Telefon: 01577 2486812 FAX: 0043 7223 82230
INTERNATIONAL	E-Mail: office@electronicum.at HOMEPAGE: www.electronicum.at



DER MULTIVIBRATOR (astabile Kippstufe)

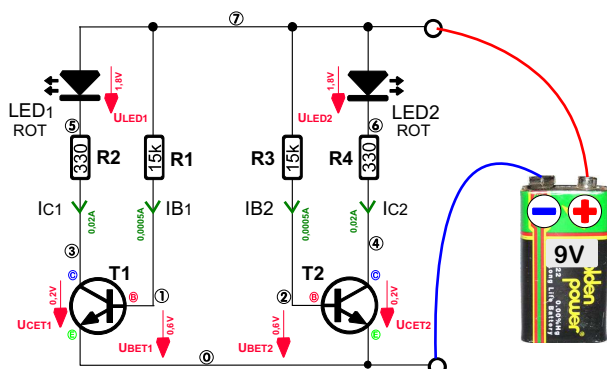
Oft wird der MULTIVIBRATOR als einfache elektronische Schaltung beschrieben. Ganz so ist es aber in Wirklichkeit nicht. Hand auf's Herz, wer kann schon mit Differentialrechnungen und Substitutionsregeln umgehen? Und wer weiß auch dann, wenn er die Rechnungen gelernt hat, was diese in der elektronischen Schaltung wirklich bewirken? Wer von denen, die das noch verstehen, kann die bei Transistoren vorhandenen Nicht-Linearitäten (z.B. Basis / Emitter pn- Übergänge) in die Rechnung korrekt einbeziehen? Ganz so einfach ist es also nicht, einen MULTIVIBRATOR bis ins letzte Detail wirklich zu verstehen. Warum schwingt er eigentlich von selbst?

Wir haben einen Weg gefunden, bei dem jeder, der einfachste Grundrechnungsarten beherrscht und eine vorgegebene Kurve ablesen kann, einen MULTIVIBRATOR verstehen und berechnen kann.

Wir wollen einen MULTIVIBRATOR mit zwei roten Leuchtdioden, die abwechselnd aufleuchten, konstruieren. Die Schaltfrequenz soll 1 Hz betragen. Für jede LED gilt, dass diese 0,5 Sekunden eingeschaltet und 0,5 Sekunden ausgeschaltet ist.

SCHALTUNG

Festlegung der statischen Eigenschaften



Zu Beginn betrachten wir die links skizzierte Grundschaltung. Um sie besser verstehen zu können, wird diese zunächst einmal ohne der Kondensatoren bzw. ohne der Elektrolytkondensatoren (ELKO) betrachtet.

Um die Symmetrie weitgehend einhalten zu können, haben wir zwei rote Leuchtdioden (LED- Spannung 1,8V) gewählt. Als Transistoren wurden handelsübliche npn- Kleintransistoren gewählt (BC549).

Die Leuchtdioden erreichen ihre optimale Leuchtstärke mit 20 mA (0,02A). Würde man einen etwas höheren Strom wählen, würde die Leuchtstärke zwar noch etwas zunehmen, aber die Lebensdauer würde sich reduzieren.

Der Verstärkungsfaktor des Transistors liegt bei ca. 200. Das heißt, dass man mit einem um den Faktor 200 kleineren Basisstrom den gewünschten Kollektorstrom (IC1 bzw. IC2) erreichen würde. Da die Transistoren aber nicht absolut gleich sind und die Verstärkung niemals exakt gleich sein kann, wählen wir einen 5x größeren Basisstrom als unbedingt notwendig wäre. Dann verhindern wir durch sogenannte Vorwiderstände, dass der LED- Strom größer als 20 mA werden kann. Wir benötigen für jede Leuchtdiode 20 mA.

$$IB1 = \frac{IC1}{200} = \frac{IC1}{200} = \frac{0,02A}{200} = 0,0001A \quad (100 \mu A)$$

Wir nehmen einen 5x so großen Basisstrom also 0,0005A (500 μA)

ELEKTRISCHE GRUNDFORMEL

$$U = R \cdot I$$

Damit wir den Widerstand berechnen können, wird diese Formel anders dargestellt.

$$R1 = \frac{UR1}{IB1} = \frac{UBatt - UBE T1}{IB1} = \frac{9V - 0,6V}{0,0005A} = \frac{8,4V}{0,0005A} = 16\,800 \text{ Ohm}$$

Errechnet 16,8k Ohm gewählt 15k Ohm

$$R1 = R3 = 15 \text{ k Ohm}$$

Nun sind wir bereits in der Lage die beiden Basiswiderstände ausrechnen zu können.

Wir verwenden eine 9V- Batterie.

Am pn- Übergang zwischen Emitter und Basis wird, so wie es bei normalen Siliziumtransistoren üblich ist, eine Spannung von ca. 0,6V vorliegen.

Über das " OHMSCHE GESETZ" ($U = R \cdot I$) werden Widerstände berechnet.

Widerstände werden nicht in allen Größen hergestellt. Hat man einen Wert errechnet, dann nimmt man den nächsten handelsüblichen Widerstandswert. Ob man den nächst größeren oder den nächst kleineren Wert nimmt, ist der aktuellen Situation zu entnehmen.

Wir haben den Basiswiderstand "großzügig" dimensioniert, deshalb ist es egal, ob wir uns nun für 18 000 Ohm oder 15 000 Ohm (18k oder 15k) entscheiden. Wir nehmen 15k.

