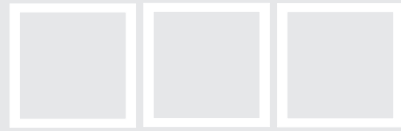


Kraftfahrzeug-
Elektronik
Versuche



Anleitungsbuch zum Experimentiersystem Kfz-Elektronik

Autor
Gerd Kopperschmidt

Herausgeber
Reha Werkstatt Oberrad

Lectron

Buchrainstraße 18

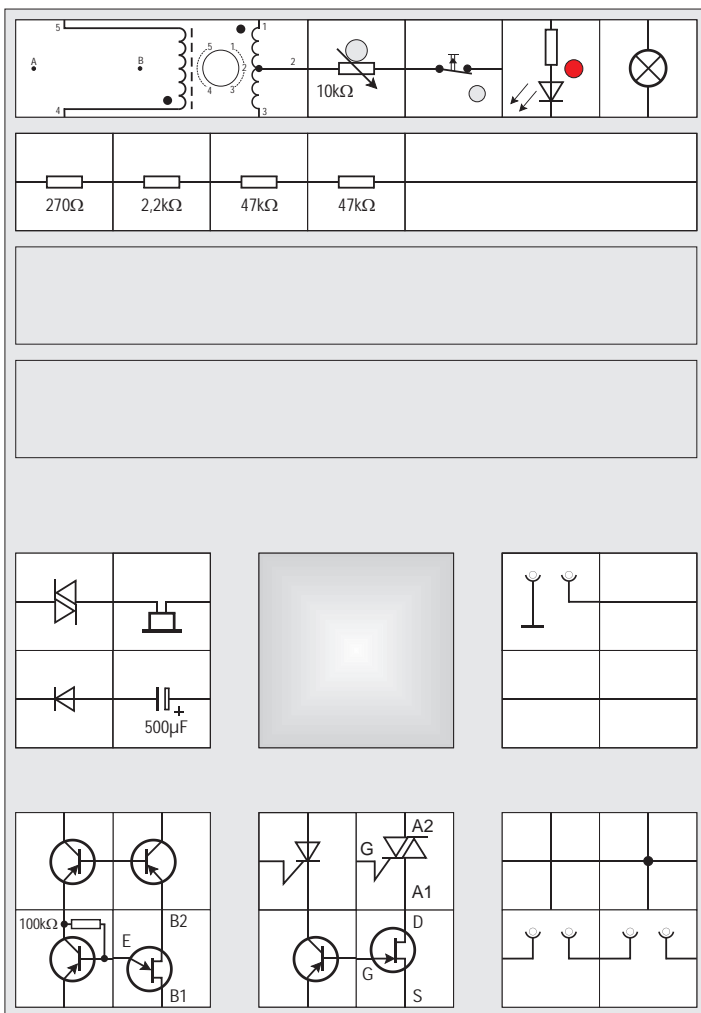
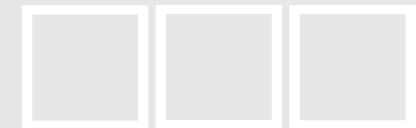
60599 Frankfurt

Tel.: +49 (0)69 90 50 12 82

Fax: +49 (0)69 90 50 12 83

Email: lectron@frankfurter-verein.de

www.lectron.de



Teile Ausbau-System

Experimentierkasten Kfz – Elektronik

Dieser Lectron Experimentierkasten ist eine Erweiterung zu dem Lectron Grundkasten und den Schülerübungen zur Elektronik. Der Schwerpunkt der Versuche liegt auf Schaltungen aus dem Bereich der Kfz – Elektronik. Dabei werden Bauelemente wie Relais, Zener - Diode, Leuchtdiode, Thyristor, Diac, Triac und Induktivitäten sowie ihre Anwendung vorgestellt. Obwohl zunächst einige Versuche zu grundlegenden Dingen, wie zur Verstärkung eines Transistors, durchgeführt werden, sollte bereits ein Grundwissen über allgemeine elektronische Schaltungstechnik vorhanden sein. Wem die in diesem Anleitungsbuch erwähnten Begriffe noch nicht so geläufig sind, dem seien die nach dem gleichen System aufgebauten Elektronik - Experimentierkästen »Startsystem« und »Aufbausystem« empfohlen. In einem ausführlichen Anleitungsbuch findet man dort alle Grundbegriffe der Elektronik leicht verständlich dargestellt.

Verzeichnis der Versuche

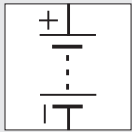


Versuch	Thema	Seite	Versuch	Thema	Seite	Versuch	Thema	Seite
	Spannungsquellen	7	21	Blinklichtschaltung (astabile Kippstufe)	48	42	Eine verbesserte Dimmerschaltung	90
01	Messen mit dem Digital-Multimeter	8	22	Helligkeitsregelung der Instrumentenbeleuchtung	50	43	Das Magnetfeld einer Spule	92
02	Spannungsverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung	10	23	Eine einfache Blinkerschaltung	52	44	Die Pole eines Elektromagneten	94
03	Stromverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung	12	24	Ein Metronom	54	45	Polabhängigkeit von der Stromrichtung	96
04	Relaissteuerung mit Arbeitskontakt	14	25	Drehzahlmesserschaltung	56	46	Addition von Magnetfeldern	98
05	Relaissteuerung mit Ruhekontakt	16	26	Alarmanlagen im Auto	58	47	Spannungserzeugung mit einer Spule	100
06	Relaissteuerung mit Selbsthaltung	18	27	Eine einfache Speicherzelle	60	48	Das Induktionsgesetz	102
07	Das Pumpenrelais	20	28	Eine Speicherzelle mit dynamischen Eingang	62	49	Der Transformator	104
08	Die Leuchtdiode	22	29	Konstantstromquelle mit Stromspiegel	64	50	Die Induktivität	106
09	Schaltungscodierung mit Dioden	24	30	Konstantstromquelle mit Feldeffekttransistor	66	51	Die Induktivität an Wechselspannung	108
10	Die Z - Diode	26	31	Die Vierschichtdiode	68	52	Der Induktivgeber	110
11	Spannungsregelung mit einer Z - Diode	28	32	Sägezahngenerator mit Vierschichtdiode	70	53	Ein Gleichstrommotor ohne Kollektor	112
12	Die Darlington - Schaltung	30	33	Der Unijunction - Transistor Ersatzschaltbild	72	54	Gleichstrommotor ohne Kollektor mit npn - Transistor	114
13	Ein hochempfindliches Spannungsprüfgerät	32	34	Sägezahngenerator mit Unijunction - Transistor	74	55	Ein Synchronmotor	116
14	NTC - Widerstand - der Temperaturfühler im Auto	34	35	Der Thyristor	76		Bauteile	118
15	Vorglüh-Automatik	36	36	Messungen am Thyristor	78		Anhang Messbereichserweiterung	119
16	Bremsbelag Verschleißanzeige	38	37	Einweg - Leistungsregler	80		Notizen	120
17	Dämmerungsschalter für PKW - Parklicht	40	38	Hochspannungskondensatorzündung	82			
18	Lichtschranke mit Selbststeuerung	42	39	Der Triac als Leistungsschalter	84			
19	Einschaltverzögerung	44	40	Der Diac	86			
20	Innenlicht - Ausschaltverzögerung	46	41	Eine Dimmerschaltung	88			

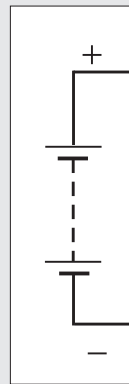
Spannungsquellen



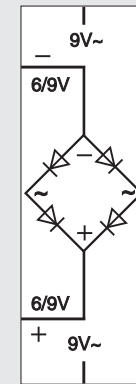
Die Lectron Schaltungen können aus verschiedenen Spannungsquellen versorgt werden



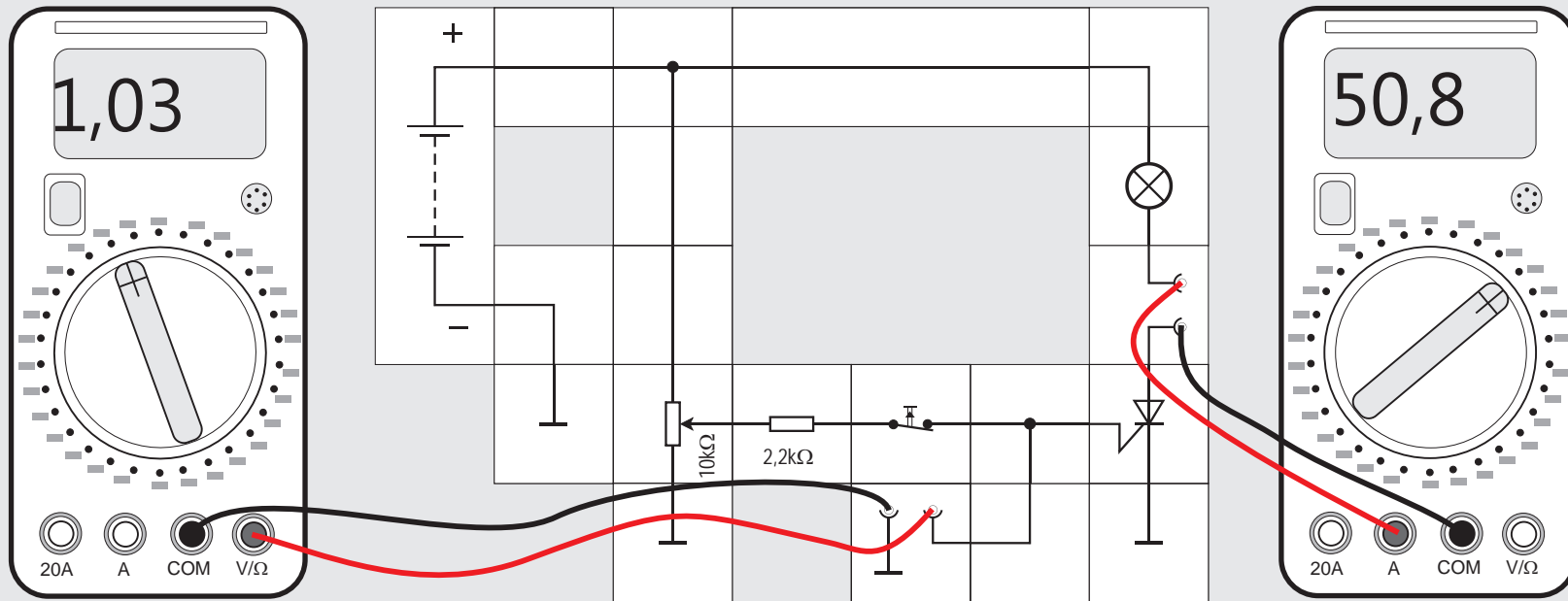
Batterie - Anschlussbaustein 2 - polig für 9V Batterie oder 6 Stück Mignon im Batteriekasten

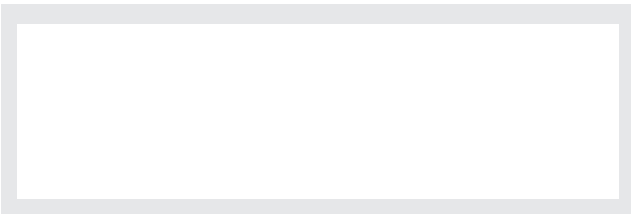


9V Batterie im Batteriebaustein



Netzteil LN 500 220/6-9V= stabilisiert 3-12V AC, für einige Versuche erforderlich





Elektrische Maßeinheiten

Spannung	U	gemessen in	Volt	V
Strom	I	gemessen in	Ampère	A
Widerstand	R	gemessen in	Ohm	W
Leistung	P	gemessen in	Watt	W
Kapazität	C	gemessen in	Farad	F

Vorsätze für dezimale Vielfache und Teile von Einheiten

10^{24}	Yotta	Y	10^{-24}	Yocto	y
10^{21}	Zetta	Z	10^{-21}	Zepto	z
10^{18}	Exa	E	10^{-18}	Atto	a
10^{15}	Peta	P	10^{-15}	Femto	f
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	Pico	p
10^9	Giga	G	10^{-9}	Nano	n
10^6	Mega	M	10^{-6}	Mikro	μ
10^3	Kilo	k	10^{-3}	Milli	m

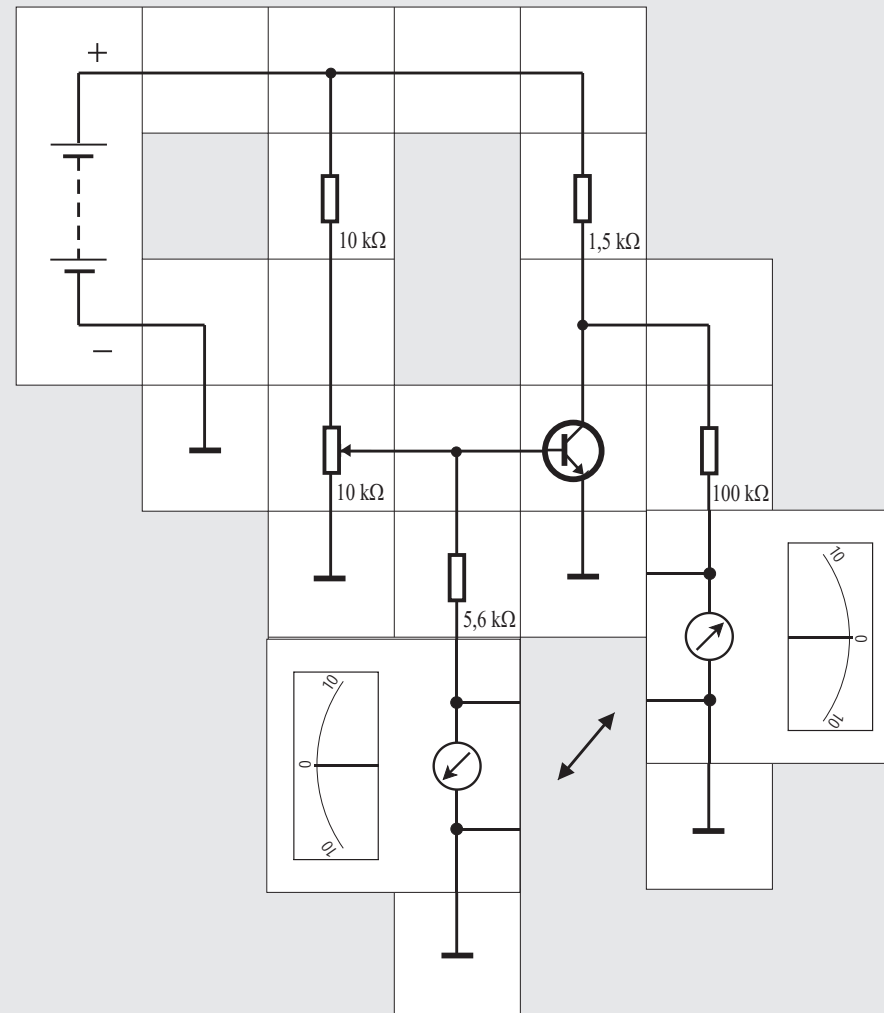
Messen mit dem Digitalmultimeter

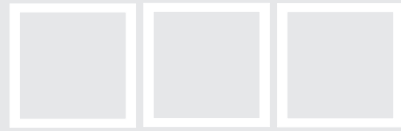
Wenn man genauere Messergebnisse haben möchte als das Lectron Messinstrument liefern kann, verwendet man Digitalmultimeter bei Lectron Schaltungen.

Spannungsmessungen (linkes Instrument) werden mit dem Messbaustein durchgeführt. Dazu muss der Messbaustein an Stelle einer Geraden - Verbindung in den Stromkreis eingebaut und mit dem Messinstrument verbunden werden. Soll die Spannung wie in der Abbildung gegen Masse gemessen werden, ist es günstiger, den Anschlussbaustein zu verwenden.

Für Strommessungen (rechtes Instrument) muss der Lectron Trennbaustein in die Schaltung eingeführt werden. Beide Pole der Messleitung sind - wie in der Abbildung gezeigt - einzustecken und der Messbereich bei ausgeschaltetem Multimeter einzustellen.

Für Widerstandsmessungen müssen die Lectron - Messsonden zwischen die Bausteinkontakte eingefügt oder es muss mit Abzweig- und Trennbausteinen gearbeitet werden; die Schaltung darf bei der Messung nicht unter Spannung stehen.





Spannungsverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung

Die ersten Transistoren waren Germanium pnp - Transistoren. Da in mit ihnen aufgebauten Schaltungen der Emitter das höchste Potential hat, war es zweckmäßig, den Pluspol an Masse zu legen. In den Lectron Schülerübungen zur Elektronik wurde so verfahren. Inzwischen sind diese Transistoren von Silizium npn - und pnp - Transistoren verdrängt worden, so dass es für die Versuche sinnvoller ist, wie im KFZ den Minuspol an Masse zu legen.

Um die verstärkende Wirkung des Transistors festzustellen, werden zwei Anzeigeinstrumente benötigt. Steht nur eins zur Verfügung, wird es für die Versuchsdurchführung wechselweise über einen

Vorwiderstand von $5,6 \text{ k}\Omega$ zwischen Basis und Masse (Position 1) und über einen Vorwiderstand von $100 \text{ k}\Omega$ zwischen Kollektor und Masse geschaltet (Position 2). Im ersten Falle misst man die Basisspannung, im zweiten Falle die Kollektorspannung des Transistors.

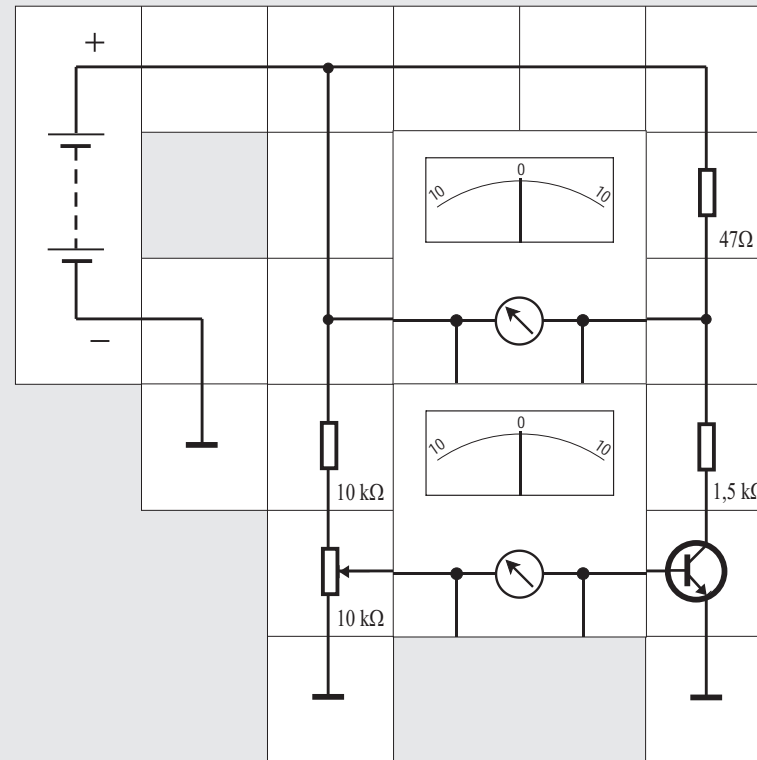
Der Versuch beginnt damit, dass der Schleifer des Potentiometers nach links gedreht und die Batterie eingeschaltet wird. Ist das Instrument in Position 1 eingefügt, dann zeigt es keinerlei Spannung an. Ordnet man das Messwerk jetzt in Position 2 an, so wird es etwa bis zum Skalenwert 9 ausschlagen. Das entspricht der vollen Batteriespannung. Liegt an der Basis eines Transistors eine Spannung von 0 V , dann ist der Transistor sehr hochohmig gegenüber dem Kollektorwiderstand von $1,5 \text{ k}\Omega$, mit dem er einen Spannungsteiler bildet. Der Transistor ist gesperrt. Nun wird das Instrument wieder in Position 1 eingesetzt und der Potentiometerknopf so weit gedreht, bis der Instrumentenzeiger zum Skalenwert 6 ausschlägt. Das bedeutet eine Spannung von etwa 600 mV . In Position 2 zeigt das Instrument dann nicht mehr so viel an wie bei der letzten Messung der Kollektorspannung. Der Transistor ist nicht mehr so hochohmig, er ist etwas leitend geworden. Der genaue Spannungswert kann hier nicht angegeben werden, da Transistoren - auch des gleichen

Typs - unterschiedliche Eigenschaften haben und der gemessene Wert daher von Fall zu Fall verschieden ist.

Jetzt misst man wieder die Basisspannung in Position 1 und stellt das Potentiometer so ein, dass der Zeiger bis zum Skalenwert 7 ausschlägt. Das entspricht einer Spannung von etwa 700 mV . Schließlich wird das Instrument noch einmal in Position 2 angeordnet und die Kollektorspannung gemessen. Man stellt fest, dass der Zeiger jetzt kaum noch ausschlägt, der Transistor ist voll leitend.

Man vergleicht nun die Änderung der Basisspannung und die der Kollektorspannung. Zwischen den Potentiometerstellungen 2 und 3 wurde die Basisspannung um 100 mV geändert. Die Kollektorspannung änderte sich dabei aber um den wesentlich größeren Betrag von 9 V . Eine geringe Spannungsänderung am Eingang des Transistors hat also in Emitterschaltung eine große Spannungsänderung am Ausgang zur Folge. Der Transistor leistet somit eine Verstärkung, und zwar hier, da die Spannungen gemessen wurden, eine Spannungsverstärkung.

Der Versuch zeigt außerdem, dass bei größer werdender Basisspannung die Kollektorspannung kleiner wird. Die beiden Spannungen verhalten sich somit umgekehrt zueinander. Diese Erkenntnis ist für spätere Versuche wichtig.





Stromverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung

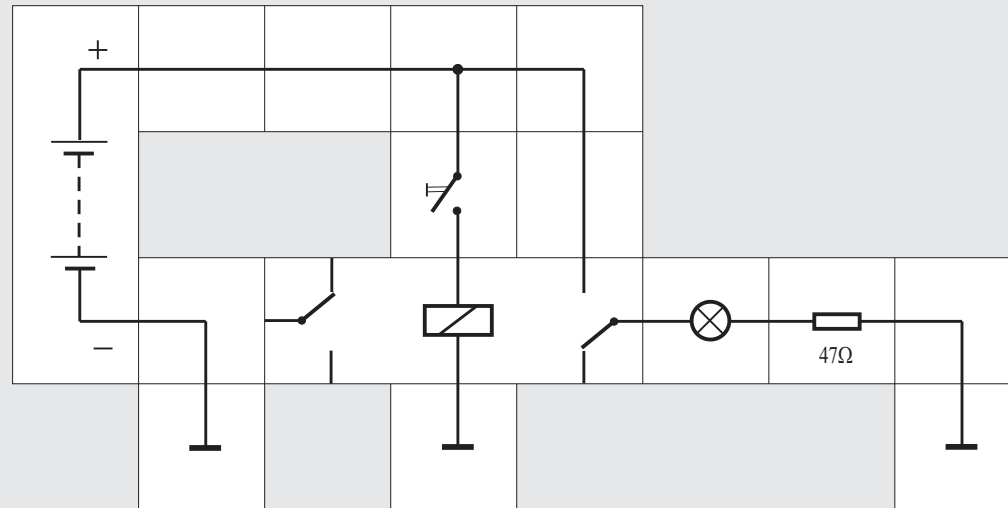
Nachdem der vorige Versuch die Spannungsverstärkung des Transistors nachgewiesen hat, soll nun untersucht werden, ob sich auch eine Stromverstärkung erzielen lässt. Die Anzeigeinstrumente sind dann natürlich als Strommesser zu schalten, wie es das Versuchsschaltbild darstellt. Das Messwerk ist nicht mehr parallel zum Eingang bzw. Ausgang des Transistors angeordnet, sondern in die Basisleitung bzw. Kollektorleitung eingefügt. Hat man nur ein Messwerk zur Verfügung, müssen in der jeweils unbenutzten Position ein $3,9\text{ k}\Omega$ Widerstand und ein Geradenstück eingesetzt werden. Der $47\ \Omega$ Widerstand bleibt in der Schaltung und dient bei

dieser Messung wieder zur Messbereichs - Erweiterung.

Der Versuch beginnt wieder mit dem Messwerk in Position 1 und ganz nach links gedrehtem Potentiometerknopf. Bei eingeschalteter Batterie wird sich kein Basisstrom feststellen lassen. Auch in Position 2 zeigt das Instrument noch nichts an, es fließt also auch kein Kollektorstrom. Der Transistor ist gesperrt.

Nun dreht man den Potentiometerknopf so lange, bis das Instrument in Position 1 einen Skalenwert von 1 erreicht. Das entspricht einem Strom von etwa $10\mu\text{A}$. In Position 2 wird das Instrument jetzt ebenfalls einen Ausschlag zeigen. Der Zeiger wird etwa bis 2 ausschlagen. Das entspricht einem Kollektorstrom von etwa 2 mA .

Mit dem Instrument in Position 1 dreht man sodann das Potentiometer, bis ein Zeigerausschlag von 2 entsprechend einem Basisstrom von $20\mu\text{A}$ erfolgt. Der Kollektorstrom (Instrument in Position 2) ergibt dann etwa einen Wert von 4 mA . Ein Vergleich der Basis- und Kollektorströme bei den Potentiometerstellungen 2 und 3 lässt erkennen, dass die Änderung des Kollektorstromes wieder wesentlich größer ist als die des Basisstromes. Der Transistor in Emitterschaltung leistet somit auch eine Stromverstärkung.





Der Relais – Baustein

Ein Relais ist im Prinzip ein Schalter, der nicht von Hand betätigt wird, sondern durch elektrischen Strom. Es besteht im wesentlichen aus einer Spule mit Eisenkern, vor dem ein Eisenplättchen – der Anker – angeordnet ist. Lässt man über die Spule einen Strom fließen, dann wird der Eisenkern magnetisch und zieht den davor liegenden, durch Federkraft zurückgehaltenen Anker an. Durch die dabei entstehende Bewegung können Kontakte betätigt werden. Schaltet man den Spulenstrom aus, dann gehen der Anker und die Kontakte in ihre Ruhelage zurück.

Das Relais bietet den Vorteil, dass der zu schaltende Stromkreis (die Kontakte) von dem Stromkreis, durch den Spule geschaltet wird, elektrisch getrennt sein kann. Daher können auch die Spannungen in den beiden Stromkreisen unterschiedlich sein. So könnte man z. B. mit den Kontakten des Re-

lais eine Wechselspannung von 50 V schalten, die Spule aber mit einer Gleichspannung von 6 V betreiben. Die Spannungen würden sich nicht gegenseitig beeinflussen, da Spule und Kontakte voneinander getrennt sind.

Ein weiterer Vorteil des Relais ist es, dass für die Betätigung der Kontakte eine sehr viel geringere elektrische Leistung aufgebracht werden muss, als durch die Kontakte geschaltet werden kann. Das Relais besitzt damit in gewissem Sinne auch eine verstärkende Eigenschaft. Schließlich lassen sich mit einem Relais durch eine einzige Spule, also einen Stromkreis, auch mehrere verschiedene Kontakte gleichzeitig betätigen, die sämtlich elektrisch voneinander getrennt sein können. Durch Schalten eines Stromkreises kann man also mehrere voneinander unabhängige Stromkreise schließen und öffnen.

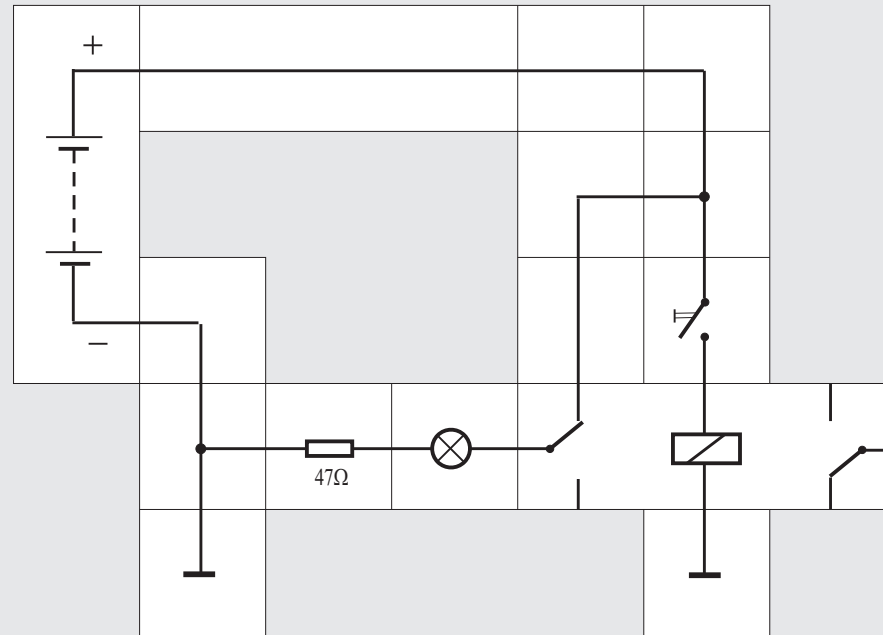
Ein Relaiskontakt kann grundsätzlich als RUHE- oder als ARBEITSKONTAKT ausgeführt sein. Der Arbeitskontakt schließt seinen Stromkreis dann, wenn die Relaisspule vom Strom durchflossen wird. Der Ruhekontakt dagegen ist im stromlosen Zustand geschlossen; schließt man den Stromkreis für die Spule, dann öffnet der Ruhekontakt. Es können auch ein Arbeits- und ein Ruhekontakt kombiniert sein. Man erhält dann einen UMSCHALTCONTACT, der je nach

dem Betriebszustand des Relais entweder den einen oder den anderen Stromkreis schließt. Die folgenden Versuche lassen die Wirkungsweise eines Relais erkennen. Der Baustein enthält ein Relais mit zwei Umschaltkontakten, die auf dem Deckelschaltbild in der Ruheschaltung, also im stromlosen Zustand der Relaisspule, dargestellt sind.

Hinweis: Bei neueren Ausführungen ist eine FREILAUFDIODE eingebaut, ohne dass es zusätzlich auf der Abdeckung vermerkt ist. Zieht das Relais wider Erwarten nicht mit einem leisen Klick an, so muss der Baustein um 180° gedreht eingebaut werden.

Relaissteuerung mit Arbeitskontakt

Dieser Versuch zeigt zunächst die Wirkung des Arbeitskontaktes bei einem Relais. Über den Tastenschalter mit Arbeitskontakt ist die Relaisspule an die Batterie angeschlossen. Der Stromkreis für die Glühlampe ist über einen Arbeitskontakt des Relais geführt. Legt man Versorgungsspannung an, dann brennt die Glühlampe nicht. Beim Niederdrücken des Tastenschalters fließt über die Relaisspule ein Strom, und das Relais zieht an. Man hört dabei ein leises Klicken. Gleichzeitig wird über den Relaiskontakt der Lampenstromkreis geschlossen, und die Lampe leuchtet auf. Lässt man die Taste wieder los, dann fällt das Relais ab, und die Lampe verlischt.

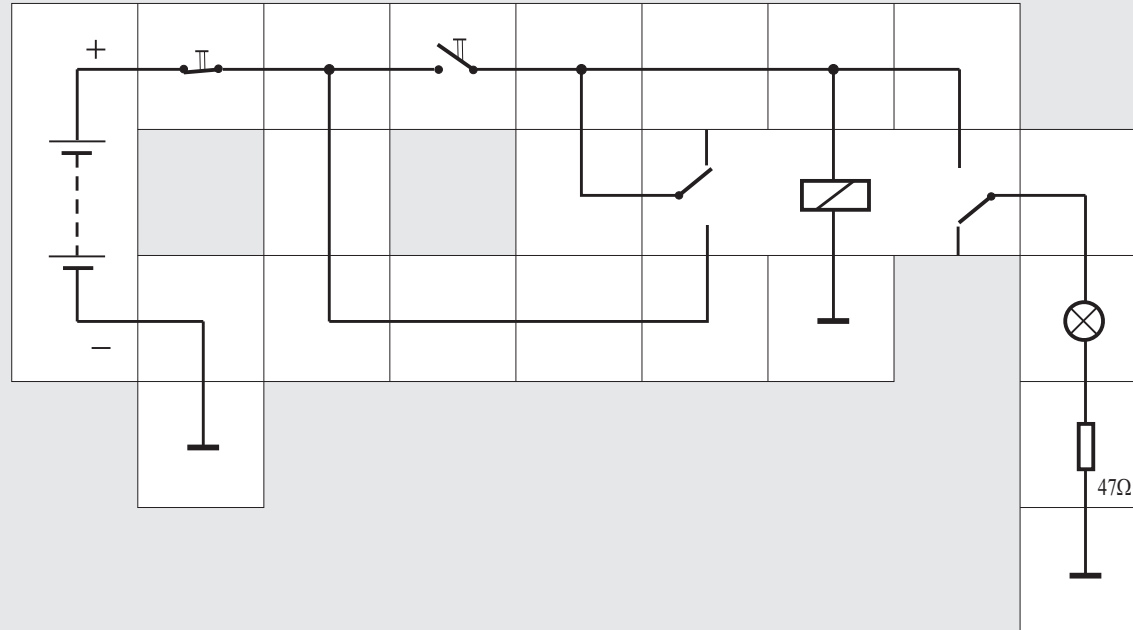




Relaissteuerung mit Ruhekontakt

Der Schaltungsaufbau für diesen Versuch ist dem vorigen sehr ähnlich. Der Stromkreis für die Glühlampe wird hier lediglich über einen Ruhekontakt des Relais geführt. Die Glühlampe wird daher aufleuchten, sobald man die Versorgungsspannung anlegt. Das Drücken des Tastenschalters hat wieder ein Anziehen des Relais zur Folge, wobei der Ruhekontakt öffnet. Damit wird der Lampenstromkreis unterbrochen, und die Lampe erlischt.

06





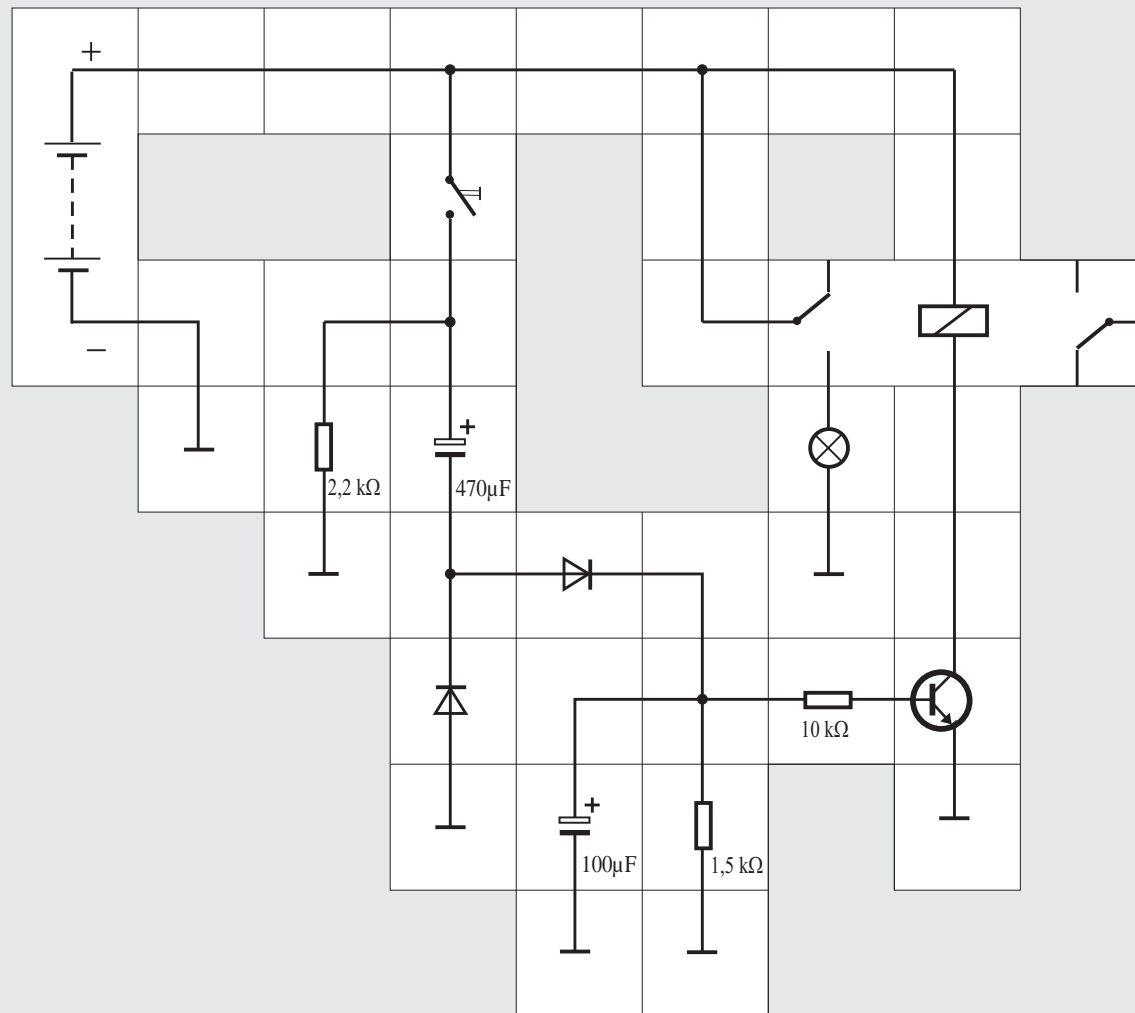
Relaissteuerung mit Selbsthaltung

Mit Relais lassen sich nicht nur einfache Schaltaufgaben lösen, wie sie in den beiden vorigen Versuchen gezeigt wurden. Man kann durch geeignete Schaltungen beispielsweise auch eine sogenannte SELBSTHALTUNG des Relais erreichen. Im vorliegenden Versuch wird das Relais so geschaltet, dass es beim Drücken einer Taste anzieht und dann auch angezogen bleibt, wenn man diese Taste wieder loslässt. Erst beim Drücken einer anderen Taste fällt das Relais wieder ab und unterbricht auch die Stromkreise, die über seine Kontakte geführt werden.

Aus dem Schaltbild ersieht man, dass der Strom zur Betätigung der Relaispule zunächst über den Tasenschalter mit Arbeitskontakt - dem ein Relais - Arbeitskontakt parallel liegt - geführt wird. Über den zweiten Arbeitskontakt des Relais wird der Laststromkreis - hier durch die Glühlampe dargestellt - geführt.

Bei angelegter Versorgungsspannung bleibt die Schaltung erst stromlos. Betätigt man nun die Taste mit dem Arbeitskontakt, dann fließt Strom über die Relaispule - das Relais zieht an. Damit wird auch der Stromkreis für die Glühlampe geschlossen: die Lampe leuchtet auf. Gleichzeitig schließt auch der Relaiskontakt, der parallel zu der Einschalttaste liegt. Man kann daher jetzt die Einschalttaste loslassen, ohne dass das Relais abfällt. Das Relais hält sich selbst über den eigenen Arbeitskontakt.

Durch Drücken der Taste mit Ruhekontakt (Aus-schalttaste) wird aber der gesamte Stromkreis unterbrochen. Die Relaispule wird stromlos, das Relais fällt ab, die Lampe verlöscht. Damit ist der Ruhezustand wieder erreicht. Man findet solche Relais-schaltungen, bei denen ein Vorgang durch kurzzeitiges Drücken einer Taste eingeleitet und durch Betätigen einer zweiten Taste wieder rückgängig gemacht wird, sehr häufig in Maschinensteuerungen.





Pumpenrelais

In fast allen Fahrzeugen mit einer Benzineinspritzung ist auch ein Pumpenrelais zu finden. Der Sinn dieses Relais ist es, die Kraftstoffpumpe nur dann mit Spannung zu versorgen, wenn der Motor tatsächlich läuft. Das Laufen des Motors wird am Öffnen und Schließen des Unterbrecherkontaktes erkannt.

Für die Schaltung bedeutet dies, dass weder ein nur geöffneter, noch ein immer geschlossener Unterbrecherkontakt die Pumpe einschalten darf. Nur ein

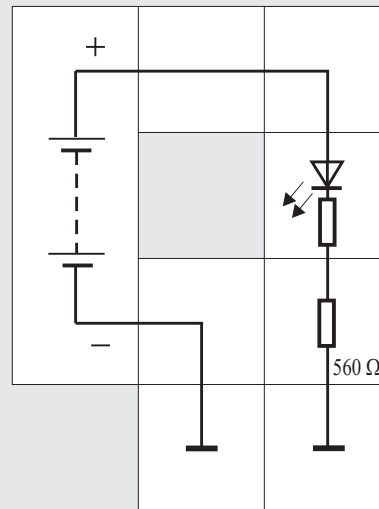
ständiges Öffnen und Schließen darf das Relais durchschalten.

Nach Betätigen des Tasters fließt über den $470\mu\text{F}$ Kondensator ein Ladestrom durch die obere Diode in den $100\mu\text{F}$ Kondensator, beide werden aufgeladen. Wenn die Ladespannung des zweiten die Schwellenspannung (ca. 0,7 Volt) des Transistors überschreitet, schaltet dieser durch. Das Relais zieht an und die Glühlampe leuchtet.

Hielte man den Taster gedrückt, könnte durch die Kondensatoren trotzdem kein Strom mehr fließen, weil sie ja schon geladen sind. Der untere Kondensator würde sich aber über den $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand entladen und der Transistor sperren.

Erst wenn der Taster wieder geöffnet wird, kann sich der obere Kondensator über den $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand wieder entladen, so dass beim nächsten Schließvorgang der obere Kondensator wieder Ladestrom in den unteren Kondensator fließen lässt. Die Anzahl der Impulse, die notwendig ist, um die Glühlampe am Leuchten zu halten, ist abhängig von der Größe der Kondensatoren und der Widerstände (der Entladestrom durch den $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand ist viel größer als der Basisstrom durch den Transistor).

Die Funktion der Schaltung beruht also auf der Kondensatoreigenschaft, nur einen kurzzeitigen Ladestrom fließen zu lassen.





Die Leuchtdiode

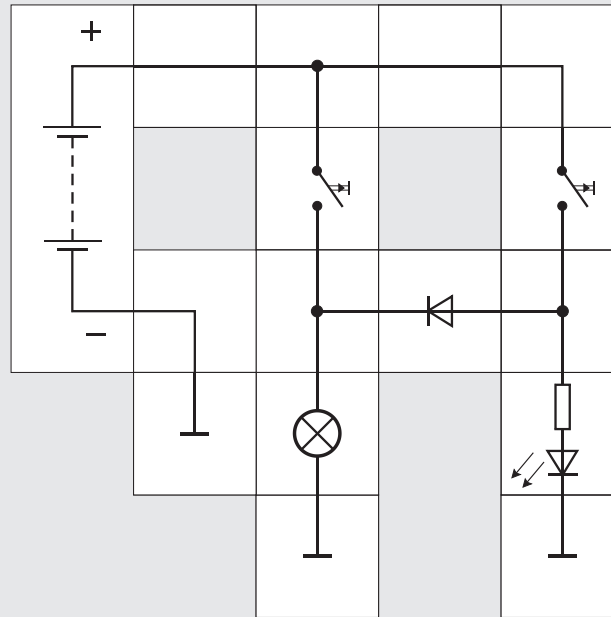
Die Leuchtdiode hat die gleichen Eigenschaften wie die Diode: Sie lässt den Strom nur in einer Richtung fließen. Eine normale Silizium-Diode hat eine Durchlassspannung von $U_F = 0,7 \text{ V}$. Durch die Lectron - Diode darf ein Höchststrom von $I_F = 150 \text{ mA}$ fließen. Bei höherem Strom wird sie zerstört.

Die Leuchtdiode ist aus Halbleitermaterialien wie Galliumarsenid oder Galliumphosphid aufgebaut

und hat bei Stromdurchfluss den zusätzlichen Leuchteffekt; sie wird vorzugsweise als Kontrollleuchte eingesetzt, weil sie gegenüber Glühfadlampen eine extrem lange Lebensdauer bei minimalem Stromverbrauch hat. Für eine Gleichrichtung oder Gleichstromsperrung sind Leuchtdioden weniger geeignet, weil sie nur für geringe Ströme ausgelegt sind ($I_{Fmax} = 50 \text{ mA}$). Gravierender ist jedoch ihre geringe Sperrspannung U_R von ca. 10 V und ihre relativ hohe Flussspannung, die bei der roten Leuchtdiode $U_F = 1,4 \text{ V}$ beträgt. Es ist unbedingt zu beachten, dass die empfindliche Leuchtdiode niemals direkt an eine Batterie angeschlossen werden darf. Deswegen ist im Baustein bereits ein Widerstand R_V mit 220Ω in Reihe geschaltet. Der durch den Baustein fließende Strom berechnet sich zu:

$$I_F = (U_{Batt} - U_F) / R_V$$

Leuchtdioden werden in verschiedenen Formen hergestellt, z.B. auch als winzige Lichtpunkte für Leuchtzifferanzeigen. Sie sind in den Farben rot, orange, gelb, grün und inzwischen auch in blau ($U_F = 3 \text{ V}$) erhältlich. Zur Datenübertragung über Lichtwellenleiter (Glasfaser) werden Leuchtdioden eingesetzt, die infrarotes Licht abstrahlen, denn in diesem Wellenlängenbereich hat die Glasfaser eine





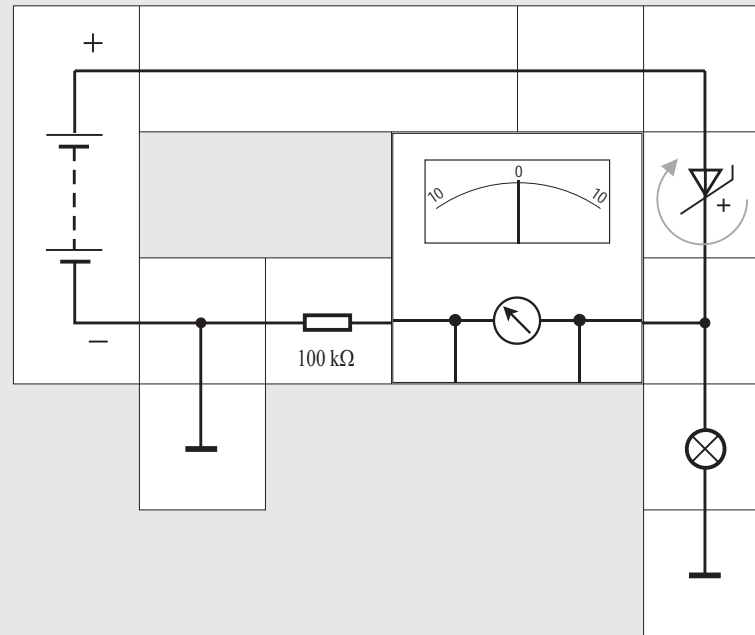
Schaltungen – Codierung mit Dioden

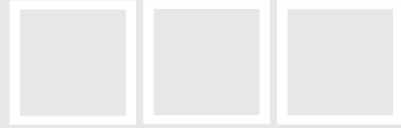
Mit einer einfachen Dioden - Schaltung können Steuerungen programmiert werden. Beim Aufbau der Schaltung ist zu beachten, dass sowohl die LED als auch die Silizium - Diode richtig gepolt angeschlossen werden.

Bei offenen Tastern ist alles dunkel; beim Drücken des linken leuchtet die Lampe. Beim Drücken des rechten leuchten unabhängig vom linken die LED und die Lampe gleichzeitig.

Der Versuch zeigt, dass sich selbst mit einer sehr einfachen Schaltung mehrere Steuerungsmöglichkeiten ergeben.

10





Die Z - Diode

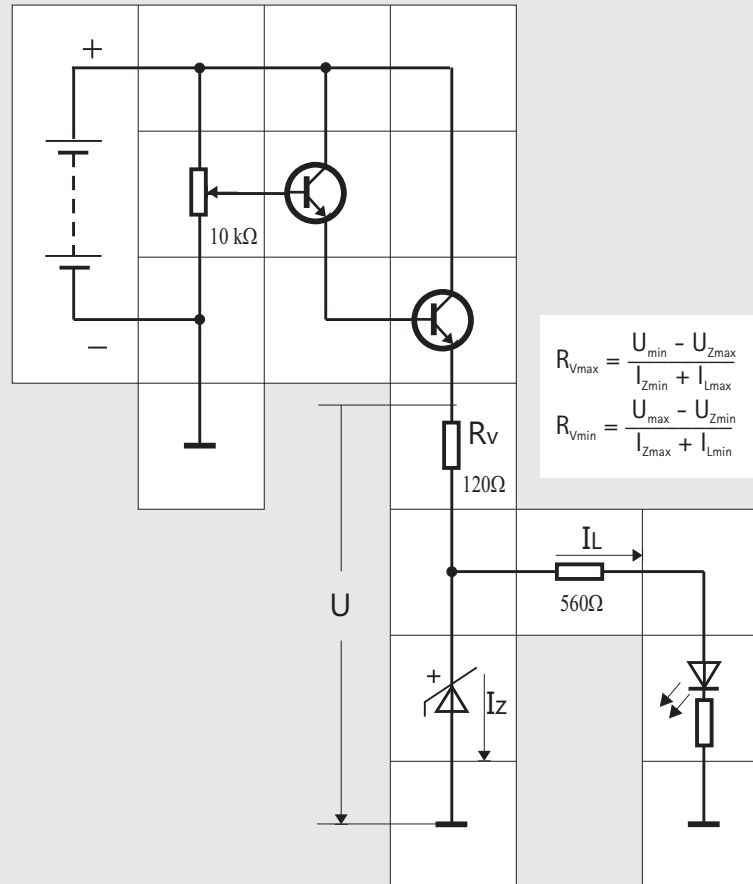
In elektronischen Schaltungen ist die ZENER - Diode (oder Z - Diode) ein wichtiges Element zur Spannungsregelung.

Das Besondere an der Zener - Diode ist, dass durch

sie nicht nur in Durchlassrichtung, sondern auch in Sperrrichtung Strom fließt. Allerdings muss hierzu eine bestimmte Sperrspannung, die Z - Spannung, überschritten werden, die bei der Lectron Zener - Diode 5,1V beträgt. Im Handel gibt es Dioden mit Z - Spannungen in der E12 - Reihe. Sie zeichnen sich alle dadurch aus, dass beim Überschreiten der Sperrspannung Strom fließt und an der Diode dann in einem weiten Stromstärkebereich die Z - Spannung abfällt, was zur Spannungsstabilisierung ausgenutzt wird.

Im Versuch soll die Wirkungsweise der Z - Diode verdeutlicht werden. Dazu wird sie so angeordnet, dass der Pfeil auf dem Baustein in Richtung Glühlampe zeigt. Nach Anlegen der Versorgungsspannung leuchtet die Lampe hell auf. Die Diode wurde in Durchlassrichtung verwendet.

Dreht man die Diode um, wird sie in Sperrrichtung verwendet. Jetzt leuchtet die Glühlampe weniger hell auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass beim ersten Versuch an der Diode nur die Durchlassspannung von $U_f = 0,7\text{ V}$ abfiel, beim zweiten aber die Zenerspannung von $U_z = 5,1\text{ V}$. Da in beiden Fällen die Versorgungsspannung 9 V betrug, hatte die Glühlampe im ersten Versuch eine Spannung von 8,3 V zur Verfügung, im zweiten aber nur noch 3,9 V. Dies zeigt jeweils auch das Messinstrument an.





Spannungsregelung mit einer Z - Diode

Aus dem vorherigen Versuch ist bekannt, dass beim Betrieb einer Z - Diode in Sperrrichtung an ihr eine bestimmte Spannung (5,1 V) anliegt, und zwar in weiten Grenzen unabhängig vom fließenden Strom. Deshalb kann man diesen Effekt für eine Spannungsregelung verwenden. Die Generatorspannung im Kraftfahrzeug ist je nach Motordrehzahl sehr unterschiedlich. Die für die Autoelektronik, Radio und Cassettenrecorder benötigte konstante Spannung kann mit Hilfe einer Z - Diode erzeugt werden.