Nun da die Schaltung symmetrisch aufgebaut ist, haben wir somit beide Basiswiderstände R1 und R3 berechnet.

Jetzt berechnen wir den LED- Vorwiderstand bzw. Kollektorwiderstand R2 bzw. R4. Der bereits errechnete Basiswiderstand garantiert, dass der gewünschte Kollektor- Strom von 20 mA mit Leichtigkeit zu erreichen ist. Man könnte sogar ca. 5x so viel Strom über die Kollektor- Emitterstrecke zulassen. Ein durchgeschalteter Transistor hat bei genügend Basisstrom einen sehr kleinen Spannungsabfall zwischen Emitter und Kollektor (ca. 0,1V bis 0,2V).

$$R2 = \frac{UR2}{IC1} = \frac{UBatt - ULED1 - UCE1}{IC1} = \frac{9V - 1,8V - 0,2V}{0,02A} = \frac{7V}{0,02A} = 350 \text{ Ohm}$$

Errechnet 345 Ohm gewählt 330 Ohm

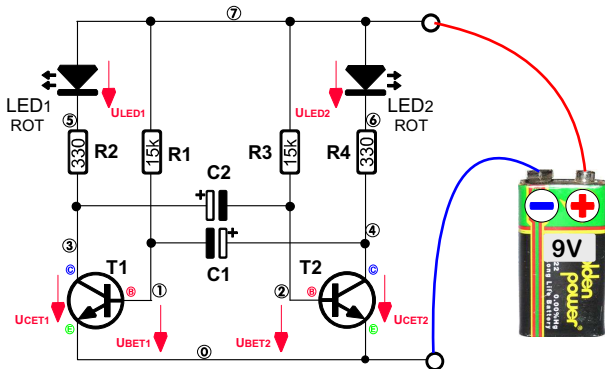
$$R2 = R4 = 330 \text{ Ohm}$$



ÖSTERREICH	Telefon: 0676 33 19 163 oder 07223 82230 FAX: 07223 82230
DEUTSCHLAND	Telefon: 01577 2486812 FAX: 0043 7223 82230
INTERNATIONAL	E-Mail: office@electronicum.at HOMEPAGE: www.electronicum.at

SCHALTUNG

Festlegung der dynamischen Eigenschaften



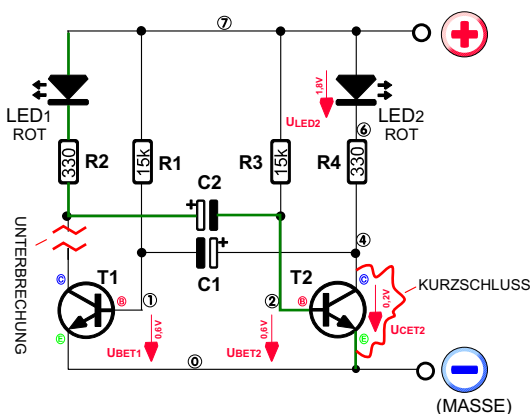
Nun kommen wir zu dem Teil der Schaltung, der für das Schwingen verantwortlich ist. Da wir gleiche Zeiten für Ein- und Ausschaltphase erreichen wollen, kann schon jetzt gesagt werden, dass beide Kondensatoren den gleichen Wert haben werden. Ob wir ELKOs oder einfache Kondensatoren verwenden, das werden wir erst nach Kenntnis der benötigten Kapazitäten festlegen. Im Grunde genommen ist dies egal. Größere Kapazitäten als ELKOs sind preisgünstiger, müssen aber mit richtiger Polung in die Schaltung eingesetzt werden.

Da die Kollektorwiderstände wesentlich niederohmiger sind als die Basiswiderstände und die Umschaltung fast ohne Zeitverlust erfolgt, sind die Basiswiderstände für die Ein- bzw. Ausschaltdauer und somit für die Frequenz verantwortlich. Dieser kleine Fehler kann auf Grund der sehr kleinen Umschaltzeiten in Kauf genommen werden.

An dieser Stelle soll festgestellt werden, dass ein absolut symmetrisch aufgebauter Multivibrator mit exakt gleichen Bauelementen in einer Umgebung die völlig frei von Störeinflüssen ist, nicht in Schwingung geraten kann. Diesen Fall gibt es aber in der Realität nicht und deshalb wird jeder richtig berechnete MULTIVIBRATOR schwingen.

ERSATZSCHALTBILD

(T1 ist nicht leitend; das ist etwa so, als hätte man den Kollektoranschluss aufgetrennt)



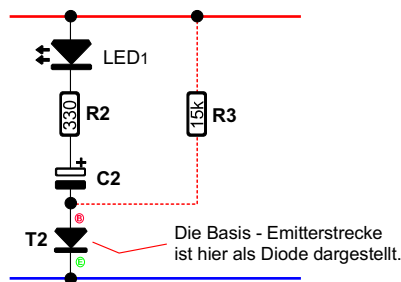
Der Beginn des Schwingens ist bei einem symmetrisch aufgebauten MULTIVIBRATOR ausschließlich von den Bauteiltoleranzen und den Störeinflüssen abhängig. Zu Beginn, also im Moment, an dem man den MULTIVIBRATOR an eine Versorgungsspannung anschließt, werden beide Transistoren relativ rasch mit Basisstrom versorgt. Der Transistor, der schneller zu leiten beginnt (eventuell ist ein Basiswiderstand etwas kleiner oder ein Transistor verhält sich bezüglich Verstärkung anders usw.), startet das kontinuierliche Wechselspiel, das die Leuchtdioden abwechselnd zum Leuchten bringt.

Wir klinken uns für die weiteren Betrachtungen in den fortlaufenden Wechselbetrieb ein, der weniger auf Zufälligkeiten beruht als die Startphase.

Jetzt wenden wir uns den Kondensatoren zu, die im Zusammenhang mit einem Widerstand das Schwingen und die Frequenz bestimmen. Auf alle Fälle wird aber immer die höhere Spannung auf der Seite anliegen können, die mit dem Kollektor verbunden ist. Das ist deshalb so vorgegeben, da an der Basis eines einfachen npn-Transistors, aufgrund des pn-Überganges (wie Diode) keine größere Spannung als ca. 0,6V bis 0,9V liegen kann. Am Kollektor hingegen kann die Spannung wesentlich höher werden. Man beachte, dass in der Zeit, wo der Transistor nicht leitend ist, die Spannung an seinem Kollektor bis fast an die Versorgungsspannung ansteigen kann.

Im vereinfachten Ersatzschaltbild sieht man klar, dass die Spannung auf der + Seite des Kondensators, sich gegen die Versorgungsspannung hinbewegen möchte, wenn genügend Zeit zur Verfügung stehen würde.

ERSATZSCHALTBILD (vereinfacht)



Die andere Seite des Kondensators zum Beispiel C2, die an der Basis des Transistors T2 liegt, kann aber nie viel größer als 0,6V werden, da dies der pn-Übergang, der wie eine Diode wirkt, nie zulassen würde. Dass in der Phase, in der T1 nicht leitend ist, T2 aber leitend ist, ist für die momentane Betrachtung nicht wichtig. (Dieser T2 hat nämlich die Seite des Kondensators C1, die sich an der Basis von T1 befindet, ins Minus gedrückt dies wird später klarer)

Ist der Transistor T2 leitend, dann ist es fast so, als hätte man den Kollektor von T2 mit dem Emitter von T2 kurzgeschlossen. Der zuvor aufgeladene Kondensator C1 wird mit seiner zuvor positiv aufgeladenen Seite auf Masse gelegt. Erfolgt dies schlagartig, dann wird die Basis des T1 mit voller Spannung die am Kondensator C1 angelegen war, ins Minus gedrückt. Die Minus-Seite des Kondensators C1 wird "langsam" in ein höheres Spannungspotential gezogen. Dafür ist jetzt ist R1 maßgebend eingebunden.

Der auf Grund des Spannungsabfalls, der am R1 anliegt, wird der anfallende Strom anfangs zu 100% in den Kondensator fließen und hebt das dort herrschende Spannungspotential an. Das geht so lange vor sich, bis die Basis des T1 auf ca. 0,6V angestiegen ist. Dann beginnt Strom in die Basis des T1 zu fließen. T1 wird leitend und das, was sich vorher bei T2 abgespielt hatte, beginnt sich nun beim T1 abzuspielen.

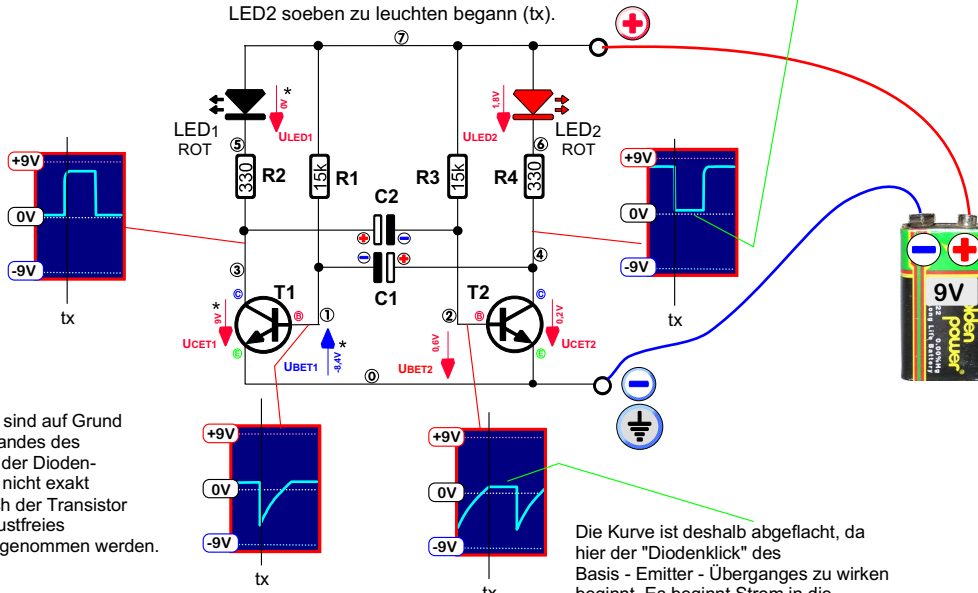
All unsere Überlegungen werden aber durch die Tatsache erschwert, dass ein Kondensator oder ein ELKO, der über einen einfachen Widerstand "geladen" oder "entladen" wird, seine Spannung nicht linear verändert. Hier läuft dieser Vorgang nach einer e-Funktion ab, welcher mit einfachster Mathematik nicht berechnet werden kann. Hier bedienen wir uns ganz einfach einer normierten Kurve. So ist es möglich, mit einfachsten Grundrechnungsarten die Kondensatoren berechnen zu können.