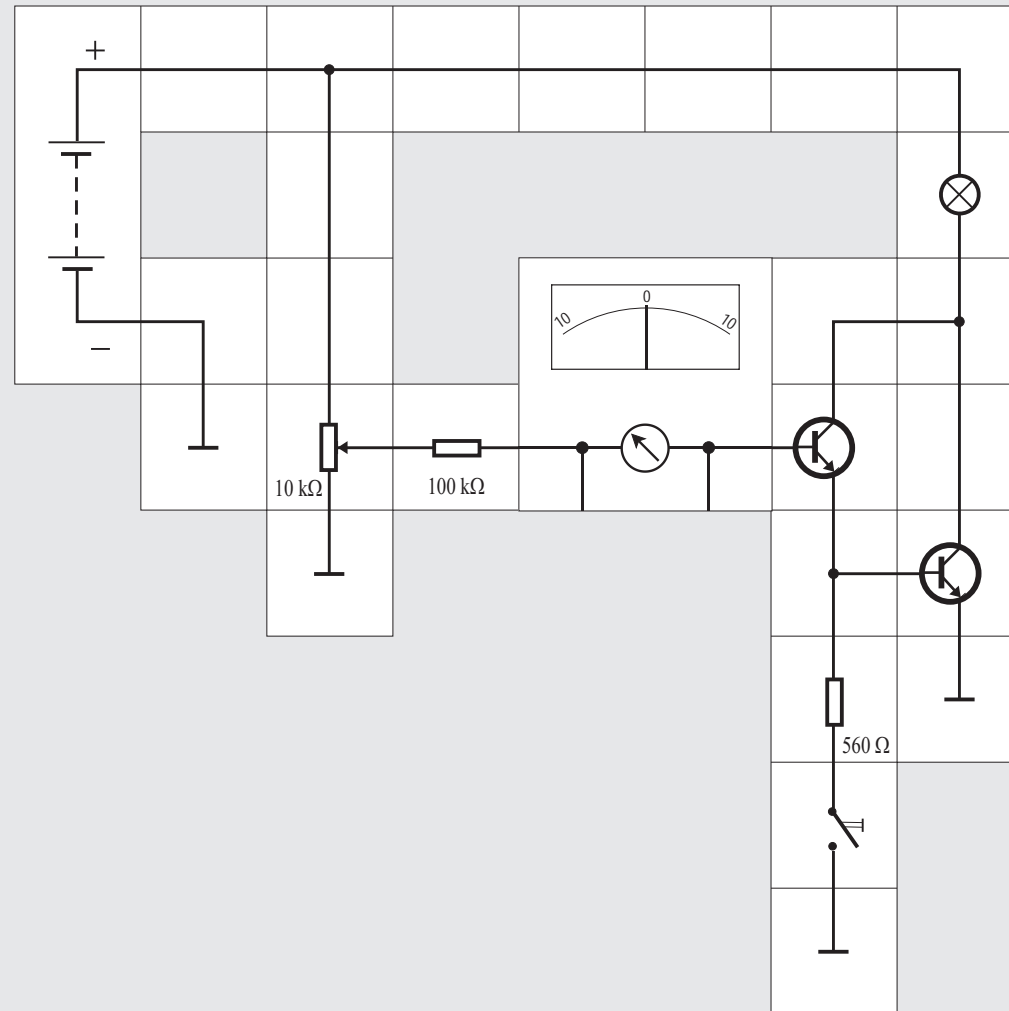
In der Versuchsschaltung kann mit dem Potentiometer in einem bestimmten Bereich die Helligkeit der LED eingestellt werden. Dabei fällt auf, dass nur ein kleiner Teil des verfügbaren Einstellbereichs Einfluss auf die Leuchtkraft der LED hat.

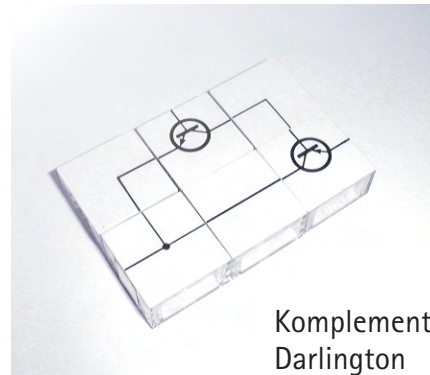
Die Schaltung funktioniert wie folgt:

An der Basis des linken Transistors kann mit dem Po-

tentiometer ein Potential zwischen 0 V und der Versorgungsspannung von 9 V eingestellt werden. Die beiden Transistoren bilden eine DARLINGTONSTUFE, die hier als EMITTERFOLGER eingesetzt ist und dafür sorgt, dass am Emitter des rechten Transistors ein niederohmiges Potential zur Verfügung steht. Dieses Potential liegt schaltungsbedingt $2 \cdot U_{BE} = 1,4$ V unter dem Basis - Potential des linken Transistors; es ist also mit dem Potentiometer zwischen 0 V und 7,6 V einstellbar. Dreht man die Spannung langsam hoch, so verhält sich die Z - Diode zunächst wie eine normale Silizium Diode, sie sperrt, solange die Spannung an ihr unter 5,1 V liegt. Damit fließt ein Strom vom rechten Transistor über die 120 Ω und 560 Ω Widerstände durch die LED, die entsprechend dunkler oder heller leuchtet. Steigt die Spannung über 5,1 V an, wird die Diode leitend und hält das Potential an ihrer Katode fest. Somit bekommt die LED (mit ihren Vorwiderständen), die parallel zur Z - Diode liegt, maximal nur 5,1 V, d.h. sie kann nur bis zu dieser bestimmten Helligkeit eingestellt werden. Entfernt man die Z - Diode aus der Schaltung, ist der Einstellbereich für die Helligkeit der LED viel größer.

Zum ordnungsgemäßen Betrieb der Stabilisierungsschaltung gibt es einen oberen und einen unteren Grenzwert für den Vorwiderstand R_v .





Komplementär
Darlington

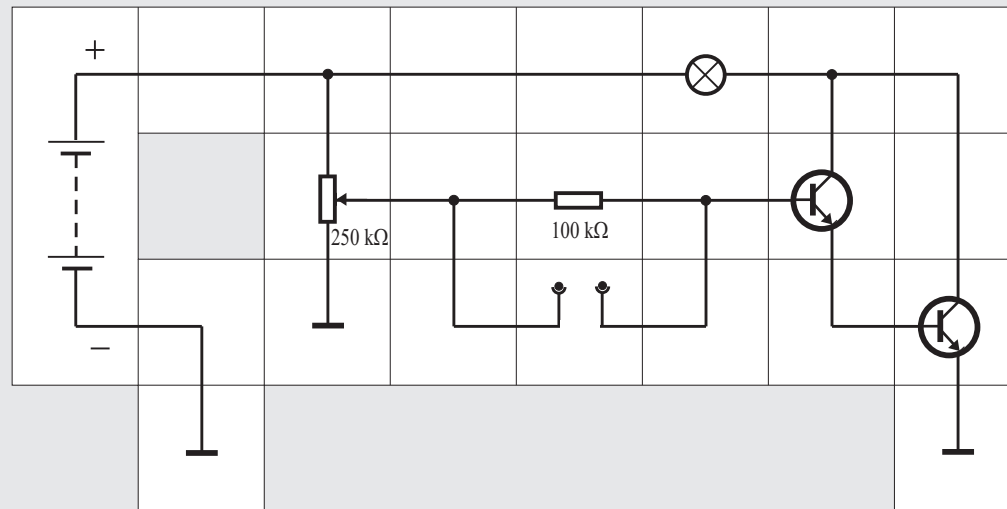
Darlington - Schaltung

Bei der Darlington - Schaltung wird der Emitter des linken Transistors mit der Basis des rechten Transistors verbunden, die Kollektoren werden zusammen geschaltet und über den Lastwiderstand (Lampe) zum Pluspol geführt.

Erhöht man mit dem Potentiometer langsam die

Spannung, kann man am Messinstrument beobachten, dass bei einigen Mikroampere Basisstrom die Transistoren leitend werden und die Glühlampe leuchtet. Ein weiteres Erhöhen des Basisstromes bis auf ca. $80\mu\text{A}$ ändert nichts mehr. Bei Einsatz nur eines Transistors würde trotz seiner 250-facher Stromverstärkung dieser geringe Basisstrom ($<10\mu\text{A}$) nicht ausreichen, einen Kollektor - Emitter - Strom von ca. 50 mA durch die Lampe fließen zu lassen. Führt man aber - wie im Versuch - den vom linken Transistor verstärkten Strom an die Basis des zweiten Transistors, so wird er noch einmal um den Faktor 250 verstärkt und die Lampe leuchtet. Die beiden hintereinander geschalteten Transistoren ergeben eine ca. 62 500-fache Verstärkung, da die Stromverstärkungen sich multiplizieren. Die Kollektor - Emitter - Spannung des letzten Transistors beträgt $U_{\text{BE}} + U_{\text{CE}}$, also ca. 1 V.

Die Schaltung ist geeignet, sehr kleine Ströme zu verstärken. In der Praxis wird häufig noch ein Basisableitwiderstand am zweiten Transistor eingesetzt, um das Abschaltverhalten der Anordnung zu verbessern. Die Gesamtverstärkung ist dann nicht mehr ganz so hoch, wie man ausprobieren kann, wenn man das Potentiometer gerade so eingestellt hat, dass die Glühlampe leuchtet und dann den Taster drückt: Sie verlöscht dann wieder.

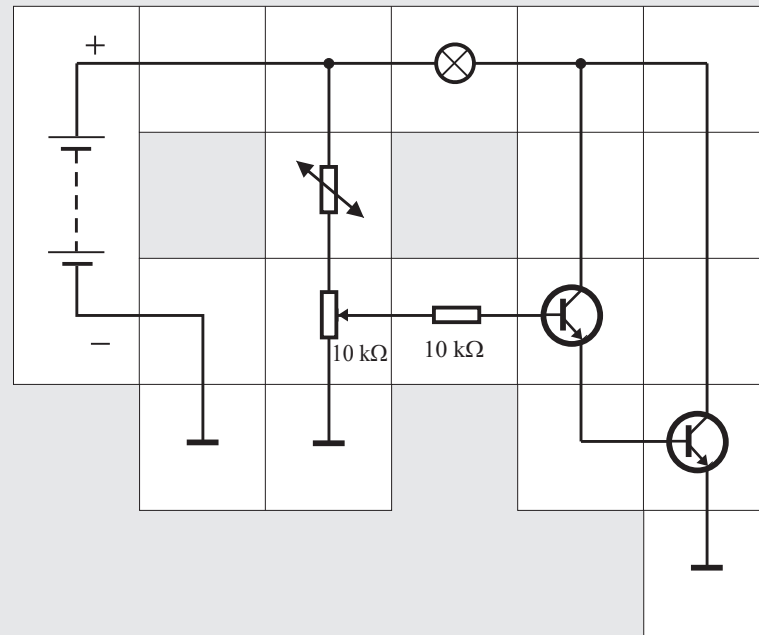




Hochempfindliches Spannungsprüfgerät

Mit dieser Schaltung können sehr geringe Spannungen nachgewiesen werden. Die Empfindlichkeit der Darlington - Schaltung beruht darauf, dass sich bei ihr die Stromverstärkungsfaktoren der beiden Transistoren multiplizieren und sich so schon geringste Änderungen im ansteuernden Basisstrom bemerkbar machen.

Nach dem Anlegen der Versorgungsspannung wird die Schaltung am Potentiometer so justiert, dass die Glühlampe gerade noch glimmt. Bringt man nun über Messleitungen das Potential einer Mini - Spannungsquelle, z. B. von einer völlig verbrauchten Batterie, an die Messbuchsen, und zwar den Pluspol an die Basis und den Minuspol an das Potentiometer, so leuchtet die Lampe auf, wenn noch eine minimale Spannung vorhanden ist; und das selbst dann, wenn ein normales Multimeter nichts mehr anzeigen würde.





NTC - Widerstand

Zu Funktionsstörungen bei elektronischen Schaltungen kann es zum Beispiel durch extreme Temperaturveränderungen kommen. Die Eigenart von bestimmten Bauelementen, auf Temperaturschwankungen zu reagieren, wird beim NTC - Widerstand genutzt. Er ist ein temperaturabhängiger Widerstand. Bei Autos werden solche Bauteile als »Tem-

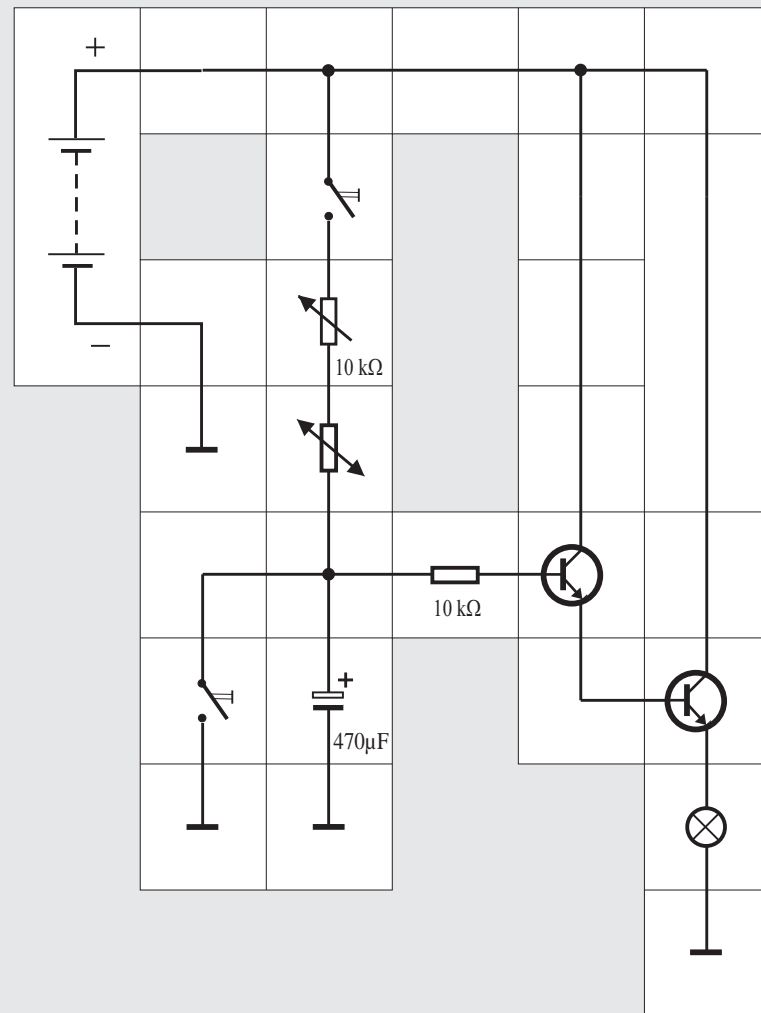
peraturfühler« eingesetzt (z. B. Kühlwasserregelung).

NTC (engl. NEGATIVE TEMPERATURE COEFFICIENT) - Widerstände werden mit steigender Temperatur leitfähiger, d.h. ihr Widerstandswert wird geringer. Der Lectron NTC - Widerstand hat bei einer Raumtemperatur von 25°C einen Widerstand von 15 k Ω . Im folgenden Experiment wird die Schaltung mit einem temperaturabhängigen »Kippschalter« in Betrieb genommen:

1. Bei Raumtemperatur stellt man das Potentiometer so ein, dass die Lampe nur gering leuchtet.
2. Nachdem das (abgeschaltete) Gerät für einige Minuten im Kühlschrank stand, wird die Schaltung (im gekühlten Zustand) in Betrieb genommen. Die Lampe leuchtet nicht. Die über den NTC - Widerstand an die Basis der Darlington - Stufe herangeführte Spannung ist so gering, dass die Transistoren sperren und im Lampenstromkreis kein Strom fließt.
3. Nun wird der NTC - Widerstand des eingeschalteten Geräts etwas erwärmt. Nach kurzer Zeit leuchtet die Lampe hell.

Gegenüber dem Schaltungsaufbau mit Darlington - Stufe wurde das dortige Potentiometer hier durch einen NTC - Widerstand ersetzt. Die bisherige manuelle Einstellung geschieht jetzt automatisch durch die sich ändernde Umgebungstemperatur.

15





Lectron

Vorglüh – Automatik

Zum Starten von Dieselmotoren ist es erforderlich,

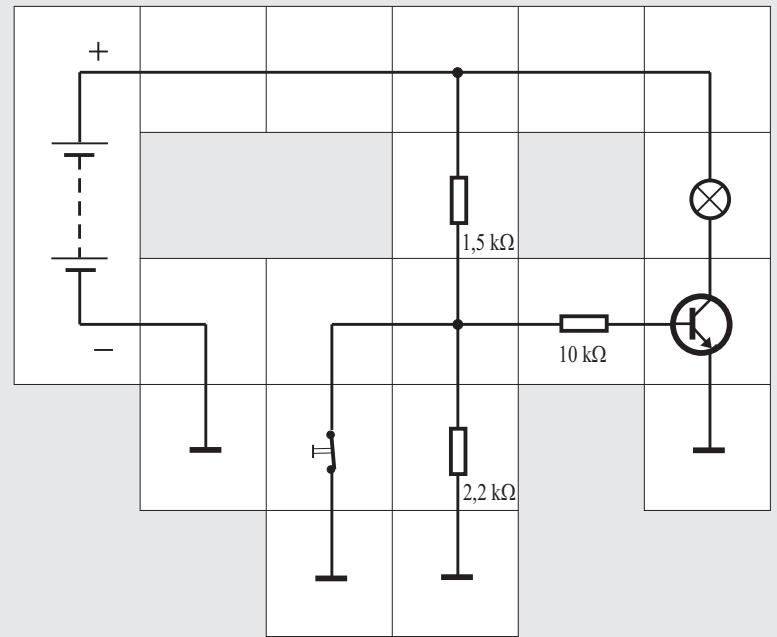
abhängig von der Starttemperatur des Motors vorzuglühen. Die Länge der Vorglühzeit ist dabei eine direkte Funktion der Motortemperatur. Um dem Fahrer die Bedienung der Vorglühanlage leicht zu machen, werden häufig Automatik – Vorglührelais eingesetzt. Die Messung der Motortemperatur erfolgt dabei durch einen NTC – Widerstand.

Die Demonstrationsschaltung mit dem Lectron Baukasten ist absichtlich sehr einfach aufgebaut. Laden und Entladen der Elektrolyt – Kondensatoren erfolgen durch »Handschtaltung« mit Hilfe der beiden Taster.

Über einen Strombegrenzungswiderstand (Potentiometer) und den NTC – Widerstand werden die Kondensatoren aufgeladen. Sie entladen sich über die Basis des Transistors (Darlington – Schaltung). Die Aufladezeit ist dabei abhängig vom Widerstandswert des NTC – Widerstandes.

Aus dem vorigen Versuch ist bekannt, dass ein Halbleiter (NTC) mit zunehmender Temperatur immer niederohmiger wird, d.h. je wärmer der Motor ist, desto schneller können sich die Kondensatoren aufladen und desto kürzer ist die Vorglühzeit.

Die Funktionsweise dieser Schaltung beruht also auf der Ladung bzw. Entladung eines Kondensators und der Temperaturabhängigkeit eines NTC – Widerstandes.





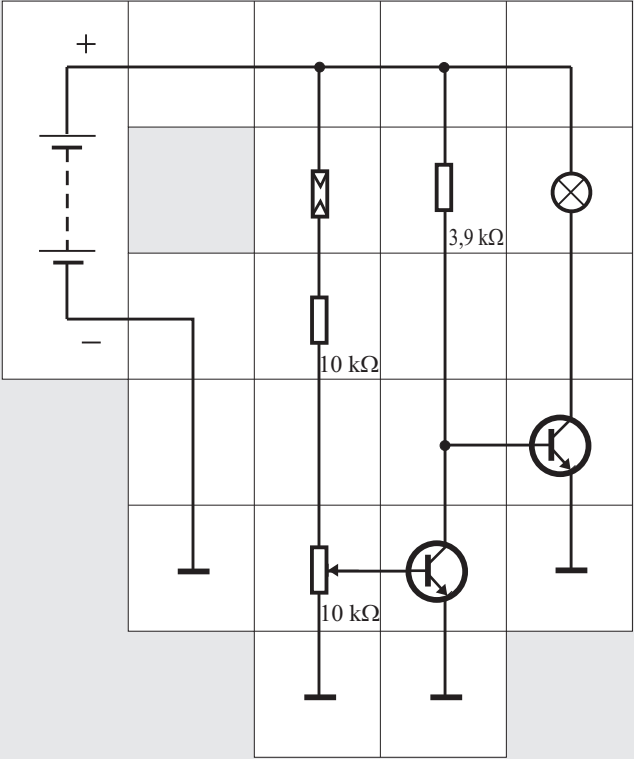
Lectron

Bremsbelag – Verschleißanzeige

Moderne Bremsbeläge enthalten eine dünne Draht-

schleife, die parallel zu einem Widerstand geschaltet ist und damit als Sensor für ein Warnanzeige - Modul genutzt wird. Dieses registriert durch Signalgrößen den Zustand der vorhandenen Bremsbeläge. Bei genügender Stärke des Bremsbelages durchläuft das Signal einen kleinen Widerstand und eine Drahtschleife im inneren Bremsbelag. Wird die Verschleißgrenze erreicht und damit die Drahtschleife durchgeschliffen, muss das Signal durch einen zweiten, größeren Widerstand. Durch die Reihenschaltung wird die Signalgröße verändert. Das Warnanzeige - Modul nimmt die Veränderung auf und wertet sie aus, die Warnleuchte wird eingeschaltet.

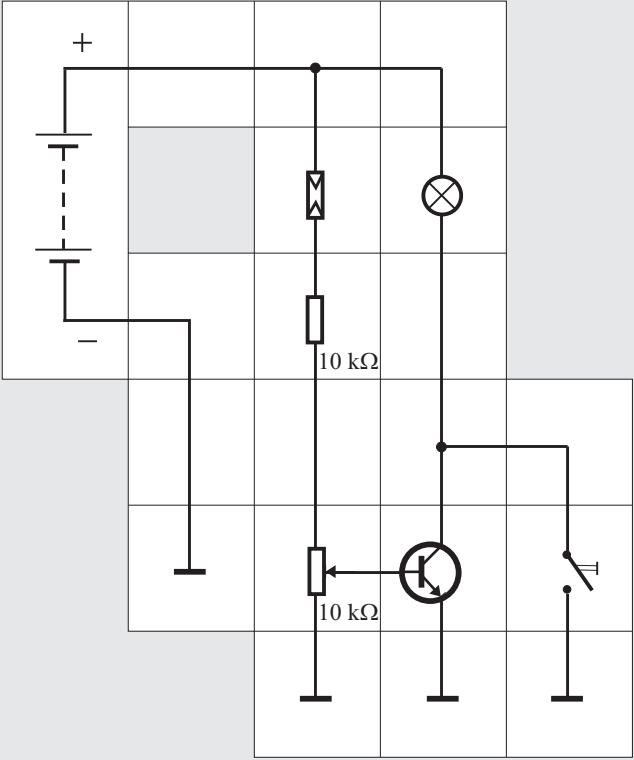
Man kann die Drahtschleife durch einen Taster mit Ruhekontakt ersetzen. Bei geschlossenem Taster (Drahtschleife ist in Ordnung), fließt der Strom über den $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand direkt zur Masse. Die Basis - Emitter - Strecke des Transistors ist überbrückt und damit kurzgeschlossen. Der Transistor ist gesperrt, die Warnleuchte bleibt dunkel. Ist die Drahtschleife durchgeschliffen (Taster ist gedrückt), fließt der Strom über den Spannungsteiler $1,5\text{ k}\Omega$ und $2,2\text{ k}\Omega$; das über den $10\text{ k}\Omega$ Widerstand an die Basis gelangende Potential ist hoch genug, den Transistor in den leitenden Zustand zu bringen. Er schaltet durch und die Lampe leuchtet.





Dämmerungsschalter für PKW – Parklicht

Ein Personenwagen soll ein automatisches Parklicht erhalten, dessen Parkleuchte sich selbsttätig in der Abenddämmerung ein- und am Morgen ausschaltet. Als Lichtfühler kommt der Lectron Fotowiderstand (LDR) zum Einsatz. Man dreht zunächst das Potentiometer so weit im Uhrzeigersinn, bis die Lampe verlischt. Nun beginnt für den Lichtfühler die Abenddämmerung (Handschatten). Das Parklicht wird aufleuchten, weil jetzt »Nacht« ist und am »Morgen« wieder verlöschen (Hand vom LDR entfernen): Mit einem Fotowiderstand als Lichtfühler kann man einen Dämmerungsschalter bauen, der eine Lampe bei Dämmerung einschaltet.

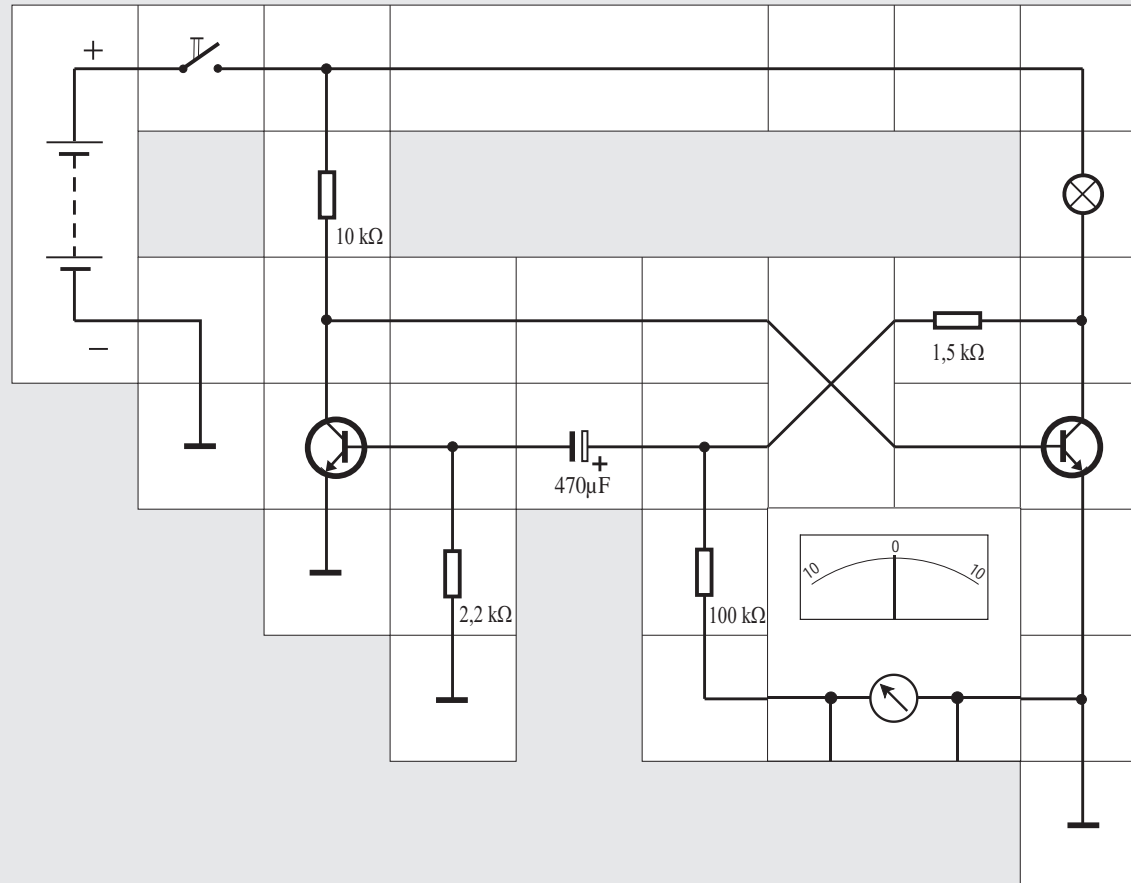




Lichtschanke mit Selbststeuerung

Für diesen Versuch muss die Raumhelligkeit so gering sein, dass die Lampe nicht von selber zu leuchten beginnt. (In der Praxis kann man den LDR gegen Fremdlicht abschirmen) Betätigt man den Taster, beginnt die Glühlampe zu leuchten und leuchtet auch nach Loslassen des Tasters weiter. Das Lampenlicht trifft auf den LDR, verringert dessen Widerstand und lässt einen starken Photostrom fließen, der als Basisstrom den Transistor durchsteuert und für große Lampenhelligkeit sorgt.