ÖSTERREICH	Telefon: 0676 33 19 163 oder 07223 82230 FAX: 07223 82230
DEUTSCHLAND	Telefon: 01577 2486812 FAX: 0043 7223 82230
INTERNATIONAL	E-Mail: office@electronicum.at HOMEPAGE: www.electronicum.at

Der Transistor ist leitend. Der Transistor bildet fast einen Kurzschluss zwischen Emittor und Kollektor. Der Kollektor hat in dieser Zeit ca. 0V aufzuweisen. Die LED samt Vorwiderstand liegt somit an ca. 9V.

SCHALTUNG

Hier halten wir die Phase fest, in der LED2 soeben zu leuchten begann (tx).



* Diese Messwerte sind auf Grund des Innenwiderstandes des Oszilloskops und der Dioden-Wirkung der LED nicht exakt zu erreichen. Auch der Transistor darf nicht als verlustfreies Schaltelement angenommen werden.

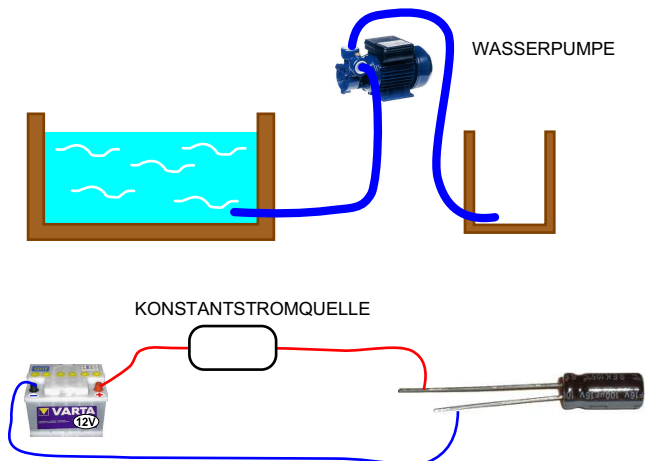
Die Kurve ist deshalb abgeflacht, da hier der "Diodenklick" des Basis - Emittor - Überganges zu wirken beginnt. Es beginnt Strom in die Basis zu fließen. In diesem Moment wird der Transistor leitend (LED leuchtet).

Nun haben wir festgestellt, dass die Kondensatoren, an ihrem PLUS- Anschluss (der Anschluss, der am Kollektor eines Transistors liegt), fast bis zur vollen Versorgungsspannung (- UBE - ULED (LED fast bei stromlos) aufgeladen werden. Der jeweils andere Anschluss dieser Kondensatoren kann aber nie höher werden als ca. 0,6V. Ab diesem Punkt würde der Basisstrom durch den "Diodenklick" fast schlagartig ansteigen, sodass keine weitere Spannungserhöhung stattfinden kann.

Nehmen wir an, dass nun der Transistor T1 leitend wird. In diesem Moment legt dieser den PLUS- Anschluss von C2 auf Masse. Der andere Anschluss von C2, der an der Basis von T2 liegt, wird fast auf den negativen Wert der Versorgungsspannung gedrückt. Da über den pn- Übergang der Basis - Emittor - Strecke von T2 nur positive Spannungen einen Stromfluss bewirken können, kann der Potentialausgleich nur über den Widerstand R3 erfolgen. In dieser Phase wirkt der Transistor T2 gerade so, als hätte man ihn aus der Schaltung herausgelötet.

Will aber, auf Grund des Ladevorganges die Spannung an der Basis des T2 0,6V übersteigen, beginnt der Transistor T2 zu leiten und zieht somit den Kondensator C1 "nach unten". Die auf ca. +9V aufgeladene Seite wird auf Masse gelegt und der negative Anschluss von C1 wird tief ins Minus gedrückt.

Nun, da die Grundfunktion eines MULTIVIBRATORS geklärt ist, möchten wir noch klären, warum der Kondensator, wenn er über einen Widerstand geladen oder entladen wird, sich nicht linear verhält. Das möchten wir wie immer auf einfachste und verständlichste Weise erklären. Hier bedienen wir uns dem Vergleich mit WASSER.

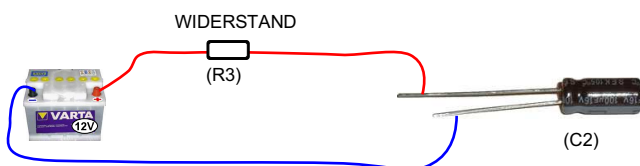
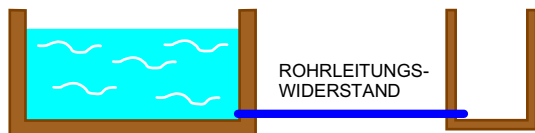


Hier wird jedem klar sein, dass der Wasserspiegel linear zur Zeit ansteigen wird. Hier wird der kleine Behälter aber auch übergehen. Wäre der kleine Behälter sehr hoch, dann würde irgendwann die Kraft der Pumpe nicht mehr ausreichen, um den Wasserspiegel noch weiter heben zu können.

Die Spannung am Kondensator wird linear zur Zeit ansteigen. Auch hier wird ab einer gewissen Spannung die Konstantstromquelle keinen Strom mehr einbringen können. Aber bis zu diesem Zeitpunkt ist Linearität gegeben!