Bei Unterbrechung der Lichtschanke (zwischen Lampe und LDR Pappe halten) erlischt die Lampe und leuchtet auch nicht wieder auf. Ein Anwendungsbeispiel ist eine Lichtschanke, die verhindert, dass Hände einer Person in den Gefahrenbereich einer Stanze oder Presse gelangen.





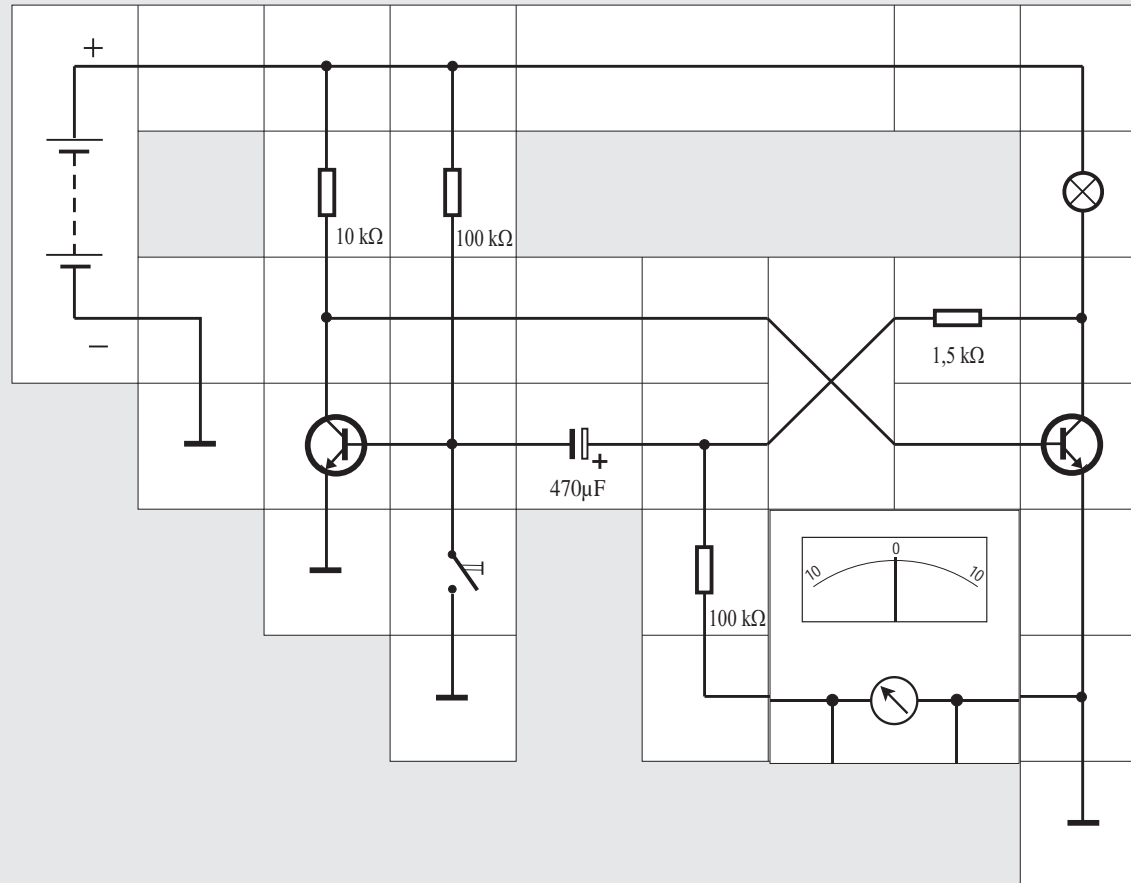
Einschaltverzögerung

Überall dort, wo zwischen dem Einschalten und dem Auslösen einer Funktion eine definierte Zeit notwendig ist, werden Einschaltverzögerungen eingesetzt. Ein typisches Beispiel findet man bei Auto-Alarmanlagen, die vor dem Verlassen des Wagens

mit Hilfe eines »geheimen« Schalters aktiviert werden. Die Einschaltverzögerung verhindert das sofortige Auslösen des Alarms, wenn der Fahrer die Wagentür wieder öffnet; somit bleibt eine kurze Zeitspanne, um die Anlage zu deaktivieren. Die Abbildung zeigt das Schaltbild einer Einschaltverzögerung. Nach Betätigung des Tasters (Taster gedrückt halten) dauert es einige Sekunden, bis die Lampe leuchtet.

Die Schaltung funktioniert folgendermaßen:
Beim Einschalten fließt in die Basis des linken Transistors ein Strom über die (nicht leuchtende) Lampe, den Widerstand von $1,5 \text{ k}\Omega$ und den Elko von $470 \mu\text{F}$; dieser geringe Steuerstrom, der auch Ladestrom für den Elko ist, reicht noch nicht aus, um die Lampe zum Leuchten zu bringen. Der linke Transistor wird leitend und sein Kollektorpotential, das auch gleichzeitig Basispotential des rechten Transistors ist, stellt sich auf ca. $0,2 \text{ V}$ ein. Damit ist der rechte Transistor gesperrt. Der Elko lädt sich langsam auf, bis kein Ladestrom mehr fließt. Wenn das Basispotential des linken Transistors $0,7 \text{ V}$ unterschreitet, sperrt der Transistor, sein Kollektorpotential steigt und bewirkt, dass der rechte Transistor leitet; die Lampe brennt. Der Lade- und der Entladevorgang des Kondensators können mit dem Lectron Instrument gut verfolgt werden.

20





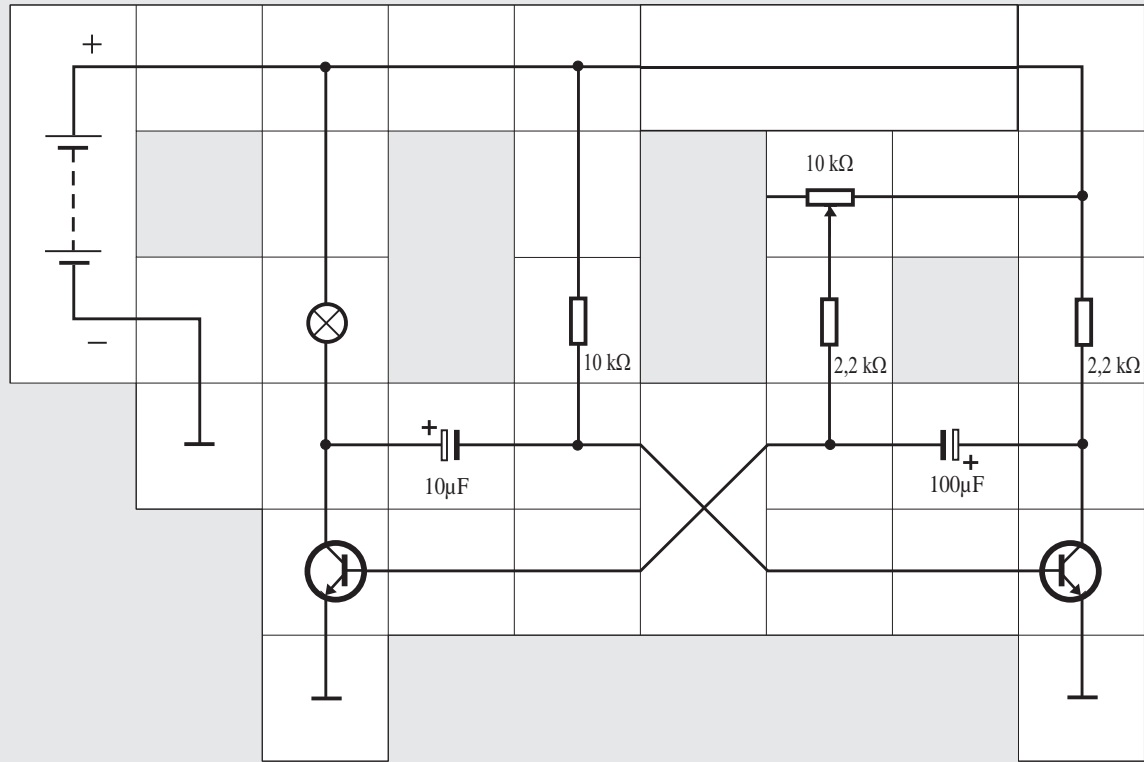
Innenlicht – Ausschaltverzögerung

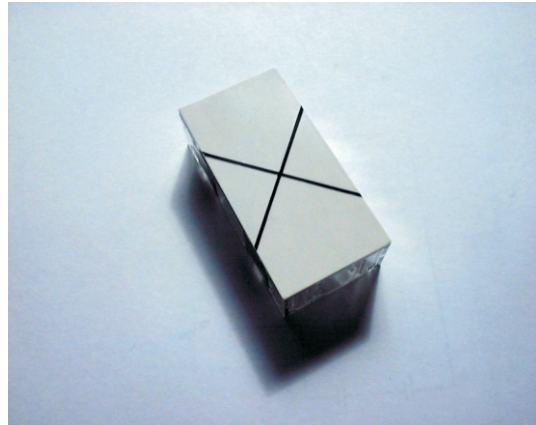
Elektronisch gesteuerte Zeitschaltungen sind im KFZ u.a. beim Scheibenwischer oder der Scheinwerfer – Waschanlage anzutreffen. Durch einen kurzen Impuls (Antippen des Schalters) treten die Wischerblätter eine definierte Zeit in Funktion und stellen sich selbsttätig wieder ab. In der Fachsprache wird solch eine Schaltung als MONOSTABILE KIPPSTUFE (MONOFLOP) bezeichnet. Sie hat einen stabilen und einen instabilen Zustand. Schaltet man durch einen kurzen Impuls ein, kippt die Schaltung nach einer definierten Zeit in die Ausgangslage zurück und schaltet ab. Der abgeschaltete Zustand ist dann wieder stabil.

Bei der Innenlicht – Ausschaltverzögerung stellt der Taster den Türkontakt dar. Nach kurzer Betätigung leuchtet die Lampe und schaltet sich nach etwa 10 Sekunden aus.

Die Schaltung funktioniert wie folgt:

Nach Anlegen der Versorgungsspannung fließt über den $100\text{ k}\Omega$ Widerstand ein geringer Strom zur Basis des linken Transistors, (hinzu kommt der Ladestrom des Kondensators über den $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand und die Glühbirne – sie leuchtet nicht, weil der Strom zu klein ist) wodurch dieser leitend ist. Sein Kollektorpotential beträgt ca. $0,2\text{ V}$, es sperrt den rechten Transistor. Betätigt man kurz den Taster, wird der linke Transistor gesperrt, da seine Basis – Emitter – Spannung 0 V beträgt. Sein Kollektorpotential steigt schlagartig und bewirkt, dass der rechte Transistor leitet; die Lampe leuchtet. Gleichzeitig entlädt sich der Kondensator. Dieser Zustand dauert einige Sekunden, nämlich so lange, bis der Ladestrom über den $100\text{ k}\Omega$ (und den $1,5\text{ k}\Omega$) Widerstand den Kondensator wieder so weit geladen hat, dass seine Spannung den linken Transistor wieder in den leitenden Zustand bringt. Damit wird der rechte Transistor wieder gesperrt, die Lampe verlischt. Am Lectron Messinstrument können Lade- und Entladvorgang verfolgt werden.





Blinklichtschaltung (astabile Kippstufe)

Nach den bereits bekannten bistabilen und monostabilen Kippstufen soll jetzt auch die astabile Kippstufe erklärt werden. Typische astabile Kippstufen sind die Einkreisblinkanlage im Auto, sowie alle Arten von Warnblinkanlagen an Baustellen etc.

Der nach der Abbildung aufgebaute Versuch demonstriert die Funktion einer Blinklichtschaltung. Blinklichtschaltungen an Baustellen ohne Netzstromversorgung haben vor allem zwei Vorteile:

1. Die Aufmerksamkeit bei einer blinkenden Lampe ist wesentlich größer, als bei einer gleichmäßig leuchtenden Lampe.

2. Blinkschaltungen mit kurzer Einschaltzeit und langer Ausschaltzeit sparen Energie. Das bedeutet, dass Blinklampen, Baustellenblitze, usw. auch mit Akkumulatoren wesentlich länger als ständig leuchtende Lampen betrieben werden können.

Nachdem man den richtigen Aufbau kontrolliert hat, schaltet man die Blinkschaltung mit dem Anlegen der Betriebsspannung ein, das Blinken der Lampe setzt selbsttätig ein.

Mit dem Potentiometer kann man die Ausschaltzeit der Lampe einstellen. Ist die Ausschaltzeit kurz, ergibt sich eine hohe Blinkhäufigkeit, bei langer Ausschaltzeit ist die Blinkhäufigkeit gering. Die Blinkhäufigkeit nennt man auch Frequenz. Je schneller

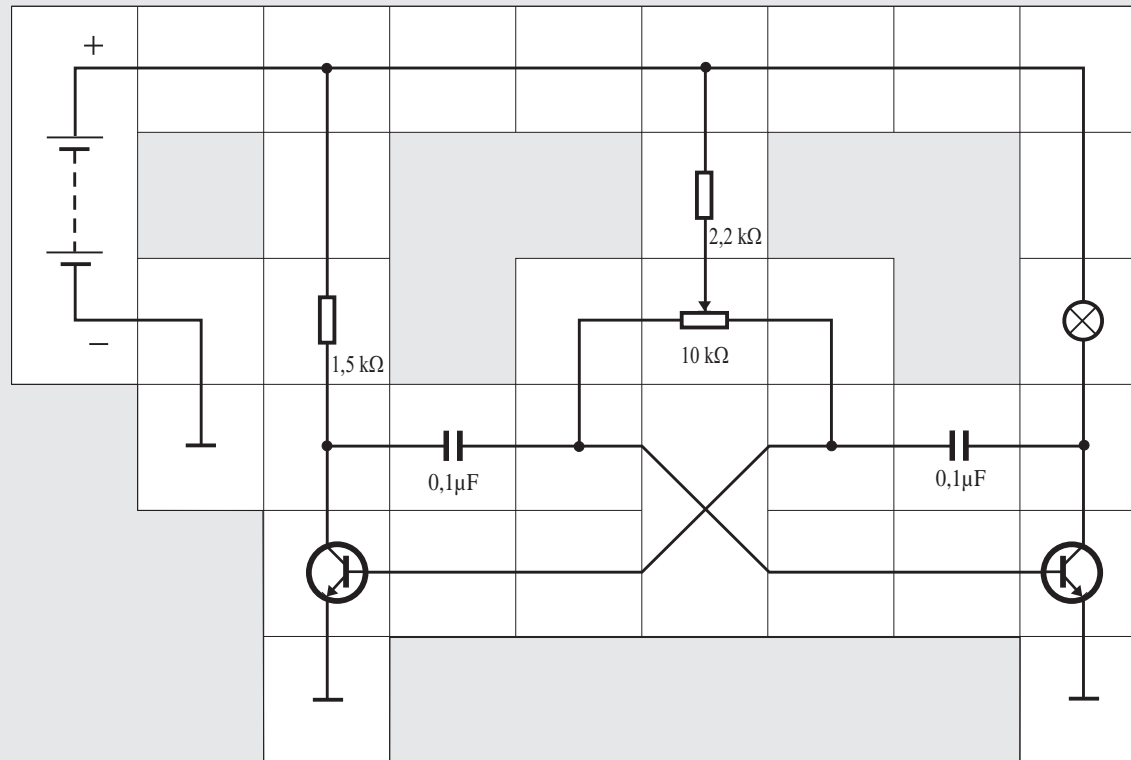
eine Lampe blinkt, desto höher ist ihre Blinkfrequenz.

Der Zeitablauf der Blinkfrequenz ergibt sich aus den beiden RC - Kombinationen, 100 μ F Elko mit 2,2 k Ω Widerstand und Potentiometer (bzw. 10 μ F Elko und 10 k Ω Widerstand), wobei mit dem Potentiometer die Auf- bzw. Entladezeit des Elkos eingestellt werden kann. Da diese Kippstufe in keinem Zustand stabil ist, nennt man sie ASTABIL.

Sie funktioniert ähnlich wie die beschriebene monostabile Kippstufe, bei der zwei monostabile Kippstufen miteinander verkoppelt sind. Die Schaltung kippt hin und her. Wird der 2,2 k Ω Widerstand gegen eine weitere Glühlampe ausgetauscht, ergibt sich ein Wechselblinker.

Die astabile Kippstufe hat keinen stabilen Zustand. Ihre Frequenz ist durch entsprechende Bauteildimensionierung in weiten Grenzen veränderlich.

Die Kippstufen aus diesem Versuch und aus den vorhergehenden Versuchen haben als gemeinsames Kennzeichen die über Kreuz gekoppelten Transistoren. Wird die Kopplung mit zwei Widerständen (oder direkt) vorgenommen, kennt die Schaltung zwei stabile Zustände; bei Kopplung mit einem Kondensator und einem Widerstand einen stabilen und bei Kopplung mit zwei Kondensatoren keinen stabilen Zustand.





Helligkeitsregelung der Instrumentenbeleuchtung

Mit dieser Schaltung wird ein »Helligkeitsregler« simuliert, ähnlich der Helligkeitseinstellung am Instrumentenbrett eines Kraftfahrzeugs. Zur Erinnerung: Transistoren sind nicht nur als elektronische Schalter verwendbar, sie können auch als elektronische Regler eingesetzt werden.

Mit Dimmerschaltungen kann z. B. die Helligkeit von Glühlampen, die Drehzahlen bei Elektromotoren usw. gesteuert werden. Auch im Kraftfahrzeug erfolgt die Helligkeitseinstellung der Armaturenbeleuchtung über eine Dimmerschaltung.

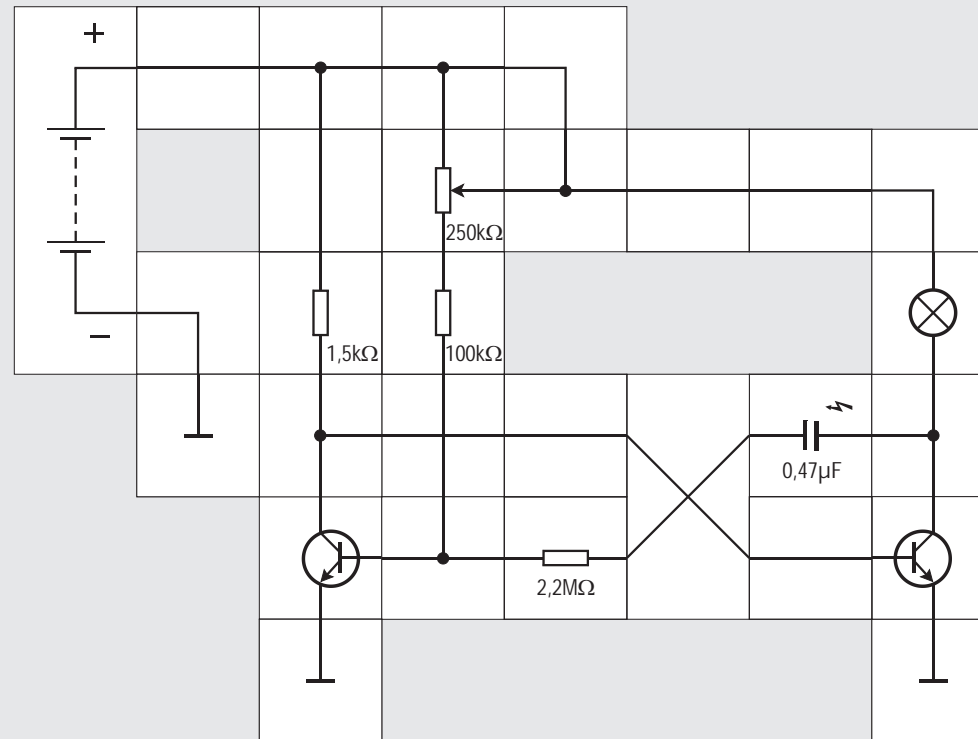
Der Helligkeitsregler wird mit Anlegen der Strom-

versorgung in Betrieb genommen. Je nach Potentiometerstellung kann die Lampe von dunkel bis hell in jeder gewünschten Beleuchtungsstärke eingestellt werden.

Auch bei diesem Versuch handelt es sich um eine astabile Kippstufe, die jedoch mit hoher Frequenz arbeitet. Die Ein- und Ausschaltvorgänge erfolgen so schnell, wodurch das Auge durch seine Trägheit ein scheinbar kontinuierliches Leuchten wahrnimmt.

Steht das Poti etwa in Mittelstellung, sind die Ein- und Ausschaltzeiten ungefähr gleich (mittlere Helligkeit). Beim Linksdrehen des Potis wird die Einschaltzeit kürzer und die Ausschaltzeit entsprechend länger (schwach leuchtende Lampe). Bei Rechtsdrehung der Potiachse wird die Einschaltzeit länger und Ausschaltzeit entsprechend kürzer (helle Lampe). Die astabile Kippstufe arbeitet mit einer konstanten Frequenz, lediglich die Ein- und Ausschaltzeiten der Lampe werden über das Poti verändert. Die wesentlich erhöhte Frequenz ergibt sich aus den kleineren Kapazitätswerten der Scheibenkondensatoren, gegenüber den bisher verwendeten Elkos.

Diese für viele Anwendungszwecke interessante Dimmerschaltung wird in der Praxis häufig eingesetzt, weil hierbei die Verlustleistung (unnötig verbrauchte Energie) besonders gering ist.



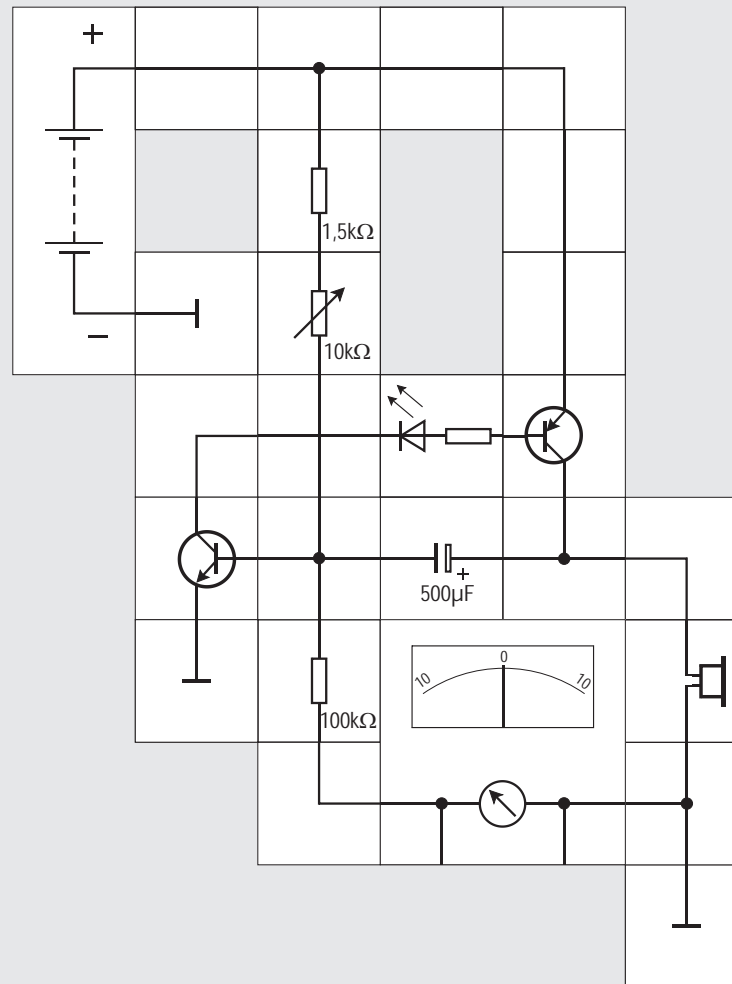


Eine einfache Blinkerschaltung

Abweichend von der am Schluss des Versuchs 21 stehenden Regel gibt es auch Schaltungen astabiler Multivibratoren, die mit einem RC - Glied auskommen. Sie werden dort eingesetzt, wo der Aufwand klein sein soll und keine Anforderungen an die Konstanz der Blinkfrequenz gestellt werden. Der Versuchsaufbau zeigt eine solch einfache Schaltung,

deren Funktion trotzdem vielleicht nicht gleich einleuchtet: Sie besteht im Wesentlichen aus einem über das RC - Glied ($2,2 \text{ M}\Omega / 0,47 \mu\text{F}$) rückgekoppelten Verstärker. Lässt man in Gedanken das RC - Glied und den $100 \text{ k}\Omega$ erst einmal weg, so wird bei passender Dimensionierung der Basisstrom über den $1,5 \text{ k}\Omega$ Widerstand ausreichen, den rechten Transistor durchzusteuern, die Lampe leuchtet. Der linke Transistor sperrt, da er wegen des fehlenden $100 \text{ k}\Omega$ Widerstands keinen Basisstrom bekommt. Fügt man nun diesen Widerstand in die Schaltung ein, dann übernimmt der linke Transistor, der nun etwas leitet, einen Teil des vorher in den rechten Transistor fließenden Basisstroms als Kollektorstrom. Bei entsprechender Potentiometerstellung schaltet der linke Transistor so gut durch, dass der rechte sperrt und die Lampe verlöscht. Fügt man nun das Koppelglied ein, wird die Lampe weiter dunkel bleiben. Durch Erhöhen des Potentiometerwiderstands geht der linke Transistor langsam in den Sperrzustand und der rechte erhält wieder Basisstrom, wodurch er seinerseits zu leiten anfängt. Dadurch sinkt weiter seine Kollektorspannung und es gibt einen Umladestrom durch den Kondensator, der vom Basisstrom des linken Transistors abgezogen wird. Der Kollektorstrom des linken Transistors wird also kleiner, der rechte erhält mehr Basisstrom

und leitet immer besser; die Änderung seiner Kollektorspannung koppelt über das RC - Glied auf die Basis des linken Transistors und sperrt ihn schließlich, die Glühlampe leuchtet jetzt. Wenn der Kondensator sich auf die neuen Spannungsverhältnisse eingestellt hat, fließt kein Umladestrom mehr und der linke Transistor erhält wieder Basisstrom, wodurch er leitender wird und dem rechten wieder Basisstrom entzieht. Dessen Kollektorpotential steigt wieder an und diese Änderung koppelt über den Kondensator auf die Basis des linken Transistors, der nun noch besser leitet und den rechten sperrt. Die Lampe verlöscht. Am Kondensator setzt sich der Umladevorgang bis zum Erreichen des Ausgangszustands fort und das Spiel beginnt von Neuem. Aus der Beschreibung wird schon ersichtlich, dass die Schaltung nur in einem gewissen Einstellbereich des Potentiometers arbeitet, entscheidend ist das Verhältnis vom Kollektorwiderstand des linken Transistors zu dem Potentiometerwiderstand und natürlich seine Stromverstärkung. Da diese nicht vorausgesagt werden kann, ist unter Umständen ein bisschen Experimentieren mit den Widerständen und den Transistoren nötig, um die Schaltung zum Schwingen zu bringen. Die Größe des RC - Gliedes beeinflusst die Blinkfrequenz.





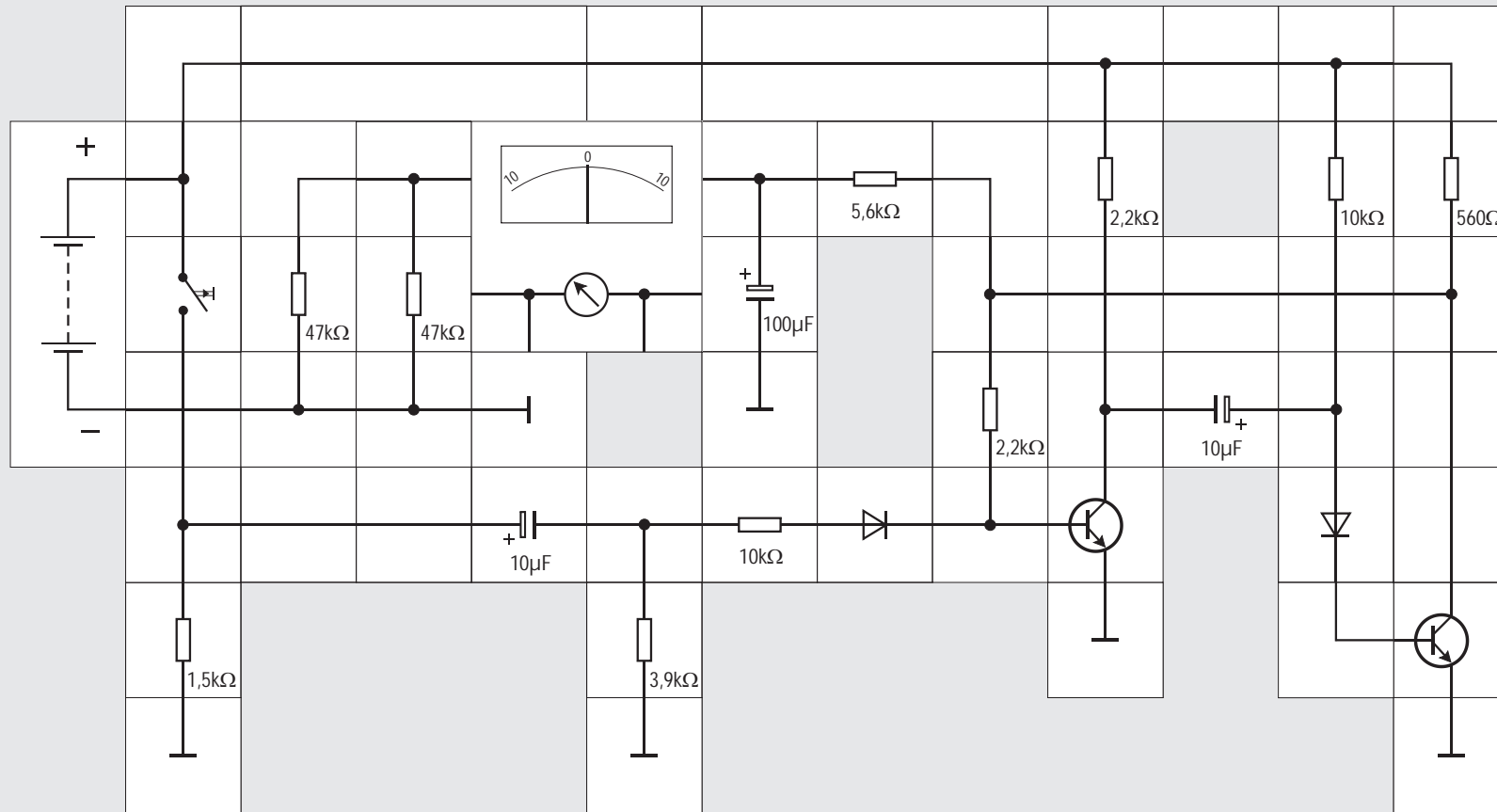
Ein Metronom

Es gibt auch Schaltungen für astabile Multivibratoren, die mit einem RC - Glied auskommen und mit komplementären Transistoren arbeiten. Der Versuchsaufbau zeigt eine Schaltung, bei der das Schwingen sowohl optisch als auch akustisch zu bemerken ist. Statt des Ohrhörers kann auch der Lectron Lautsprecher aus dem Grundkasten angeschlossen werden, dann hat man ein Metronom. Jedesmal wenn die Leuchtdiode aufblitzt, ist ein lautes Knacken aus dem Ohrörer oder dem Lautsprecher zu vernehmen. Die Frequenz ist mit dem Regelwiderstand einstellbar. Waren bei den bisherigen astabilen Multivibratoren die Transistoren abwechselnd leitend, so leiten und sperren sie in dieser Schaltungsvariante immer gleichzeitig.

Der Zyklus beginnt damit, dass das Potential des linken Kondensatoranschlusses sich bei gesperrten Transistoren über den Regelwiderstand und den Ohrörer langsam erhöht, und zwar so lange, bis an

der Basis des npn - Transistors ungefähr 0,7 V erreicht sind. Dann wird der Transistor leitend, bringt über die Leuchtdiode den pnp - Transistor ebenfalls in den leitenden Zustand, wodurch der rechte Kondensatoranschluss schlagartig nahezu auf Versorgungspotential gelegt wird und dadurch der npn - Transistor voll durchschaltet. Der Ladevorgang des Kondensators geht also sehr schnell vonstatten, die Leuchtdiode blinkt dabei auf. Ist der Vorgang abgeschlossen, bekommt der npn - Transistor nicht mehr genügend Basisstrom für den neuen (vorübergehenden) Gleichgewichtszustand und sperrt sich selbst und den pnp - Transistor. Dieses Sperren läuft wieder schlagartig ab, da beide Transistoren stark gekoppelt sind. Am Kollektor des pnp - Transistor entsteht ein negativer Spannungssprung, der über den Kondensator auf die Basis des npn - Transistors wirkt, am Instrument sichtbar ist und ein Knacken im Ohrörer verursacht. Anschließend steigt wie zu Anfang das Potential an der Basis des npn - Transistors von den stark negativen Werten wieder bis auf 0,7 V. Die Schaltvorgänge des Transistorpaares gehen so schnell vonstatten, dass das Instrument zu träge ist alles anzuzeigen. Die Schaltung hat den Vorteil, nur während der äußerst kurzen leitenden Phase der Transistoren einen nennenswerten Strom aus der Batterie zu ziehen.

25





Drehzahlmesserschaltung

In vielen Fahrzeugen ist zur Motorüberwachung ein Drehzahlmesser eingebaut. Auch in Steuerteilen von Einspritzanlagen oder Pumpenrelais findet man Schaltungen, die die Motordrehzahl auswerten bzw. überwachen (z. B. Motordrehzahlbegrenzung oder drehzahlabhängige Gemischanreicherung

usw.) Als Eingangssignal wird meist das Unterbrechersignal vom Zündverteiler verwendet. Abhängig von der Motordrehzahl liegen hier positive Nadelimpulse von bestimmter Frequenz an.

Unsere Versuchsschaltung funktioniert folgendermaßen:

Mit dem Einschalten der Betriebsspannung ist der rechte Transistor über den 10 k Ω Basiswiderstand leitend, damit liegt die Basis des linken Transistors fast auf Massepotential; der linke Transistor ist gesperrt. Mit dem Schließen des Tasters wird über den 10 μ F Kondensator, den 10 k Ω Widerstand und die Diode ein positiver Impuls auf die Basis des linken Transistors gegeben, wodurch er leitend wird; dies bewirkt, dass über den 10 μ F Koppel - Kondensator ein negativer Impuls den rechten Transistor sperrt. Durch das Sperren des rechten Transistors erhält die Basis des linken Transistors über den 2,2 k Ω Rückführungswiderstand nahezu die Betriebsspannung: Der linke Transistor schaltet jetzt satt durch, der rechte sperrt.

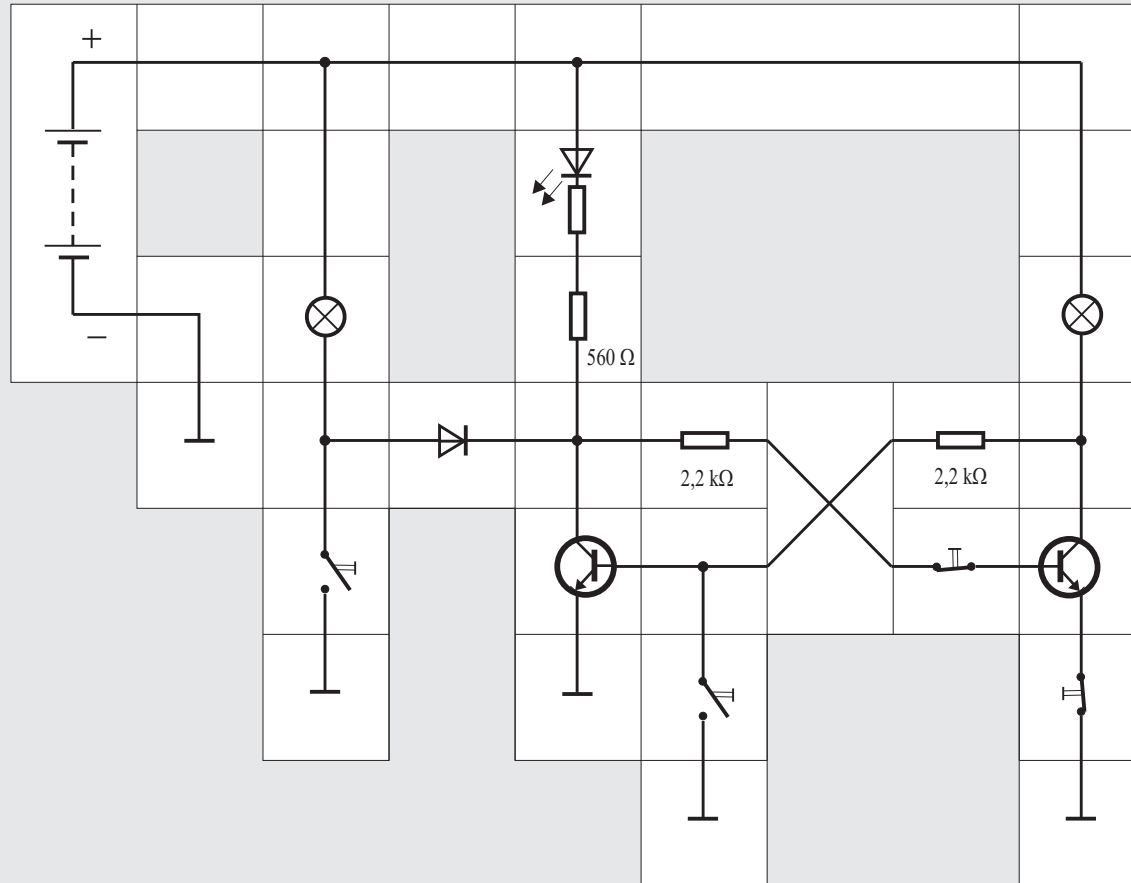
Der linke Anschluss des Koppel - Kondensators lag vorher auf dem Betriebsspannungspotential, sein rechter Anschluss auf ca. 1,4 Volt (2x Diodenschwellenspannung). Beim Durchschalten des linken Transistors entsteht an seinem Kollektor ein negativer Spannungssprung von nahezu der Betriebs-

spannung. Dieser Spannungssprung wird in voller Größe auch auf dem rechten Anschluss des Koppel - Kondensators wirksam: Das Potential dort und damit auch das Basispotential des rechten Transistors gerät weit in den negativen Bereich: (1,4V - Betriebsspannung).

Das negative Potential hält den rechten Transistor gesperrt. Er bleibt aber nur so lange gesperrt, bis über den 10 k Ω Widerstand genug Strom geflossen ist, um den rechten Kondensatoranschluss wieder vom negativen Wert auf +1,4 Volt zu bringen. Ein positiver Impuls auf die Basis des linken Transistors bewirkt also eine bestimmte Sperrzeit vom rechten Transistor. Diese Zeit ist abhängig von den Werten der RC - Kombination.

Das Messinstrument ist über den 5,6 k Ω Widerstand angeschlossen, der 100 μ F Kondensator dient zur Glättung der Impulse: Bei gesperrtem Transistor lädt er sich auf, bei leitendem entlädt er sich. Am Kondensator wird sich also eine Ladespannung einstellen, die der mittleren Sperrzeit vom rechten Transistor entspricht. Für die Drehzahlmessung heißt dies: Eine hohe Drehzahl ergibt viele positive Impulse und damit eine lange Sperrzeit vom rechten Transistor; die Ladespannung steigt. Die Spannung am Kondensator ist also ein direktes Maß für die Drehzahl.

26





der Praxis wird über eine Verstärkerschaltung ein Signalhorn betätigt. Die bisherige einfache Schaltung hat noch einen entscheidenden Nachteil: Wird der Alarm durch das Öffnen einer Tür ausgelöst, kann er sofort wieder abgebrochen werden, wenn die Tür wieder geschlossen ist. Man braucht also eine Alarmanlage mit Selbsthaltung. Diese Aufgabe löst eine BISTABILE KIPPSTUFE. Der linke Taster stellt zusammen mit der linken Glühlampe einen Türkontakt und die Innenbeleuchtung des Pkws dar. Die Alarmauslösung wird durch die rote LED angezeigt. Die Anlage wird über den mittleren Taster scharf geschaltet, die rechte Glühlampe zeigt dann die Betriebsbereitschaft an. Zwei zusätzliche Taster in Basis- und Emitterleitung des rechten Transistors stellen zwei unabhängige Sicherheitsschleifen dar.

Durch Anlegen der Versorgungsspannung und Betätigen des mittleren Tasters ist die Anlage betriebsbereit, die rechte Lampe leuchtet. Wird jetzt der linke Taster (Tür) betätigt, gehen die linke Glühlampe (Innenbeleuchtung) und die LED (Alarmauslösung) an. Beide bleiben an, auch wenn man den Taster wieder loslässt. Das gleiche passiert, wenn einer der rechten (Aus-)Taster (Sicherheitsschleifen) betätigt wird.

Bei Betätigung des mittleren Tasters wird der linke Transistor gesperrt, da seine Basis und sein Emitter

auf demselben Potential liegen. Über den linken $2,2\text{k}\Omega$ Widerstand erhält der rechte Transistor hohes Potential an seiner Basis, er wird dadurch leitend, die Glühlampe im Kollektorkreis brennt und sein Kollektorpotential beträgt nur noch ca. $0,2\text{ V}$. Dieses Potential wird über den rechten $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand auf die Basis des linken Transistors gegeben, wodurch er sperrt, selbst wenn der Taster wieder losgelassen wird. Die Schaltung ist scharf geschaltet.

Wird der linke Taster betätigt, so entsteht ein negativer Spannungssprung von 9 V , der über die gesperrte Diode (wirkt wie ein Kondensator) und den linken $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand an die Basis des rechten Transistors gelangt. Dieser erhält kurzzeitig nicht mehr genügend Basispotential, um durchgeschaltet zu bleiben: Er sperrt und gibt damit von seinem Kollektor über den rechten $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand hohes Potential auf die Basis des linken Transistors, wodurch dieser leitet und nun seinerseits mit seinem niedrigen Kollektorpotential den rechten sperrt, auch wenn der Taster wieder losgelassen wird. Durch Öffnen eines der beiden rechten Aus-Taster sperrt ebenfalls der rechte Transistor, wodurch derselbe Mechanismus ausgelöst wird.

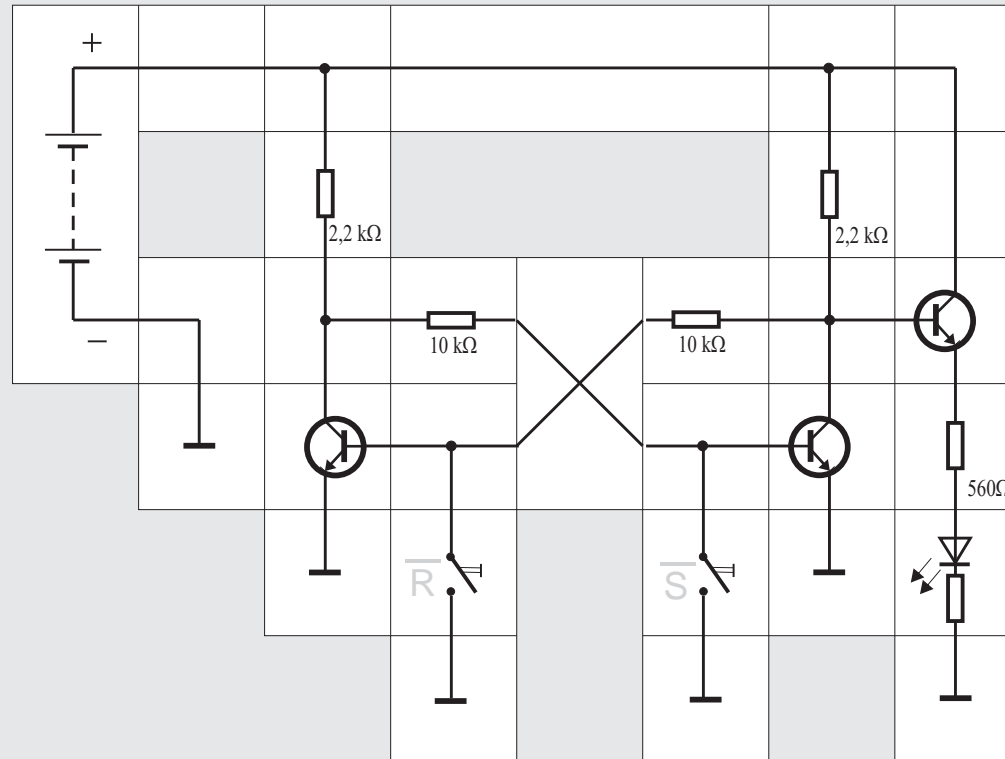
Die Schaltung hat zwei (bi-) stabile Zustände: »Betriebsbereitschaft« und »Alarm ausgelöst«.

Alarmanlagen im Auto

Sieht man in dem Versuch 'Bremsbelag Verschleißanzeige' den dünnen Draht als Sicherheitsschleife an, hat man eine einfache Alarmanlage, die ausgelöst wird, sobald er reißt. Auf diese Weise kann z. B. ein PKW - Anhänger gesichert werden. Statt der Sicherheitsschleife können auch Türkontakte verwendet werden.

In der neuen Schaltung soll die Alarmauslösung durch eine leuchtende LED dargestellt werden, in

27

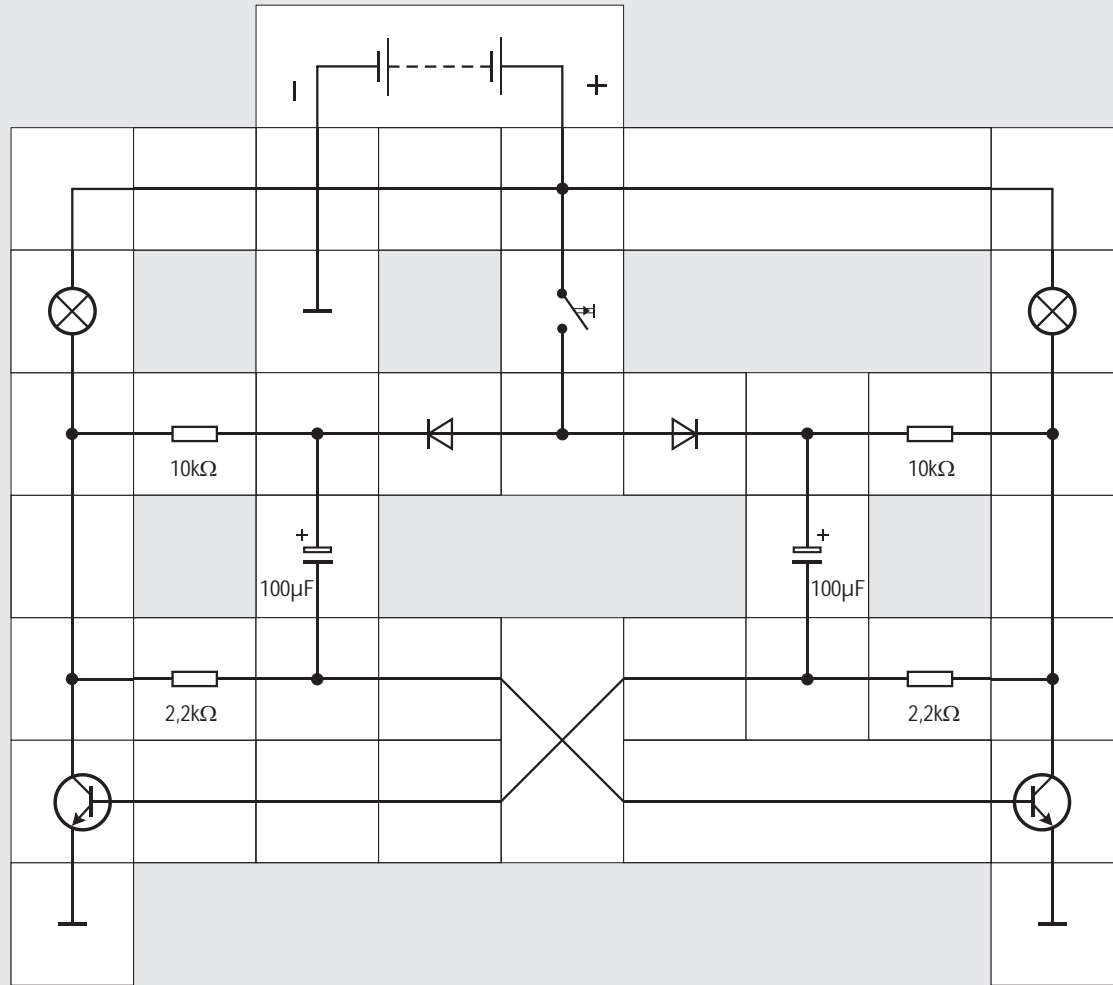




Eine einfache Speicherzelle

Die Grundschialtung des vorigen Versuchs ist eine bistabile Kippstufe, sie kann 1 bit Information (eine Ja / Nein Entscheidung) speichern. Die Speicherzelle besteht normalerweise aus zwei Transistoren in Emitterschaltung, die über Kreuz gekoppelt sind. Der Kollektor des rechten Transistors soll der Ausgang der Speicherzelle sein; das Ausgangssignal (Inhalt der Speicherzelle) wird über einen weiteren Transistor in Kollektorschaltung (siehe Versuch 6) niederohmig zur Verfügung gestellt und mit einer Leuchtdiode angezeigt. Bis auf diese Auskopplung ist die Schaltung symmetrisch aufgebaut. Beim An-

legen der Versorgungsspannung wird ein Transistor leiten, der andere nicht; welcher das sein wird, hängt von den Toleranzen der Bauteile ab. Der leitende Transistor hat an seinem Kollektor die Restspannung $U_{CE} = 0,2 \text{ V}$, welche über den $10 \text{ k}\Omega$ Kopplwiderstand auf die Basis des anderen Transistors gegeben, diesen sperrt. Als Resultat leuchtet die Diode oder sie leuchtet nicht d. h., die Zelle hat entweder eine »1« oder eine »0« zufällig gespeichert. Um definierte Verhältnisse zu schaffen, betätigen wir die rechte Taste, wodurch der rechte Transistor gesperrt wird und die Leuchtdiode aufleuchtet. Leuchtete sie vorher schon, passiert weiter nichts, sie wird nach Tastendruck weiter leuchten. In der Speicherzelle ist nun eine »1« gespeichert, sie ist »gesetzt«. Da wir das durch Betätigen der rechten Taste erreicht haben, heißt diese Taste »Setztaste« (engl. SET); die linke Taste ist entsprechend die »Rücksetztaste« (engl. RESET). Die Kurzbezeichnungen lauten S und R; die Querstriche sind deshalb vorhanden, weil die jeweilige Aktivität mit U_L - und nicht mit U_H - Potential ausgelöst wurde. Wir haben uns also ein RS - Flipflop mit Transistoren aufgebaut, bei dem R und S nicht gleichzeitig logisch »1« sein dürfen, da sonst nach Wegnahme der Signale der Inhalt undefiniert ist. Wir werden nun im nächsten Versuch diese Schaltung etwas abändern.





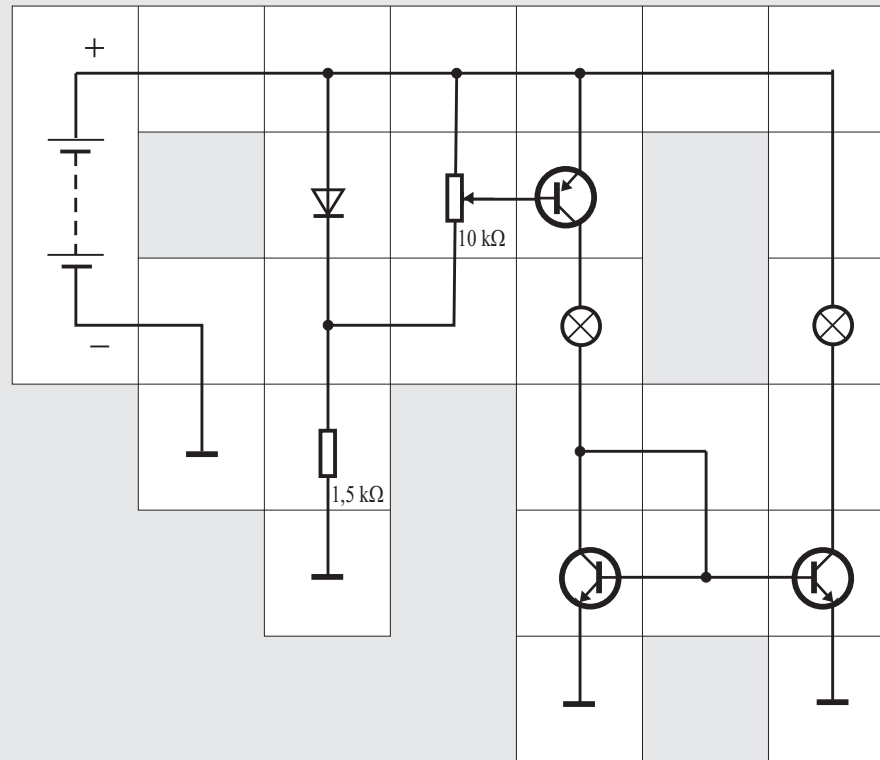
Eine Speicherzelle mit dynamischem Eingang

Damit die Speicherzelle ihren Inhalt wechselt, war es im letzten Versuch erforderlich, immer die passende Taste zu betätigen. Es gibt nun allerdings auch die Möglichkeit, mit Tastendruck einer einzigen Taste die Zelle hin und her zu schalten. Dazu wird die Schaltung mit Dioden und Kondensatoren ergänzt, wie es das Bild des Versuchsaufbaus zeigt. Im Prinzip könnten die beiden \bar{R} und \bar{S} Taster zusätzlich angebracht werden, sie würden wie bisher wirken und wir lassen sie deswegen weg. Beim Anlegen der Spannung wird wieder eine Glühlampe leuchten, welche hängt von den Toleranzen der Bauteile ab. Nehmen wir an, es sei die linke. Dann liegt am Kollektor des linken Transistors ein Potential von 0,2 V, das gleiche Potential liegt auch am Plus-Anschluss des linken Kondensators. Sein Minus-Anschluss liegt an der Basis des rechten (gesperrten) Transistors auf demselben Potential, d. h. der Kon-

densator ist ungeladen. Anders sieht es mit dem rechten Kondensator aus. Sein Plus-Anschluss liegt auf Versorgungspotential, da der rechte Transistor sperrt, sein Minus-Anschluss auf 0,7 V Basispotential des leitenden linken Transistors. Der Kondensator ist nahezu voll geladen.