ÖSTERREICH	Telefon: 0676 33 19 163 oder 07223 82230 FAX: 07223 82230
DEUTSCHLAND	Telefon: 01577 2486812 FAX: 0043 7223 82230
INTERNATIONAL	E-Mail: office@electronicum.at HOMEPAGE: www.electronicum.at



Bei der Aufladung bzw. Ladung eines Kondensators über einen einfachen Widerstand, verhält es sich aber nicht so einfach und auch nicht linear.

Hier wird der tatsächliche Ladevorgang veranschaulicht. Zu Beginn wird so viel Wasser in das kleinere Gefäß strömen, wie es die Rohrleitung zulässt. Steigt aber der Wasserspiegel im kleineren Behälter an, dann wird auf Grund des sinkenden Differenzdruckes auch der Durchfluss im Rohr sinken. Überlegt am sich die Situation, wie es sein wird, wenn der Wasserspiegel des kleineren Behälters schon fast den des größeren erreicht hat, dann wird man erkennen, dass der Differenzdruck an der Rohrleitung auch schon fast NULL sein wird. Eine absolut vollständige Level- Gleichheit wird eigentlich nie erreicht werden.

Und genau so verhält es sich bei der Aufladung eines Kondensators.

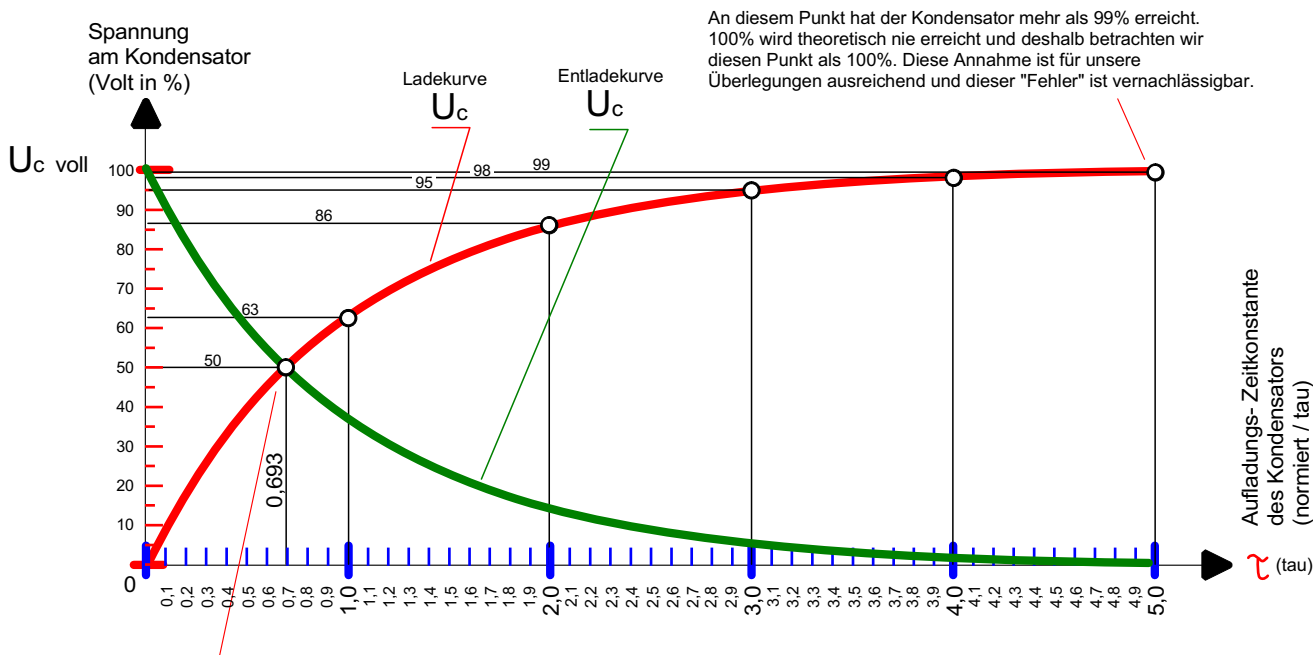
Mit solchen "PROBLEMEN" hat sich schon vor ca. 250 Jahren der Sohn eines Schweizer Pfarrers beschäftigt. Sein Name war Leonhard EULER und ging so in die Geschichte der Mathematik ein. Er ist auch für eine Zahl verantwortlich, die wie unser Wasserbeispiel zeigt, nie erreicht wird.

Unser MULTIVIBRATOR basiert auf der nichtlinearen Widerstand - Kondensator - Beziehung und ist daher komplexer, als es viele Anwender vor Studium einer Multivibratorschaltung für möglich gehalten haben. Um das Verständnis nicht unnötig strapazieren zu wollen, haben wir uns für den Aufbau eines symmetrischen MULTIVIBRATORS entschieden. Man könnte ja auch unterschiedliche Kondensatoren oder unterschiedliche Widerstände verwenden das alles hat aber mit dem Verständnis nichts zu tun und deshalb haben wir uns für die einfachere Variante entschieden. Hier sind Leuchtdauer und Ausschaltzeit gleich.

Ob man einen einfachen Kondensator oder einen ELKO verwendet ist im Grunde genommen egal. Bei größeren Kapazitätswerten ist oft der Preis entscheidend. Der ELKO hat aber zwei Nachteile, die aber oft keine große Rolle spielen.

- 1) ELKOs altern und verlieren mit den Jahren an Kapazität.
- 2) Die Fertigungstoleranzen sind bei ELKOs größer als bei Folienkondensatoren.

Beim MULTIVIBRATOR werden die Kondensatoren fast auf die volle Batteriespannung aufgeladen. Im nächsten Moment wird eine Potentielseite bis ca. auf den MINUS- Wert dieser Spannung "gedrückt". Der Umschaltvorgang beginnt aber wieder bei ca. 0V (genauer gesagt bei ca. 0,6V). Der Kondensator wird bei einem Multivibrator eigentlich immer in einem noch relativ steilen Bereich der Lade- bzw. Entladekurve betrieben. Zumindest ist ein Potential, das auf ca. -9V gelegt wurde und das mit einem Widerstand, der auf +9V liegt ausgeglichen werden soll, bei ca. 0V noch einer ordentlichen Anstiegsgeschwindigkeit ausgesetzt. Als Daumenformel verwendet man daher die Zeit, in der der Kondensator auf den halben möglichen Spannungswert angestiegen ist.



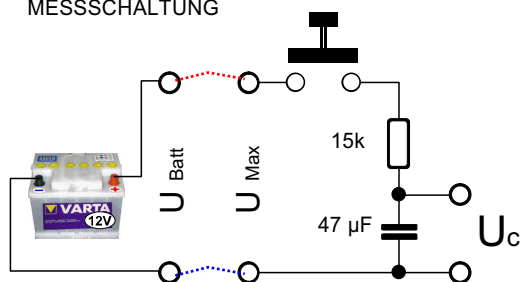
Da der Multivibrator aber bereits nach der halben Aufladungsspannung in den anderen Zustand springt, interessiert uns natürlich die Zeit, die bis zur Erreichung der halben Spannung benötigt wird.



ÖSTERREICH	Telefon: 0676 33 19 163 oder 07223 82230 FAX: 07223 82230
DEUTSCHLAND	Telefon: 01577 2486812 FAX: 0043 7223 82230
INTERNATIONAL	E-Mail: office@electronicum.at HOMEPAGE: www.electronicum.at

Zwischendurch betrachten wir nur die zeitrelevanten RC- Glieder, die hauptsächlich für die Frequenz des MULTIVIBRATORS verantwortlich sind im Detail. Das sind R1 C1 und R3 C2.

MESSSCHALTUNG



DIE FORMELN MIT

Die Berechnung von tau

$$\tau = R \cdot C$$

Berechnung des gesamten Kondensator- Ladezyklus (Der Kondensator ist nach 5 tau voll aufgeladen)

$$5 \tau = R \cdot C \cdot 5$$

$$U_{\text{Batt}} = U_{\text{Max}}$$

U_C ist nach 5 tau U_{Batt} bzw. U_{Max}

$$t_{\left(\frac{U}{2}\right)}(s) = \ln(2) \cdot R \cdot C = 0,693 \cdot 15\,000 \cdot 0,000\,047 = 0,49\text{ s}$$

Ist jene Zeit, die benötigt wird, bis der Kondensator auf die halbe zur Verfügung stehende Spannung aufgeladen ist.

ZUSATZINFORMATIONEN

Dass U_{Max} sofort nach dem Anschluss der Messschaltung an die Batterie den Wert der Batteriespannung annimmt ist klar, da nur die Zuleitungen eine Beeinflussung darstellen könnten. Da diese Zuleitungen aber sehr niederohmig (Widerstand gegen Null) sind, ist kein Spannungsabfall möglich. Hier sei vermerkt, dass natürlich genau genommen ein winziger Spannungsabfall auftreten wird, dieser ist aber wegen seiner Geringfügigkeit zu vernachlässigen. Auch in der weiteren Betrachtungsweise wird auf physikalische Größen, die auf Grund ihrer Geringfügigkeit keine Rolle spielen, ganz einfach nicht eingegangen.

Außerdem haben wir uns, damit jeder die Schaltung verstehen kann, entschieden auf komplexe mathematische Formeln zu verzichten und auf übersichtliche Tabellen zuzugreifen.

Ein "leerer" Kondensator, also ein Kondensator, der keine Spannung aufweist, hat zu Beginn einen Innenwiderstand von 0 Ohm. Das erklärt auch den Anfangspunkt von der oben angeführten Kurve U_C .

Ist der Kondensator voll aufgeladen, dann weist er die volle Batteriespannung (U_{Batt}) auf und sein Widerstand ist unendlich groß.

Alle möglichen Spannungswerte, die bei dieser Schaltung auftreten können, liegen dazwischen. Das, was die ganze Angelegenheit etwas erschwert, ist die Tatsache, dass es keinen einfachen mathematischen Zusammenhang zwischen den einzelnen Situationen gibt. Hier spielt eine Zahl eine Rolle, die man nicht so ganz einfach erfassen kann, die dem ganzen auch noch einen nichtlinearen Stempel aufdrückt. Ein gewisser Herr Euler hat sich um das Jahr 1750 n.Chr. eingehend mit der Errechnung dieser Zahl beschäftigt. Aus diversen Versuchen wusste man zu dieser Zeit bereits, dass sich einiges in dieser Welt zu Beginn rasch zunehmend verhält und gegen Ende immer langsamer wird. (Eulersche Zahl und die e - Funktion)

Wir haben uns zu einer auf 100% (U_C voll) zeichnerisch normierten Kurve entschieden, die wir über den gesamten Ladevorgang (5 tau) übersichtlich dargestellt haben. So kann jeder in ausreichendem Maße alle Werte ermitteln. Für das Verständnis der Schaltung sind nämlich so keine komplexen Rechenoperationen notwendig.