Betätigt man nun den Taster und legt damit jeweils über die beiden Entkoppeldioden Versorgungsspannung an die Plus-Anschlüsse der Kondensatoren, so passiert bei dem geladenen rechten Kondensator nichts mehr, während in den linken ein kräftiger Ladestrom hinein fließt, der gleichzeitig Basisstrom des rechten Transistors ist und diesen in den leitenden Zustand bringt, wodurch die Schaltung kippt. Der linke Transistor sperrt nun und der rechte leitet, was man an den Glühlampen gut erkennt. Bei einem erneuten Tastendruck spielt sich der ganze Vorgang sinngemäß in der anderen Richtung ab, so dass der Ausgangszustand wieder erreicht wird.

Mit dieser Speicherzelle kann man also die »Betätigungsfrequenz« des Tasters durch zwei teilen, wenn man das Kollektorpotential eines Transistors als Ausgangssignal ansieht. Durch Hintereinschalten mehrerer solcher Stufen ist der Aufbau eines BINÄRZÄHLERS möglich. Die Lectron Experimentierkästen »Digitaltechnik« und »Zähler und Schrittmotor« beschäftigen sich ausführlich mit diesem Gebiet.





Konstantstromquelle mit Stromspiegel

Eine Schaltung, die eine lastunabhängige Spannung liefert, nennt man Konstantspannungsquelle. Häufig braucht man jedoch eine Schaltung, die lastunabhängig einen konstanten Strom liefert: eine KONSTANTSTROMQUELLE.

In der vorliegenden Schaltung bilden die beiden npn - Transistoren einen sog. STROMSPIEGEL. Der linke Transistor ist als Diode geschaltet und hat als Lastwiderstände die Glühlampe und den Germanium pnp - Transistor, dessen Strom über das Potentiometer feinfühlig eingestellt werden kann, wenn man als Diode eine Silizium - Diode verwendet; der rechte Transistor hat als Lastwiderstand nur eine Glühlampe. Sind die beiden Transistoren elektrisch identisch und haben sie die gleiche Temperatur -

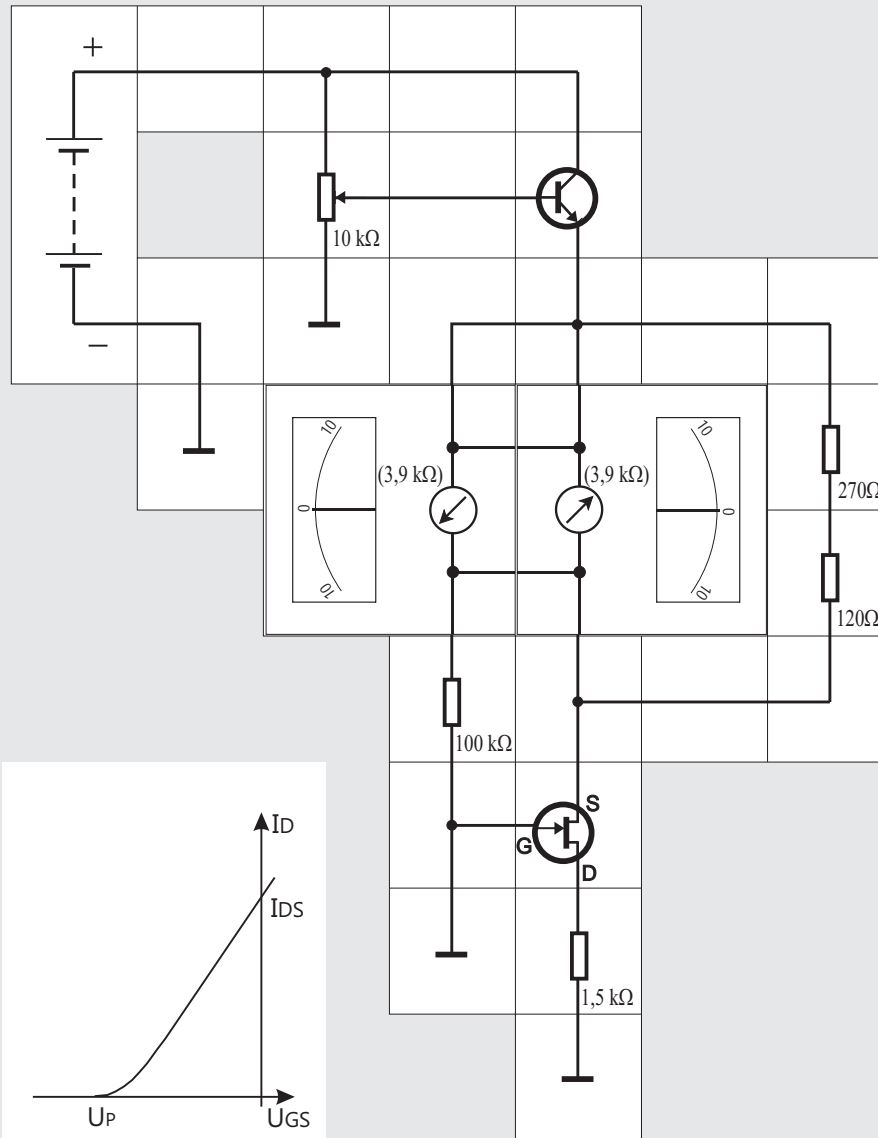
was sich insbesondere bei integrierten Schaltungen einfach realisieren lässt - so ist bei beiden der Kollektorstrom gleich groß, weil beide die gleiche U_{BE} - Spannung haben. Der mit dem pnp - Transistor eingestellte Strom des linken Transistors spiegelt sich auf den rechten Transistor. Man sieht sehr gut, wie sich die Helligkeit beider Lampen gleichmäßig mit der Potentiometereinstellung verändert.

In der Praxis werden die beiden diskret aufgebauten Transistoren, selbst wenn es der gleiche Typ ist, elektrisch nicht identisch sein; durch Einfügen eines niederohmigen Widerstands (unter 10Ω) in die Emittterleitung oder in die Basisleitung (hier dann 47Ω bis 220Ω) eines der Transistoren lässt sich dieser Mangel jedoch kompensieren.

Man kann probeweise den linken Transistor durch eine Silizium - Diode ersetzen und erhält ein ähnliches Ergebnis.

Als Hilfsschaltung für einen veränderbaren Widerstand ist hier eine Anordnung aus Si - Diode und Ge - Transistor eingesetzt: An der Diode fällt die Flussspannung von $U_F = 0,7 \text{ V}$ ab, die durch das Potentiometer herunter geteilt, zur feinfühligigen Einstellung des Kollektorstromes vom Ge - Transistor verwendet wird. Statt der Si - Diode kann man auch eine Leuchtdiode mit $U_F = 1,5 \text{ V}$ und dann einen Silizium pnp - Transistor verwenden.

30





Konstantstromquelle mit Feldeffekttransistor

FELDEFFEKTTANSISTOREN (FETs) sind Halbleiter, die im Gegensatz zu den bipolaren Transistoren nicht mit dem Basisstrom, sondern nahezu leistungslos mit einem elektrischen Feld gesteuert werden. Genauso wie es pnp - und npn - Transistoren gibt, unterscheidet man bei ihnen p - und n - Kanal FETs. Das Gate G ist die Steuerelektrode, mit ihm lässt sich der Widerstand zwischen DRAIN D und SOURCE S steuern. Die Steuerspannung ist U_{GS} . Bei SPERRSCHICHTFETS ist das Gate durch einen pn- bzw. np - Übergang bei richtiger Polung vom Kanal getrennt. Bei MOSFETs isoliert eine äußerst dünne SiO_2 - Schicht das Gate. Bei Sperrschichtfets, wie dem Lectron n - Kanal FET, fließt der größte Drainstrom I_D bei der Spannung $U_{GS} = 0$. Sie werden daher als SELBSTLEITEND bezeichnet. Die Eingangskennlinie ist im Diagramm dargestellt. Eine wichtige Größe ist weiter die SCHWELLENSPANNUNG U_p (pinch - off - voltage);

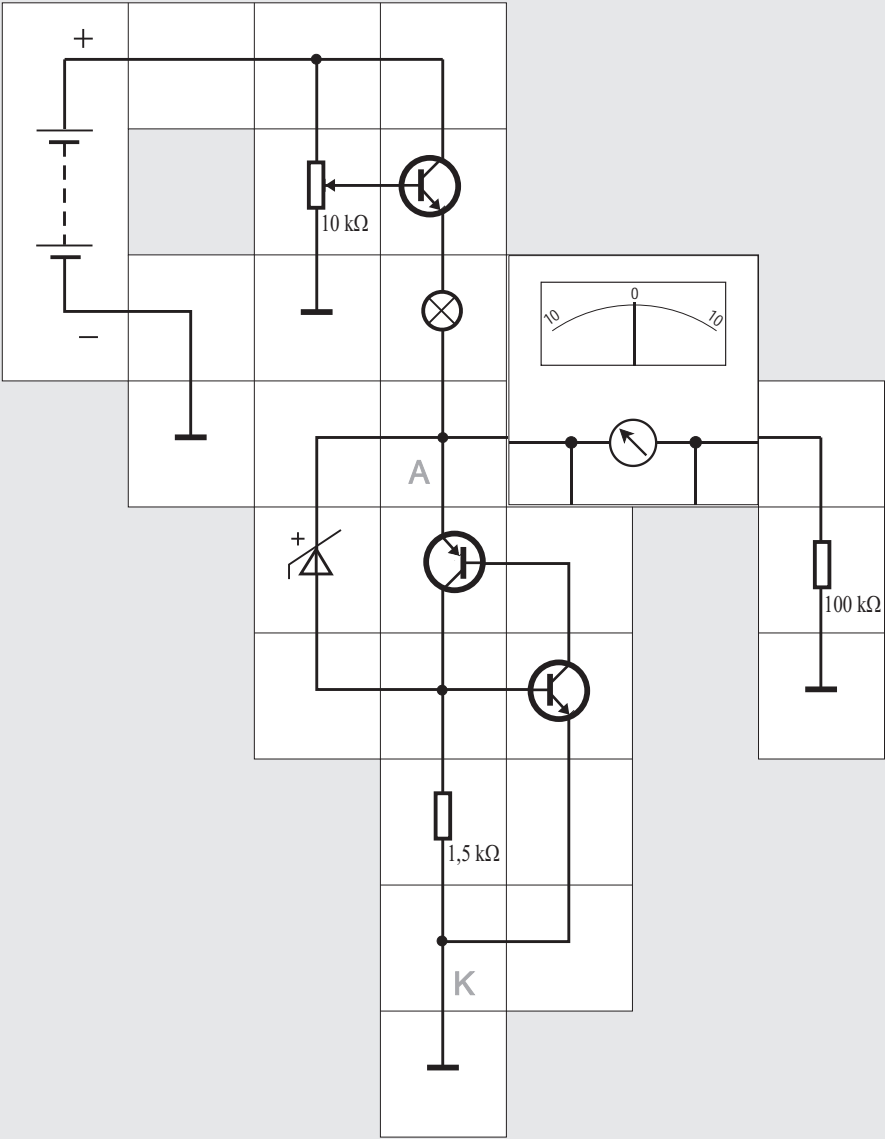
wird sie unterschritten, ist der Kanal gänzlich abgeschnürt und der Drainstrom I_D praktisch 0. Der Lectron FET ist symmetrisch, Drain und Source können deswegen in Schaltungen vertauscht werden; Source ist automatisch der Anschluss mit dem tieferen Potential.

Mit dem Lectron FET lässt sich sehr elegant eine Konstantstromquelle aufbauen. Man benötigt bei selbstleitenden FETs keine zusätzliche Spannung, weswegen die Schaltung ein Zweipol ist und sich anstelle eines jeden beliebigen ohmschen Widerstands einsetzen lässt. Zur Bestimmung von R_S entnimmt man U_{SG} aus der Eingangskennlinie für den gewünschten Strom I_D und erhält mit $R_S = U_{SG} / I_D$ den Widerstand.

In der Schaltung verändert man mit dem Potentiometer die Spannung (rechtes Instrument) am Zweipol; das linke Instrument zeigt den Strom an, der sich ab einer Mindestspannung, die die Stromquelle zum Arbeiten benötigt, nicht mehr erhöht. Hat man nur ein Instrument zur Verfügung, muss wechselweise gemessen und das jeweils andere durch einen 3,9 k Ω Widerstand ersetzt werden. Auch hier wieder der Hinweis auf den Lectron Experimentierkasten »Digitaltechnik«, bei dem sehr ausführlich auf die Eigenschaften von MOSFETs eingegangen wird.



31





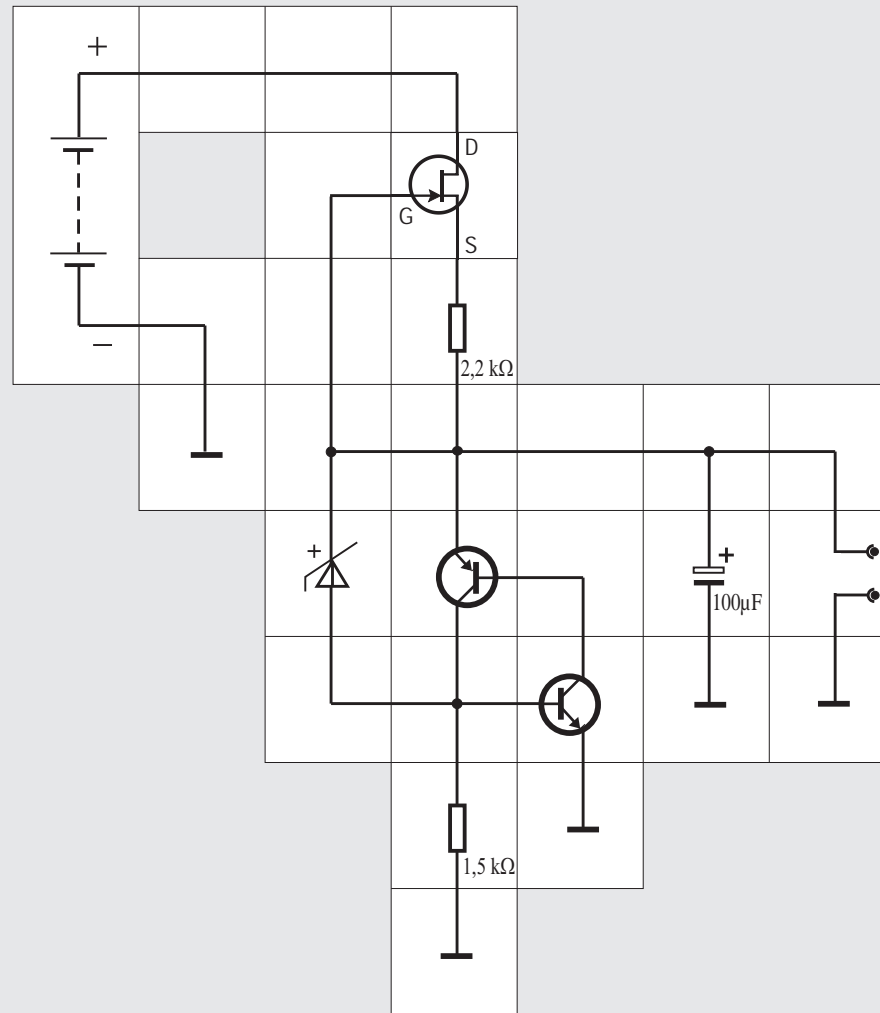
Vierschichtdiode

Im Lectron Baukasten ist keine VIERSCHICHTDIODE enthalten, da sie aber die Grundlage für so wichtige Leistungshalbleiter wie THYRISTOR und TRIAC ist, sollen ihre Eigenschaften an Hand einer Transistorersatzschaltung erklärt werden. Zum Aufbau sind ein Si -

pnp - Transistor und ein Si - npn - Transistor erforderlich. Die Vierschichtdiode ist ein Zweipol mit Anode A und Katode K, bei negativen Spannungen verhält sie sich wie eine normale Diode in Sperrrichtung. Bei positiven Werten von U_{AK} treten zunächst Anodenströme in der Größenordnung des Sperrstroms auf, bis die Zündspannung U_z überschritten wird. Die Diode wird dann schlagartig leitend und ihre Durchlassspannung U_D sinkt auf Werte zwischen 1 und 2 Volt, nahezu unabhängig vom Anodenstrom. Unterschreitet dieser den Haltestrom I_H , löscht sie wieder.

Dreht man die Spannung am Potentiometer von 0 langsam hoch, so kann man am Messinstrument das Verhalten der Diode beobachten, die Spannung steigt ebenfalls, bis die Diode zündet und die Lampe brennt; weiteres Erhöhen der Spannung führt zu einer heller brennenden Lampe. Durch Spannungseniedrigung wird der Haltestrom unterschritten und die Anordnung löscht wieder.

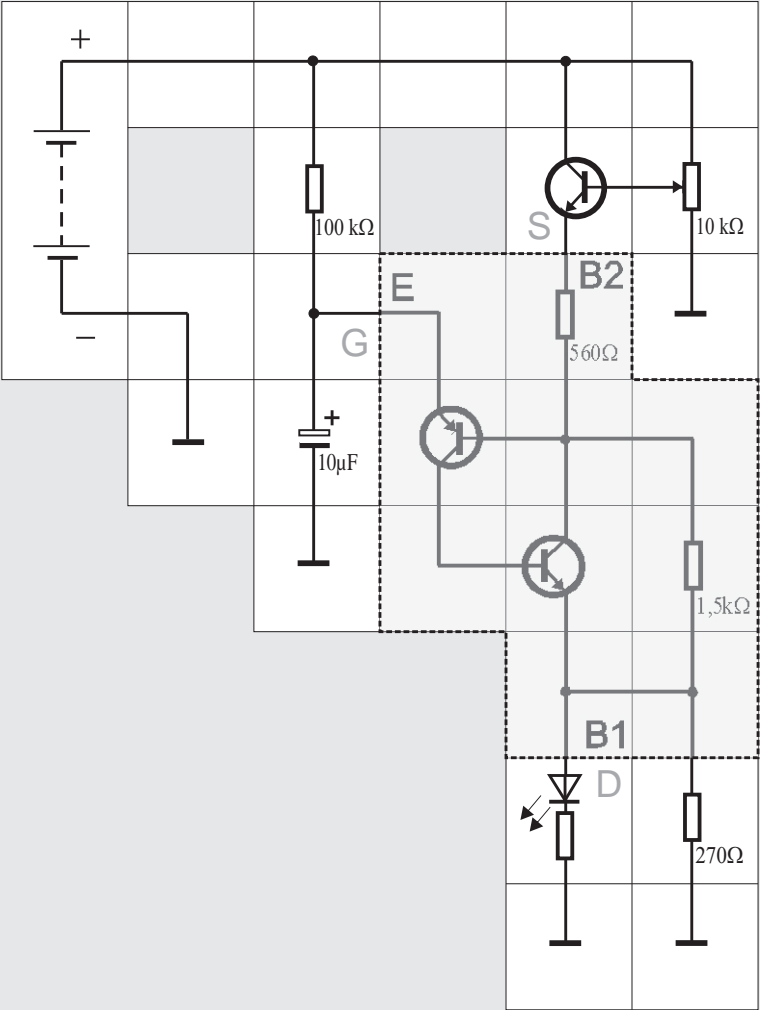
Eine Trigger - Diode verhält sich wie eine Vierschichtdiode, mit dem Unterschied, dass sich die Anodenspannung nach dem Zünden nur um ein paar Volt erniedrigt und bei weitem nicht in Nullpunktnähe springt. Es gibt auch eine symmetrische Trigger - Diode, den DIAC; er wird zum Triggern von symmetrischen Thyristoren, den Triacs, verwendet.





Sägezahngenerator mit Vierschichtdiode

Die Schaltung zeigt die Anwendung einer Vierschichtdiode in einem Sägezahngenerator. Die Konstantstromquelle aus einem selbstleitenden n-Kanal FET und dem $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand lädt den Kondensator mit einem konstanten Strom auf. Seine Spannung steigt proportional mit der Zeit bis zur Zündspannung der «Vierschichtdiode». Wenn diese zündet, springt die Spannung rasch auf kleine Werte, anschließend löscht die Vierschichtdiode wieder und das Spiel beginnt von Neuem. Der Konstantstrom muss kleiner sein als der Haltestrom der Vierschichtdiode, sonst bleibt die Anordnung leitend. Da die Streuungen der verwendeten Transistoren nicht genau bekannt sind, muss gegebenenfalls der $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand variiert werden. Mit einem Digitalmultimeter kann man sich den Sägezahnverlauf der Kondensatorspannung ansehen.





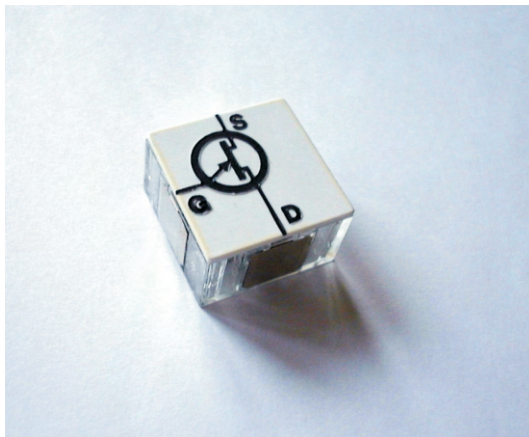
$U_z = \eta U_{B_{1B2}} + 0,6 \text{ V}$; η ist das innere Spannungsverhältnis (INTRINSIC STANDOFF RATIO); es liegt bei käuflichen Typen zwischen 0,5 und 0,9.

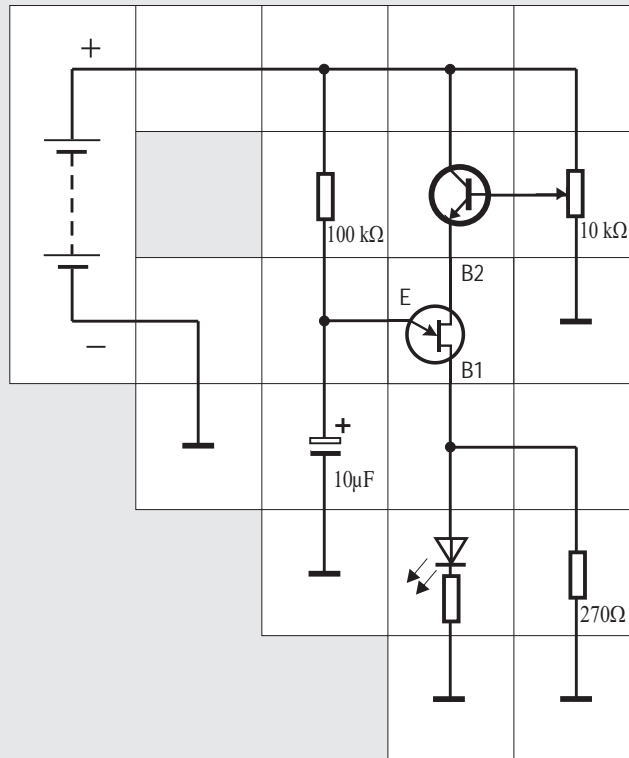
Erhöht man am Emitter (G) langsam das Potential, wird zunächst der pnp - Transistor leitend, es fließt Emitterstrom, der etwa gleich dem Basisstrom vom npn - Transistor ist. Dadurch wird auch dieser leitend und erniedrigt das Basispotential des pnp - Transistors, weil der $1,5 \text{ k}\Omega$ - Widerstand überbrückt wird. Über die Emitter - Basis - Diode des pnp - und die Kollektor - Emitter - Strecke des npn - Transistors können nun große Ströme fließen. Verkleinert man den Emitterstrom so weit, dass der Basisstrom des npn - Transistors nicht mehr ausreicht, um den Transistor selbst in die Sättigung zu bringen, löscht die Anordnung wieder.

Der Unijunction - Transistor eignet sich als Schwellwertschalter mit einstellbarer Zündspannung: In der aufgebauten Schaltung wird der Kondensator über den $100 \text{ k}\Omega$ Widerstand langsam bis zur Zündspannung geladen, dann zündet die Anordnung und entlädt den Kondensator rasch über die LED, die kurz aufblitzt. Ohne den 270Ω Parallelwiderstand leuchtet die Diode bereits durch den Spannungsteilerstrom. Am Potentiometer ist die Zündspannung und damit die Frequenz des Sägezahngenerators in gewissen Grenzen einstellbar.

Der Unijunction - Transistor Ersatzschaltbild

Der UNIJUNCTION - TRANSISTOR besitzt wie der Thyristor eine Vierschichtstruktur mit den zwei Basiselektroden B1 und B2 sowie einer Emittierelektrode E. (Auf älteren Lectron - Bausteinen sind die entsprechenden Elektroden mit S, D und G bezeichnet). Die grau unterlegten Felder zeigen die äquivalente Transistorschaltung. Man erkennt, dass die Anordnung zündet, wenn U_{EB1} circa $0,6 \text{ V}$ über das durch den Spannungsteiler ($560 \Omega / 1,5 \text{ k}\Omega$) und die äußere Spannung $U_{B_{1B2}}$ eingestellte Potential steigt. Zwischen der Zündspannung U_z und der Spannung $U_{B_{1B2}}$ kann man den folgenden Zusammenhang angeben:



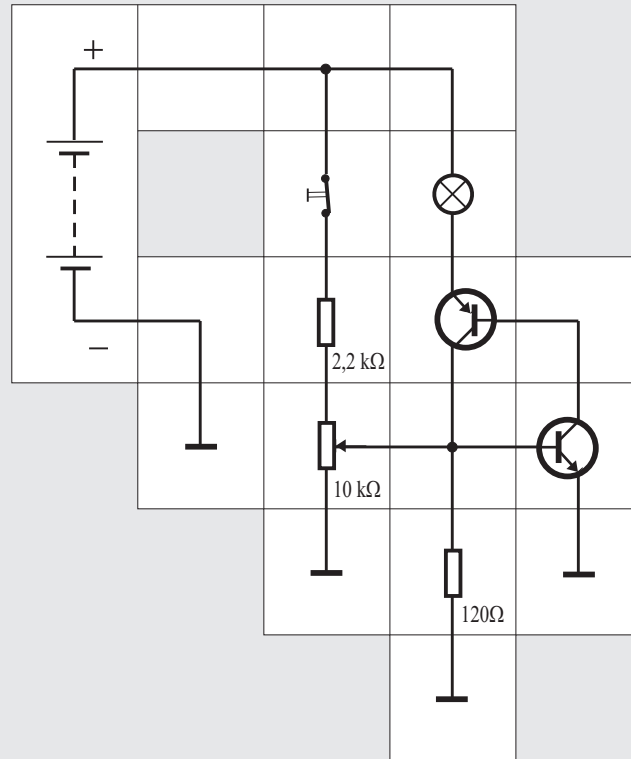




Lectron

Sägezahngenerator mit Unijunction - Transistor

Ersetzt man die Transistor - Widerstandsanordnung durch den Lectron - Unijunction - Transistor, so erhält man die obige Schaltung; sie verhält sich genauso wie die erste Schaltung, so dass keine weiteren Erklärungen nötig sind.