$$5 \cdot \tau = 5 \cdot R \cdot C = 5 \cdot 15\,000 \cdot 0,000\,047 = 3,525\text{s}$$

$$\tau = R \cdot C = 15\,000 \cdot 0,000\,047 = 0,705\text{s}$$

$$t_{\text{bei } U/2} = 0,693 \cdot \tau = 0,693 \cdot 15\,000 \cdot 0,000\,047 = 0,49\text{s}$$

Zeit bis zur halben Aufladung



ÖSTERREICH	Telefon: 0676 33 19 163 oder 07223 82230 FAX: 07223 82230
DEUTSCHLAND	Telefon: 01577 2486812 FAX: 0043 7223 82230
INTERNATIONAL	E-Mail: office@electronicum.at HOMEPAGE: www.electronicum.at

SCHWINGUNGS - FORMEL bzw. Schaltfrequenz des Multivibrators

GRUNDFORMEL

$$f = \frac{1}{T}$$

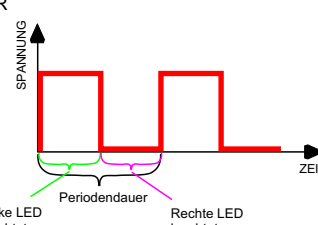
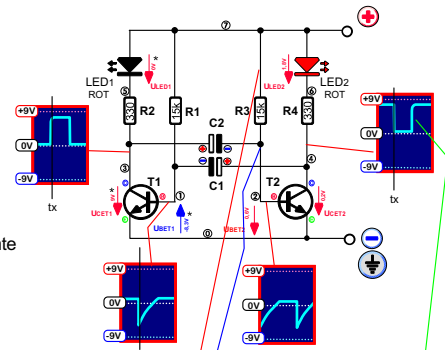
Frequenz (in Hertz) Periodendauer (in Sekunden)

Mit dieser Formel haben wir noch nichts angefangen. Diese sagt nur aus, wie es sich mit der Periodendauer und der Frequenz im Allgemeinen verhält. Uns interessiert aber die Berechnung der Bauteile, um eine bestimmte Frequenz zu erhalten. Die Widerstände haben wir bereits so festgelegt, damit ein "sattes" Durchschalten der Transistoren sichergestellt ist. Nun haben wir "nur" noch die Kondensatoren zu berechnen. Der Einfachheit halber haben wir den Multivibrator symmetrisch aufgebaut. Eine Symmetrie der Bauteile bewirkt auch eine Symmetrie der Schaltfrequenz. In unserem Fall werden beide Phasendauern (das sind im vorliegenden Fall die Leuchtzeiten der beiden Leuchtdioden) somit gleich sein. Will man unterschiedliche Zeiten, dann beachte man, dass die Zeiten, die den halben Entladungszeiten entsprechen, unterschiedlich zu gestalten sind.

Nun zu unserer symmetrischen Ausführung.

Man sieht, dass die Basis der Transistoren fast auf den negativen Wert der Versorgungsspannung gedrückt wird. Dass nicht ganz das negative Maximum erreicht wird, liegt zum größten Teil an den Leuchtdioden.

Man beachte zum Beispiel, dass der zuvor aufgeladene Kondensator C2 mit seiner MINUS- Seite bis auf fast -9 Volt gedrückt wird. Die PLUS- Seite liegt dabei auf ca. 0V. Der Widerstand R3 liegt mit einer Seite am PLUS- Pol der Stromversorgung. Der maximal mögliche Strom, der daher in der Anfangsphase entstehen kann ist über einen Spannungsabfall von fast 18V zu ermitteln. Es würde sich der Kondensator C2 an seinem MINUS-Pol, würde er nicht "gebremst" werden, bis auf fast +9V aufladen. Ist die MINUS- Seite dieses Kondensators zur Hälfte geladen und beträgt der Wert ca. 0,6V bzw. 0,6V beginnt aber Strom in die Basis des T2 zu fließen und der MULTIVIBRATOR kippt seinen Zustand. Die besser werdende Leitfähigkeit des Transistors beschleunigt noch das Kippen.



SCHWINGUNGSFORMEL des MULTIVIBRATORS

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\ln(2) \cdot R \cdot C}$$

Frequenz (in Hertz) Periodendauer (in Sekunden) Kapazität (in Farad) Widerstand (in Ohm)

Aus unserer Ladekurve ersichtlich; Wert bei 1/2 Aufladung (Aufladung und Entladung ist gleich)

Daraus ergibt sich:

$$f = \frac{1}{\ln(2) \cdot R \cdot C} = \frac{1}{0,693 \cdot (R1 \cdot C1 + R3 \cdot C2)}$$

Hier ist zu beachten, dass die gesamte Periodendauer aus der Summe der beiden Phasendauern besteht, die wir auch noch als gleich gewählt haben.

Hier wurde eine Vereinfachung durchgeführt. Die zusätzliche Beeinflussung von R2 und R4 wurde nicht berücksichtigt, da die Zeitbeeinflussung über die Widerstände R1 und R3 wesentlich mehr in die Gesamtzeit eingeht. (Kollektorstrom ist 45 x größer als der Basisstrom) Dass dies so ist, sieht man an der relativ steilen Flanke des am Kollektor entstandenen Rechtecksignals. Außerdem liegt die Bauteiltoleranz von Elkos bei > 10%.