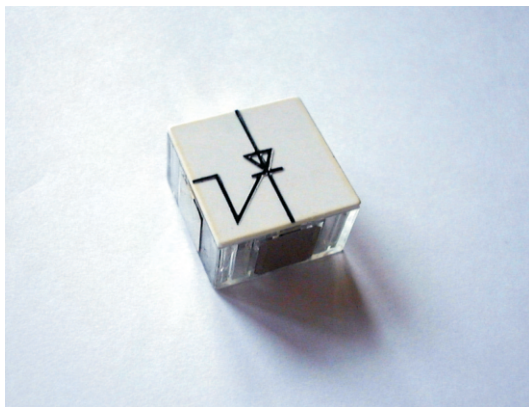


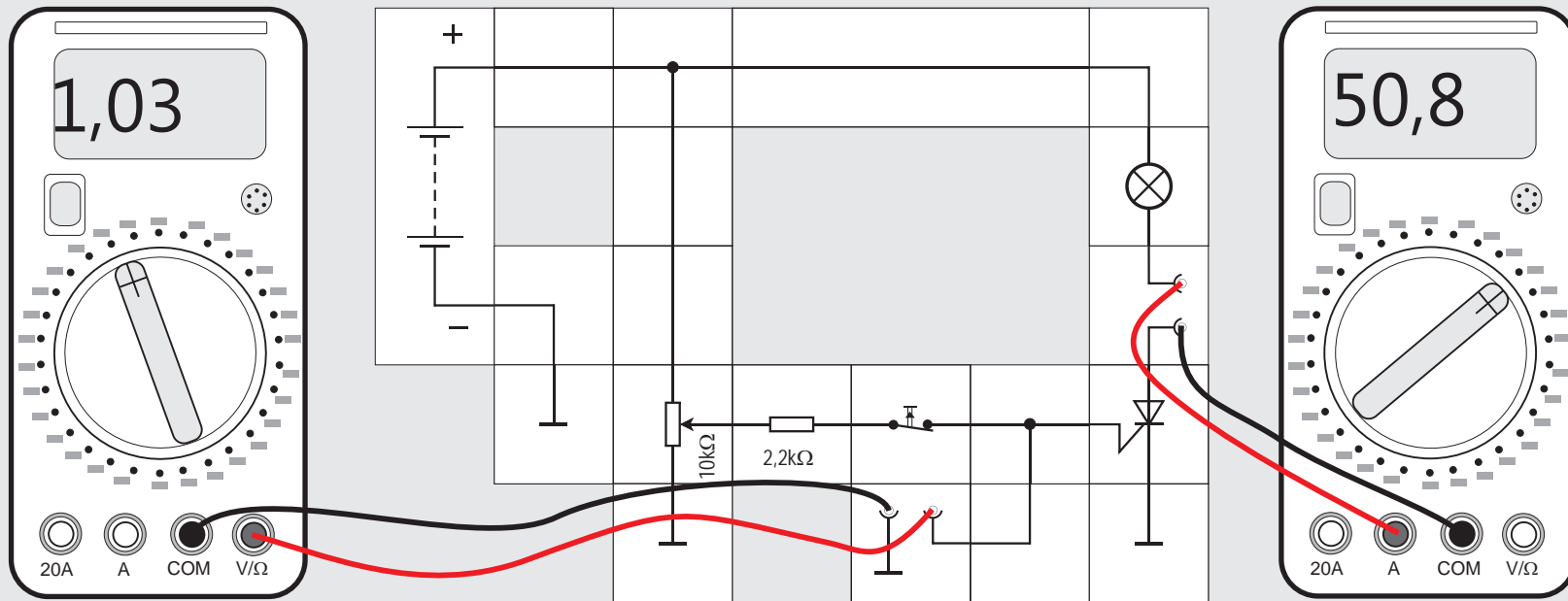
Ersatzschaltbild

Im Versuch ist zunächst eine Transistorschaltung mit den Eigenschaften eines Thyristors aus einem pnp- und einem npn -Transistor aufgebaut. Der Emitter des pnp - Transistors ist die Anode, der des npn - Transistors die Katode, Basis des npn - Transistors das Gate. Bevor man die Versorgungsspannung anlegt, muss das Potentiometer am unteren Anschlag stehen, die Basis - Emitter Spannung des npn - Transistors also 0V betragen, sonst zündet die Anordnung bereits beim Anlegen der Versorgungsspannung. Erhöht man mit dem Potentiometer langsam das Basispotential, so wird bei circa 0,7 V der npn - Transistor leitend und damit auch der pnp - Transistor; durch die gegenseitige Kopplung geschieht das schlagartig, die Glühbirne leuchtet voll auf. Die Ansteuerung ist jetzt nicht mehr nötig, wie man durch Betätigen des Tasters leicht nachweist. Zum Löschen des »Thyristors« muss das Potentiometer wieder ganz in seine Ausgangsstellung zurückgedreht und damit der npn - Transistor seines Basisstroms beraubt werden.

Der Thyristor

Der THYRISTOR ist ein elektronisch steuerbarer Halbleiter mit Gleichrichtereigenschaft. Er wird gelegentlich auch als steuerbarer Gleichrichter (SILICON CONTROLLED RECTIFIER) SCR bezeichnet. Er besteht aus vier hintereinander liegenden Halbleiterschichten. Drei dieser Schichten sind mit Anschlüssen versehen. Die Anschlüsse werden bezeichnet mit Anode (A), Katode (K) und Gate (G). Das Gate (Tor) ist die Steuerelektrode. Liegt der Thyristor in einem Gleichstromkreis (positives Potential an der Anode) und soll durchgeschaltet werden, so ist dafür ein Zündstrom in das Gate notwendig. Wenn der Thyristor einmal gezündet hat (d.h. Strom von der Anode zur Katode fließen lässt), ist keine Steuerungsspannung am Gate mehr notwendig. Der Thyristor sperrt erst dann wieder, wenn die Spannung für einen kurzen Moment unterbrochen wird oder der Anodenstrom einen Mindestwert, den Haltestrom I_H , unterschreitet.







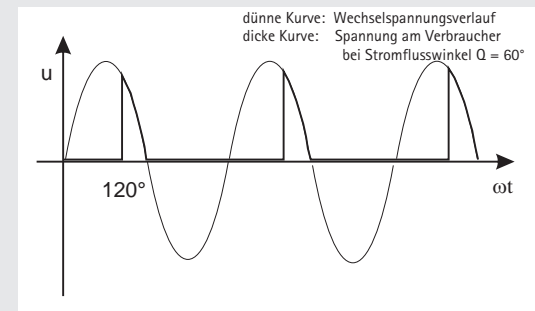
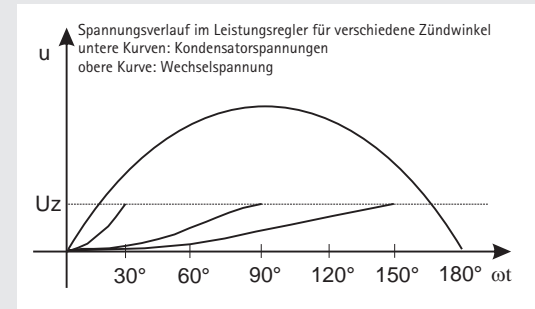
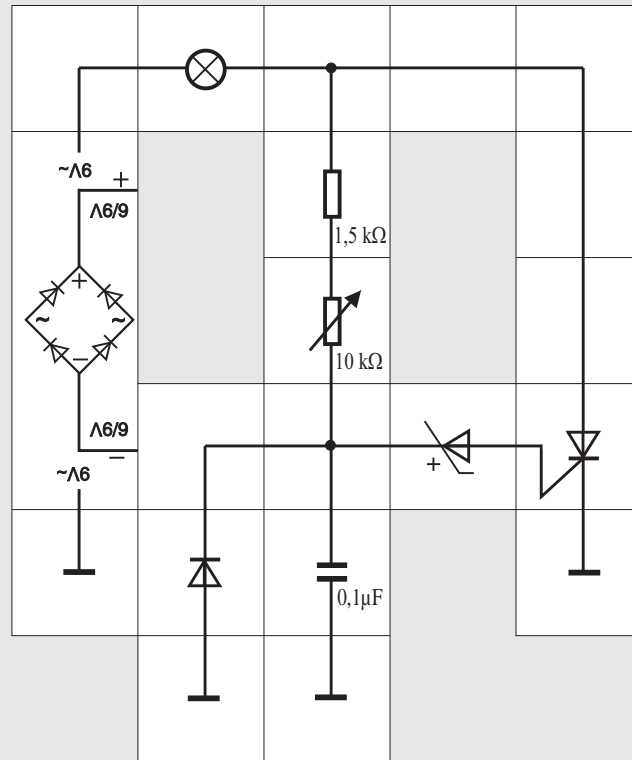
Messungen am Thyristor

Nachdem man die Schaltung mit dem Lectron Thyristor - Baustein aufgebaut hat, kann man den Anodenstrom in Abhängigkeit von der Gatespannung mit Multimetern messen.

Zunächst wird überprüft, ob die Potentiometerausgangsspannung, also die Spannung am Gate, 0V beträgt.

Jetzt erhöht man schrittweise die Spannung am Gate und misst direkt am Gate; die Messergebnisse trägt man in ein Diagramm (Anodenstrom als Funktion der Gatespannung) ein. Wenn man den Strom durch den Thyristor in Abhängigkeit von der Gatespannung in das Schaubild eingezeichnet hat, wird man erkennen, dass der Thyristor (fast vom Typ unabhängig) erst ab einer bestimmten Spannung gezündet wird. Der Strom der dann fließt, ist durch Ändern der Gatespannung (anders als beim Transistor) nicht mehr zu beeinflussen.

Der Versuch hat gezeigt: Ein Thyristor hat im Gleichstrombetrieb nur eine Schaltfunktion und kann keinen Strom regeln. Er hat nur zwei Zustände, gesperrt oder leitend. Einmal gezündet, kann der Stromfluss nur durch Abschalten der Spannung oder durch Unterschreiten des Haltestromes I_H unterbrochen werden.





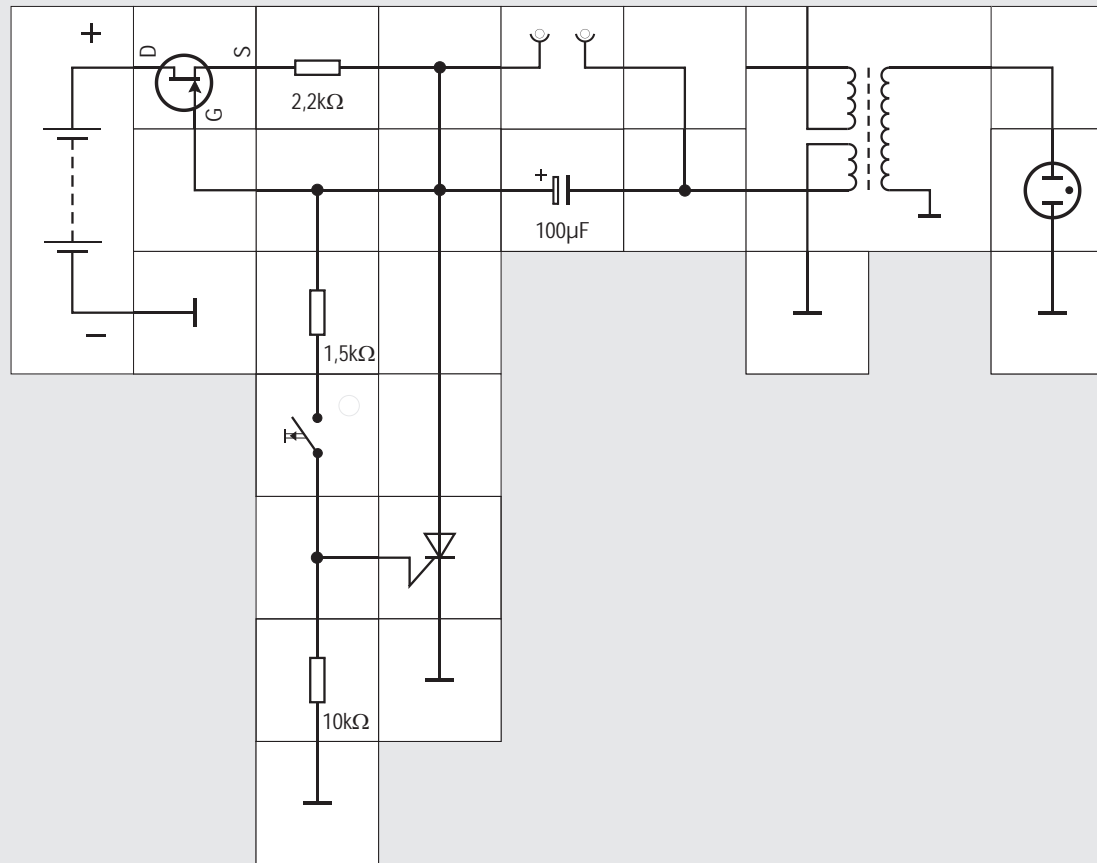
lerdings ist hier in der Lectron Schaltung die normalerweise verwendete sog. TRIGGERDIODE durch eine Zenerdiode ersetzt. Die zum Kondensator parallel geschaltete Diode dient beim Betrieb am Netz zum Schutz der Gate - Katoden - Diode des Thyristors und ist bei der Kleinspannung nicht unbedingt nötig. Die Schaltung funktioniert folgendermaßen: Bei der positiven Sinushalbwelle wird der Kondensator über den Widerstand und den einstellbaren Widerstand aufgeladen. Über die Zenerdiode (Triggerdiode) erhält der Thyristor einen positiven Impuls auf sein Gate, wenn die Spannung am Kondensator die Zenerspannung plus die Zündspannung des Thyristors überschreitet. (An der normalerweise verwendeten Triggerdiode fällt nach dem Zünden eine kleinere Spannung ab, so dass im Zündaugenblick kurzzeitig ein hoher Entladestrom auftritt, der ein sicheres Zünden des Thyristors gewährleistet). Die Spannung über dem Thyristor wird dann sehr klein und an der Glühlampe tritt die volle Spannung des Netzgerätes auf. Der Thyristor löscht beim Nulldurchgang der Wechselspannung wieder und bleibt während der negativen Halbwelle gesperrt.

Stellt man den veränderbaren Widerstand auf Null, so ist die Spannung am Kondensator praktisch in Phase mit der Wechselspannung und der Spannung am Thyristor; die Zenerdiode »zündet« dann kurz

nach jedem positiven Nulldurchgang. Stellt man jedoch größere Widerstände ein, wird der Kondensator langsam aufgeladen und die Zenerdiode »zündet« später. Wählt man den Widerstand so groß, dass die Kondensatorspannung den Zündwert erst erreicht, wenn die Wechselspannung fast wieder auf Null gesunken ist, wird der Thyristor sehr spät leitend und die Glühbirne glimmt nur noch schwach. Die Diagramme zeigen die Verhältnisse für verschiedene Zündwinkel. Die Spannung an der Glühlampe springt im Zündaugenblick von Null auf den jeweiligen Wert der Wechselspannung; die Leistungsregelung besteht also darin, sie periodisch ein- und auszuschalten, wobei der Vorteil gegenüber einer Regelung mit Vorwiderstand darin besteht, dass die Verluste im Thyristor nur dann entstehen, wenn er leitet und sie darüber hinaus noch sehr klein sind. Nachteilig ist lediglich, dass nur während der positiven Halbwelle der anliegenden Wechselspannung ein Verbraucherstrom fließt. Dies lässt sich beheben, wenn man zwei dieser Schaltungen zu einem Vollweg - Leistungsregler zusammen schaltet. Eleganter ist es allerdings, statt der Triggerdiode einen Diac und statt des Thyristors einen Triac zu verwenden, zwei Halbleiterbausteine, die die symmetrische Ausführung von Triggerdiode bzw. Thyristor darstellen.

Einweg - Leistungsregler

Die Schaltung zeigt einen Einweg - Leistungsregler, wie er auch für Netzspannung verwendet wird. Al-



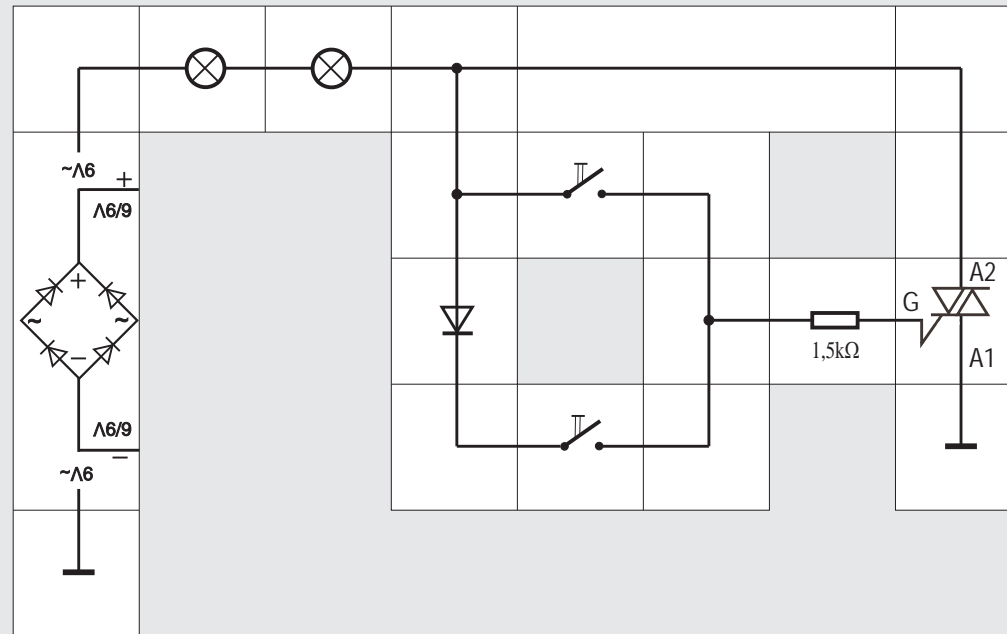


Hochspannungskondensatorzündung

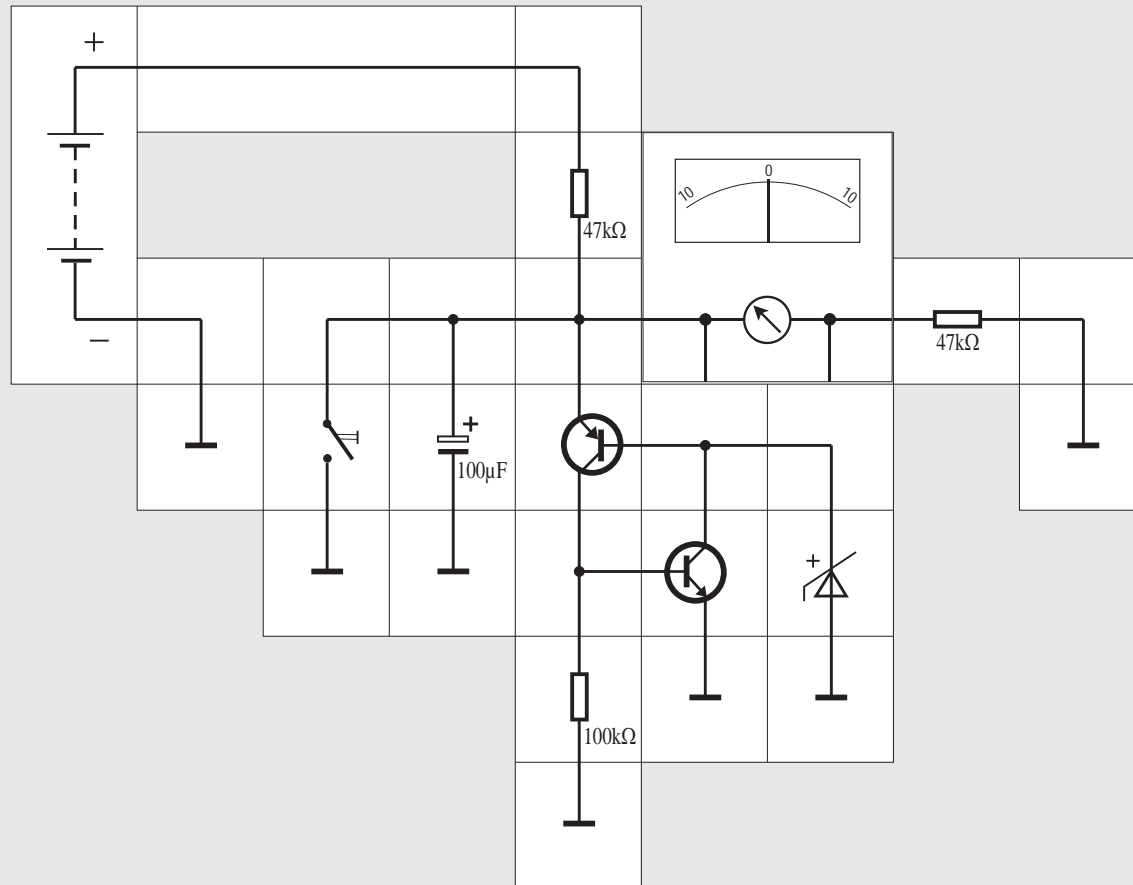
Thyristoren werden in der Kraftfahrzeugtechnik als elektronische Schalter bei der Hochspannungskondensatorzündung eingesetzt, deren wesentliches Merkmal ist, dass die Zündenergie im elektrischen Feld eines Kondensators gespeichert wird. Der Speicherkondensator wird von einer Ladeeinrichtung mit Ladestromimpulsen aufgeladen. Man unterscheidet dabei die Einzel- und Mehrimpulsaufladung. Im Zündzeitpunkt wird er dann über den elektronischen Leistungsschalter, den Thyristor und die Primärwicklung eines Hochspannungstrafos entladen. Der Entladestrom induziert in der Sekundärwicklung eine Hochspannung, die an die Zündkerzen weitergeleitet wird. Die Gleichspannung aus der Kraftfahrzeugbatterie wird im Ladeteil des Schaltgerätes auf ca. 400 Volt angehoben, damit eine ausreichende Energiespeicherung gewährleis-

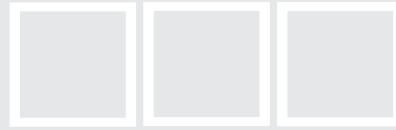
tet ist. Die Spannungsfestigkeit des Thyristors muss größer als 400 V sein. Der Thyristor wird über das Steuerteil angesteuert. Im Zündzeitpunkt gibt der Steuerteil einen Steuerimpuls an das Gate des Thyristors. Der Thyristor schaltet durch, der Entladestromkreis für den Kondensator wird geschlossen, und es fließt ein rasch abklingender Strom über die Primärwicklung der Zündspule. Unterschreitet der Primärstrom einen gewissen Mindestwert, den Haltestrom, kehrt der Thyristor selbsttätig in den Sperrzustand zurück, und der Kondensator kann über das Ladeteil für den nächsten Zündimpuls erneut geladen werden.

In dem Versuchsaufbau soll nicht die gesamte Funktion der Hochspannungskondensatorzündung, sondern nur ein spezielles Anwendungsbeispiel des Thyristors aufgezeigt werden. Der Kondensator wird hier über eine FET - Konstantstromquelle auf Batteriespannung geladen; die Kondensatorspannung kann mit dem Digitalmultimeter angezeigt werden. Durch Betätigen des Tasters erhält der Thyristor einen Zündimpuls und der Kondensator entlädt sich schlagartig über ihn und die Primärwicklung des Hochspannungstrafos. Eine an die Sekundärwicklung angeschlossene Glimmlampe blitzt kurz auf und zeigt dadurch an, dass über 70 V erzeugt wurden.



40





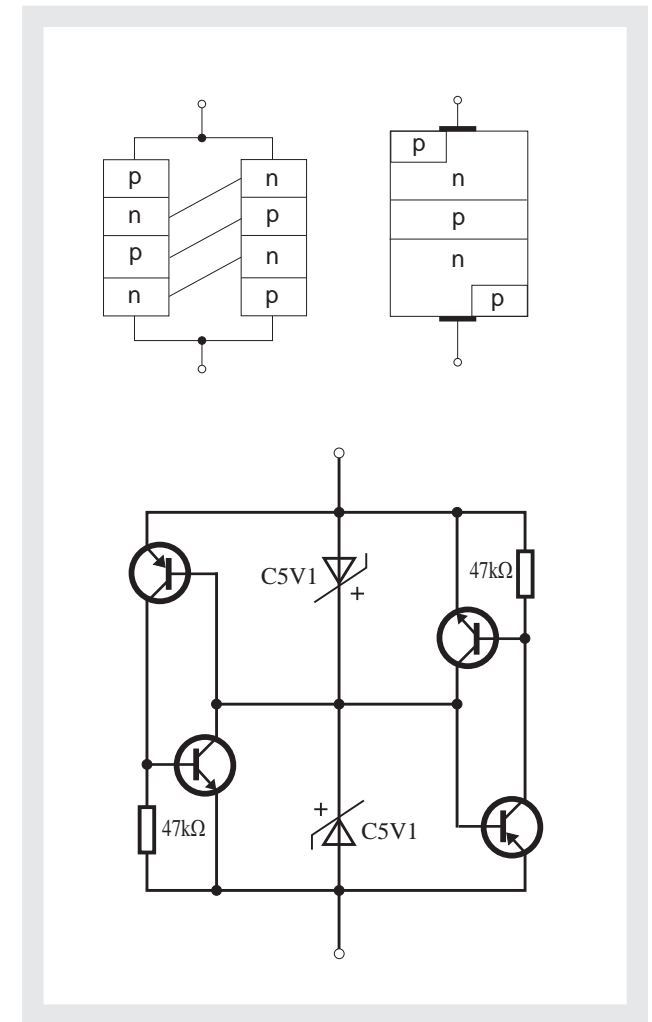
hohen Spannungen experimentieren wollen, können wir handelsübliche Diacs nicht einsetzen. Wir verwenden stattdessen eine Zweirichtungs - Thyristerdioden, die bei Spannungen unter 10 V zündet. Vom Prinzip her ist sie eine Antiparallelschaltung von zwei Thyristordioden. Im Versuch haben wir das Ersatzschaltbild einer solchen Diode aus zwei Transistoren, einer Zenerdiode und einem Widerstand aufgebaut.