Auf unser Beispiel bezogen berechnen wir die die Kondensatoren:

$$f = \frac{1}{\ln(2) \cdot R \cdot C} = \frac{1}{0,693 \cdot (R1 \cdot C1 + R3 \cdot C2)} \quad R1 = R3 \quad \text{und} \quad C1 = C2$$

$$f = \frac{1}{0,693 \cdot R1 \cdot C1 + 0,693 \cdot R1 \cdot C1} = \frac{1}{C1 \cdot (0,693 \cdot R1 + 0,693 \cdot R1)} = \frac{1}{C1 \cdot 2 \cdot 0,693 \cdot R1}$$

Wir formen die Gleichung um, damit wir C1 berechnen können:

$$C1 = \frac{1}{f \cdot 2 \cdot 0,693 \cdot R1} \quad C1 = \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 0,693 \cdot 15000} = \frac{1}{20790} = 0,000048 \text{ F} = 48 \mu\text{F} \text{ gewählt } 47 \mu\text{F}$$

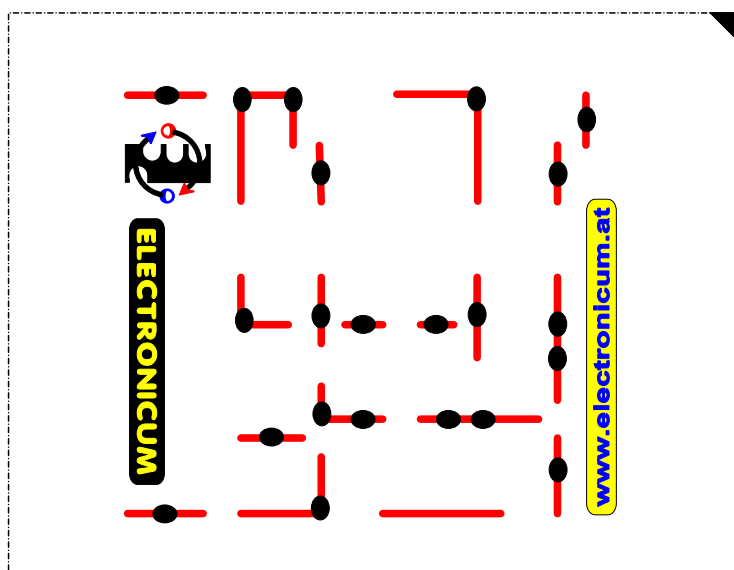
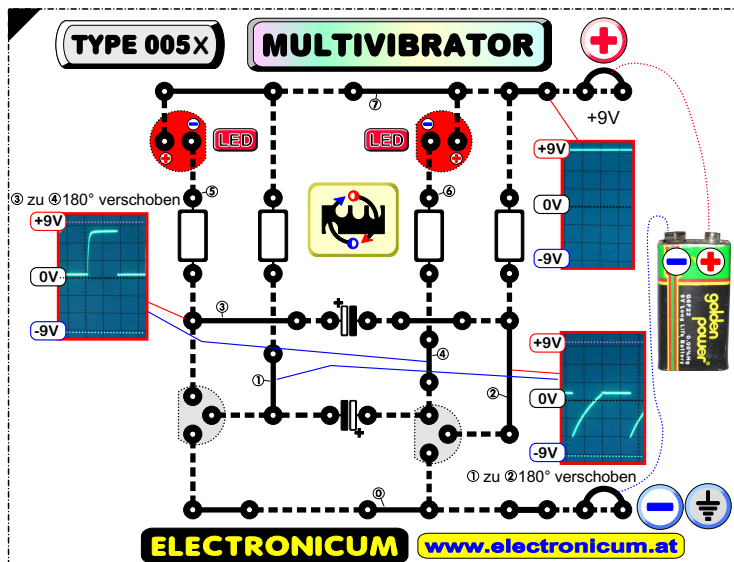
Nächster Normwert

$$C1 = C2 = 47 \mu\text{F} \quad \text{Man beachte: } C1 = C2$$

Wir haben uns für einen symmetrisch aufgebauten MULTIVIBRATOR entschieden. Dieser hat in seinen RC-Gliedern die gleichen Bauteilwerte. Deshalb kann man die Widerstände und die Kondensatoren gleichsetzen.

Auf unser Beispiel bezogen berechnen wir die Frequenz des MULTIVIBRATORS:

$$f = \frac{1}{0,693 \cdot (15000 \cdot 0,000047 + 15000 \cdot 0,000047)} = \frac{1}{0,693 \cdot (0,705 + 0,705)} = \frac{1}{0,693 \cdot 1,41} = \frac{1}{0,97713} = 1,02 \text{ Hz} \quad 1 \text{ Hz}$$



Damit jeder selbst seinen eigenen MULTIVIBRATOR berechnen, aufbauen und durchmessen kann, haben wir hier einen entsprechenden Verdrahtungsvorschlag ausgearbeitet.

Die Firma ELECTRONICUM ist wie immer bemüht ein optimales Lernkonzept anzubieten. Deshalb sind wir für Hinweise, die das Verstehen dieser Schaltung noch verbessern könnte, dankbar. Gerne werden wir Verbesserungen in unsere detaillierten Beschreibungen, dort wo es Unklarheiten geben sollte, einfließen lassen. Unser dynamisches über das INTERNET abrufbare LERNSYSTEM macht dies kurzfristig möglich.