Nach dem Anlegen der Spannung lädt sich der Kondensator langsam auf, was am Messinstrument (Vollausschlag 5 V) beobachtet werden kann. Wird die Zenerspannung $+ U_{BE}$ erreicht, leitet die Zenerdiode und es fließt Strom durch den pnp-Transistor. Sein Kollektorstrom bringt den npn-Transistor in den leitenden Zustand, der wiederum den Basisstrom durch ersteren Transistor aufrecht erhält und weiter die Zenerdiode überbrückt. Der Übergang erfolgt schlagartig. Die an der ganzen Anordnung abfallende Spannung liegt dann im Bereich von 1 V. Löschen lässt sich die Anordnung mit dem Taster; es wird dann der Haltestrom I_H unterschritten. Der 100kΩ Widerstand leitet mögliche Restströme ab. Da inzwischen auch dieser bidirektionale Schalter im Handel schwer erhältlich ist, enthält der Lectron Diac - Baustein die abgebildete aus 8 Bauelementen aufgebaute Ersatzschaltung.

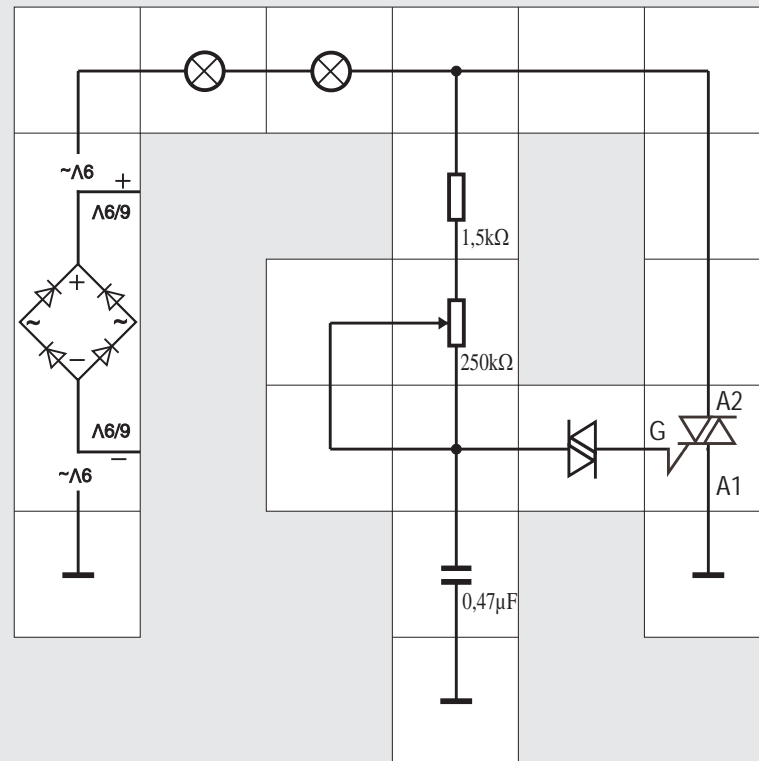
Der Diac

Zur Ansteuerung des Triacs gibt es ein ebenfalls neu entwickeltes Bauelement, den DIAC. Er ist symmetrisch aufgebaut und hat Schaltereigenschaften: Der Übergang vom hoch- in den niederohmigen Zustand erfolgt bei der Durchbruchsspannung U_{BO} . Wird die Haltespannung U_H unterschritten, kippt er wieder in den hochohmigen Zustand zurück. Da er symmetrisch aufgebaut ist, erfolgt das Kippen bei beiden Stromrichtungen. U_{BO} handelsüblicher Diacs liegt bei 32 V, im leitenden Zustand fallen circa 26 V an ihm ab. Die beim Kippen frei werdende Energie dient als Zündimpuls für den Triac, der dann die 230V Netzspannung schaltet. Beim nächsten Nulldurchgang der Wechselspannung sperren Diac und Triac wieder von selbst.

Da wir beim Lectron Baukasten nicht mit derart



41



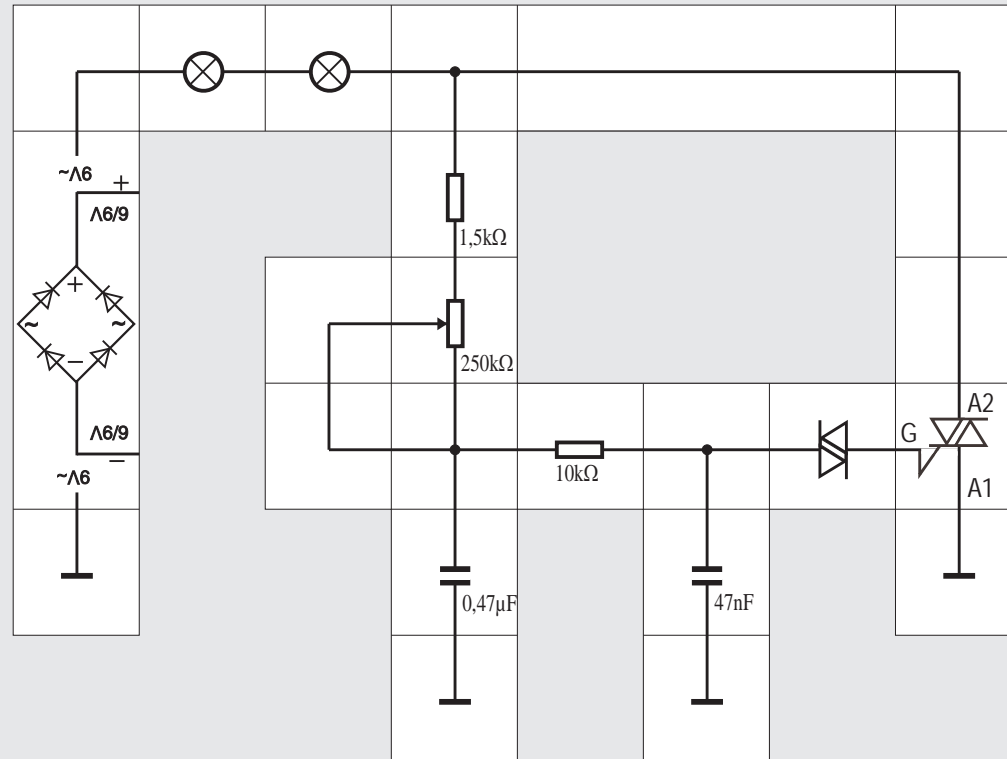


Eine Dimmerschaltung

Wir sind nun in der Lage, mit dem Lectron Diac eine Dimmerschaltung aufzubauen, die mit der Kleinspannung aus dem Netzgerät genauso funktioniert wie eine an 220 V. Wir nehmen als Last wieder zwei

Glühlampen und können am 250 k Ω Potentiometer ihre Helligkeit einstellen. In Abhängigkeit von der Schleiferstellung wird der 0,47 μ F Kondensator verschieden schnell auf die Zündspannung des Diacs geladen; wenn dieser zündet, entsteht ein Zündimpuls für den Triac, der die Glühlampen an die Wechselspannung legt. Passiert dies erst nahezu am Ende der positiven oder negativen Halbwelle der Wechselspannung, so erhalten die Glühlampen nur noch wenig Energie, denn beim folgenden Nulldurchgang löschen Diac und Triac von selbst wieder. Ist der Widerstand des Potentiometers dagegen klein, so wird nach dem Nulldurchgang schnell die Zündspannung des Diacs erreicht und die Lampen erhalten nahezu die gesamte Energie, die während einer Halbwelle vom Netzgerät zur Verfügung gestellt wird.

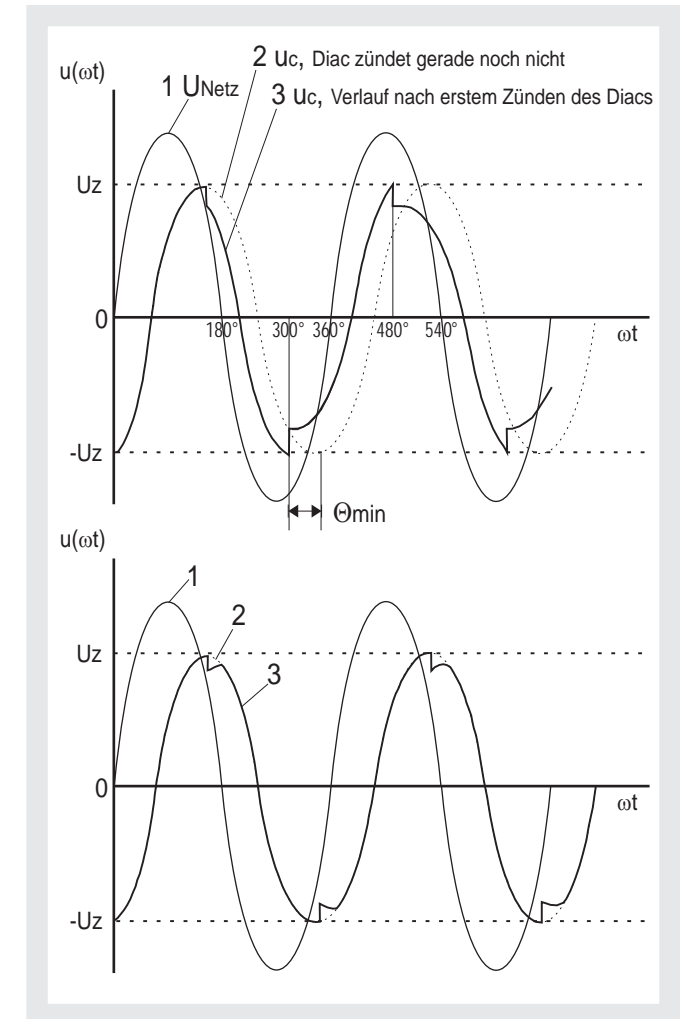
Triacs und Thyristoren erzeugen beim Zünden sehr steile Spannungssprünge, die wegen ihres Oberwellengehalts bis ins Mittelwellengebiet reichen. Wir können dies mit einem Radio, bei dem im Mittelwellenbereich kein Sender eingestellt ist, nachweisen: Beim Betrieb unserer Schaltung entstehen beträchtliche Störungen, die sich als Knattern bemerkbar machen. In der Praxis sind deswegen solche Schaltungen immer mit einem LC - Filter versehen, das diese Störungen unterdrückt.

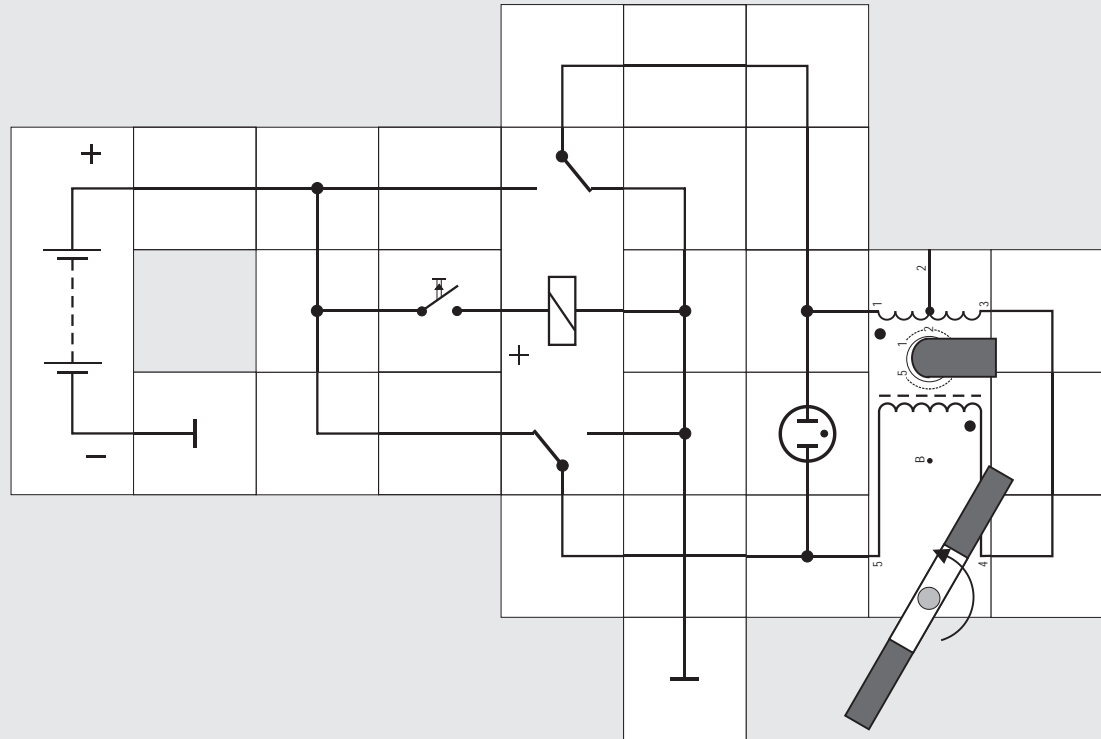


Eine verbesserte Dimmerschaltung

Vielleicht haben wir beim vorigen Versuch bemerkt, dass es nicht möglich war, die Schaltung mit kleinen Stromflusswinkeln Θ einzuschalten, die Helligkeit der Glühlampen also von Null aus kontinuierlich zu steigern. Leuchten die Lampen erst einmal, so lassen sie sich allerdings in ihrer Helligkeit kontinuierlich wieder auf Null zurück drehen. Dieser häufig störende Effekt wird als SCHALTHYSTERESE bezeichnet. Er kommt folgendermaßen zustande: Ist mit dem Potentiometer ein großer Widerstandswert eingestellt, so zündet der Diac nicht; verkleinert man den Widerstand, so ist der Kondensator kurz vor dem Nulldurchgang auf U_z aufgeladen und

der Diac zündet. Dadurch sinkt die Spannung am Kondensator schlagartig um ΔU ab, was zur Folge hat, dass die Kondensatorspannung u_c im weiteren Verlauf zu negativeren Werten verschoben ist (siehe obere Abbildung) und die Zündspannung $-U_z$ viel früher erreicht wird. In der folgenden Halbwelle geschieht das Gleiche, so dass es nicht möglich ist, die Schaltung mit kleinen Stromflusswinkeln einzuschalten: Nach dem ersten Zünden springt der Stromflusswinkel gleich auf 60° mit der entsprechenden Leistung an den Lampen. Eine kleinere Leistung kann erst nach dem ersten Zünden durch Vergrößern des Widerstandes eingestellt werden. Die Hysterese wird stark verkleinert, wenn man dafür sorgt, dass der Kondensator die nach dem Zünden des Diacs entzogene Ladung sofort wieder bekommt. Dies lässt sich mit einem zusätzlichen RC-Glied bewerkstelligen. In der erweiterten Schaltung erniedrigt sich die Spannung u_c beim Zünden des Diacs nach wie vor um ΔU . Nach dem Löschen des Diacs gleicht sich die Spannung an beiden Kondensatoren allerdings wieder aus. Wählt man den ersten Kondensator größer als den zweiten, erreicht u_c fast wieder den alten Wert und man kann die Schaltung mit kleinen Stromflusswinkeln einschalten. Die Leistung lässt sich nahezu kontinuierlich von Null an einstellen (untere Abbildung).







Lectron

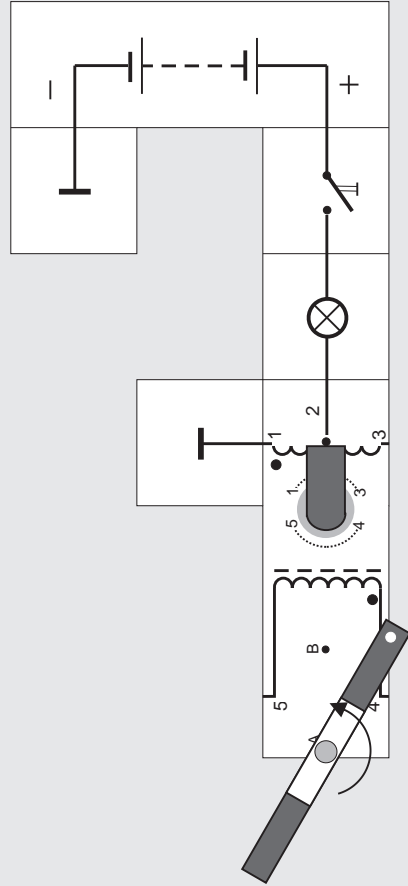
Das Magnetfeld einer Spule

Lässt man durch einen Draht einen Strom fließen, so bildet sich um ihn herum ein kreisförmiges magnetisches Feld; dieses Feld ist umso stärker je stärker der Strom ist. Man kann jedoch schon mit relativ kleinen Strömen starke magnetische Felder erzeugen, indem man aus dem Draht eine Spule wickelt. Der Lectron Spulenbaustein enthält zwei Spulen mit 2000 bzw. 4000 Windungen; schaltet man sie hintereinander, wobei der Wicklungssinn zu beachten ist (Anfang der Spule ist jeweils mit einem Punkt gekennzeichnet) und schickt einen Strom durch sie hindurch, so bildet sich ein magnetisches Feld, dessen einer Pol zur Grundplatte und dessen anderer Pol nach oben gerichtet ist. Steckt man das Stück Weicheisen in die Spulenöffnung, so lässt sich bei Stromdurchfluss mit der FELDLINIENPLATTE ein magnetisches Feld nachweisen: Das Weicheisen selbst wird magnetisiert und es bilden sich Pole an den Enden des Eisenkerns aus, hier ist das Feld am dichtesten. Verdreht man den Weicheisenkern um 90° und lagert den drehbaren Stabmagneten in der Bohrung A, so richtet sich einer der Pole auf den



Weicheisenkern aus. Der Stabmagnet dreht sich um 180° , wenn die Stromrichtung und damit die Polung des aus Spule und Weicheisenkern bestehenden Elektromagneten geändert wird. Dafür lassen sich gut die Relaisumschalter einsetzen. Beim Umschalten blitzt jeweils eine der Elektroden der parallel zur Spule liegenden Glimmlampe kurz auf und zeigt damit an, dass relativ hohe Spannungen (größer 70 V) beim Abschalten auftreten: Beim Einschalten der Spule wird – wie gezeigt – ein Magnetfeld aufgebaut, das beim Abschalten wieder zusammenbricht und versucht, den ihn erzeugenden Strom aufrechtzuerhalten; ohne die Glimmlampe würde eine so hohe Spannung im Schalter entstehen, dass es zum Überschlag käme, die Glimmlampe begrenzt diese INDUKTIONSSPANNUNG auf ihre Zündspannung. Die Induktionsspannung ist von der Polarität genau entgegengesetzt zu der ursprünglich anliegenden Spannung gerichtet; man kann das an der Glimmlampe erkennen, da bei ihr immer der Pol mit niedrigem Potential leuchtet.

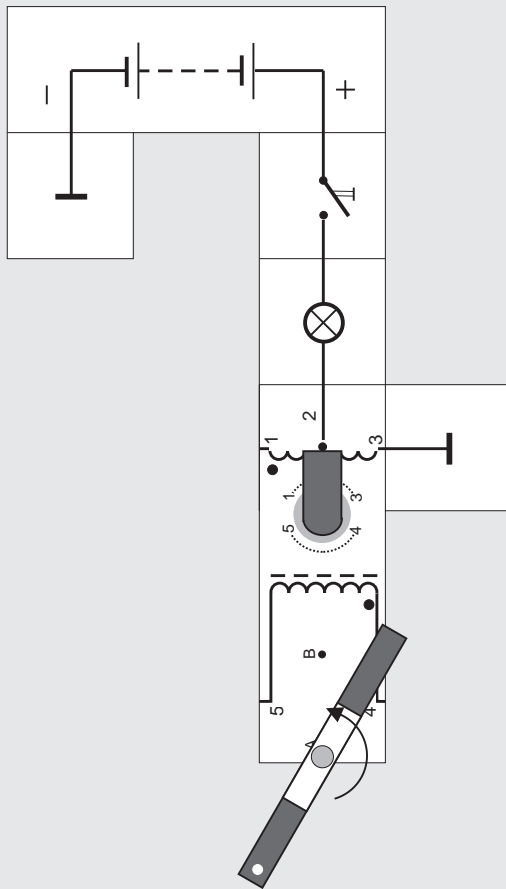
Durch Betätigen des Tasters immer gerade im »richtigen« Augenblick kann man versuchen, den Stabmagneten kontinuierlich in eine Richtung zu drehen. Wir werden später noch einen Motor nach diesem Prinzip aufbauen, bei dem das Umschalten selbsttätig durch den Rotor erfolgt.





Die Pole eines Elektromagneten

Der vorige Versuch ergab, dass man mit einer stromdurchflossenen Spule einen Elektromagneten erhält. In einem weiteren Versuch soll nun geklärt werden, welche Polarität der Elektromagnet hat. Dazu lässt man in der Versuchsanordnung einen Strom durch die eine Spulenhälfte nach »links« fließen, indem man den Massebaustein an die linke Spulenseite legt. Die Glühlampe dient zur Strombegrenzung. Bei der angegebenen Polung wird der drehbare Dauermagnet sich mit seinem Nordpol zur Spulenöffnung drehen: Die Spule hat also oben einen Südpol ausgebildet, da sich ungleichnamige Pole anziehen.

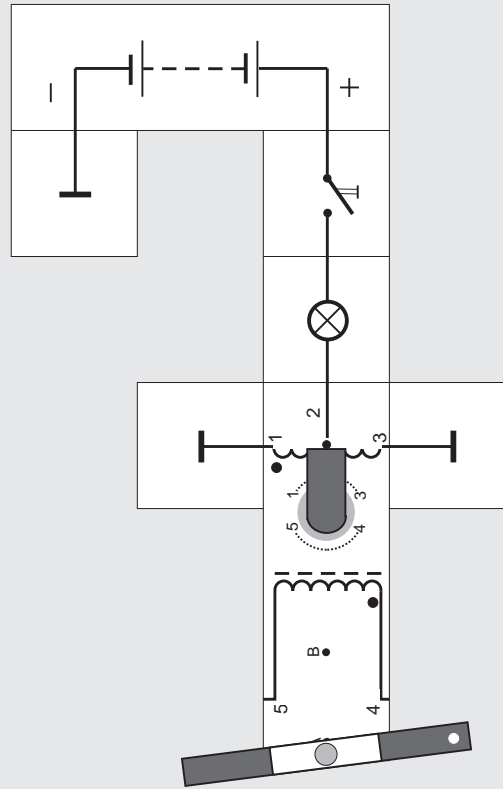




Polabhängigkeit von der Stromrichtung

Legt man nun den Massebaustein rechts an die Spule, so wird die andere Spulenhälfte vom Strom durchflossen; der Richtungssinn hat sich dabei verändert. Betätigt man den Taster, so stellt sich der Südpol des drehbaren Dauermagneten zur Spulenöffnung. Die Feldrichtung des Elektromagneten und damit seine Pole sind also davon abhängig, in welcher Richtung der Strom durch die Spule fließt.

46

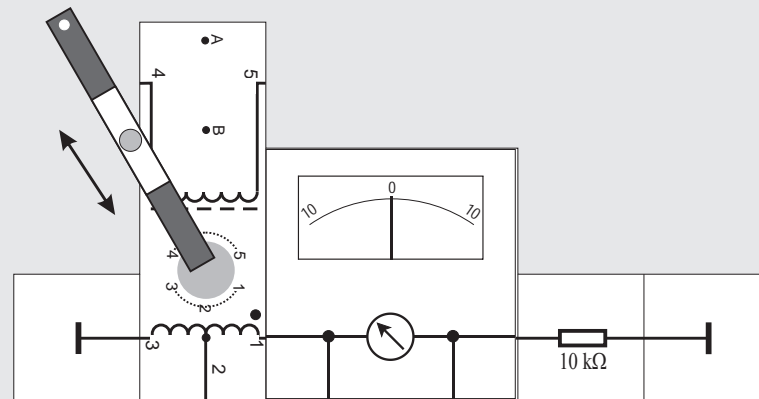




Addition von Magnetfeldern

Legt man bei der Spule an beide Seiten Massebausteine, so werden bei Tastendruck beide Spulenhälften vom Strom durchflossen und bilden jeweils ein eigenes Magnetfeld aus. Da die beiden Stromrichtungen in den Spulenhälften aber gegeneinander gerichtet sind, sind es auch die beiden erzeugten Teilfelder. Sie kompensieren sich, so dass höchstens noch auf Grund von Unsymmetrien der Spule ein ganz schwaches Feld übrig bleibt; der drehbare Dauermagnet wird sich nicht mit einer bestimmten Seite der Spulenöffnung zuwenden.

47





Lectron

Spannungserzeugung mit einer Spule

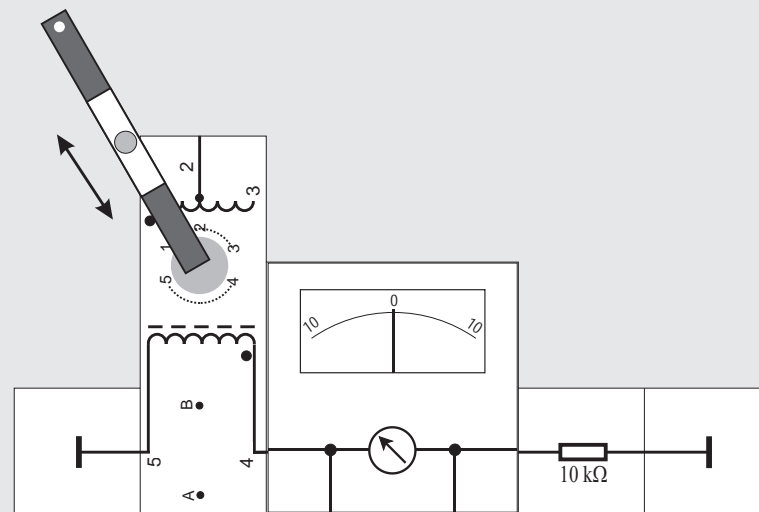
Die Versuche zeigten, dass Ströme (also bewegte Ladungsträger) durch eine Spule Magnetfelder erzeugen; dieses Prinzip gilt auch umgekehrt. Erzeugt man in einer Spule ein Magnetfeld, so entsteht an den Enden der Spule eine Spannung und es fließt ein Strom, wenn der Stromkreis geschlossen ist.

Zunächst baut man die Schaltung mit der Spule auf, die 2000 Windungen hat, als empfindlicher Strommesser dient das Lectron Messinstrument.

Führt man den Stabmagneten in die Spulenöffnung ein, wird man bemerken, dass das Instrument ein wenig ausschlägt und wieder auf Null zurückgeht. Reißt man den Magneten nun so schnell wie möglich aus der Spulenöffnung heraus, zeigt das Messinstrument einen INDUKTIONSSSTROM von 3 bis 4 Skalenteilen in entgegengesetzter Richtung an, bevor es wieder auf Null geht. Eventuell muss der Widerstandswert angepasst werden.

Die Höhe des Stromes ist offensichtlich abhängig von der Geschwindigkeit, mit der sich das Magnetfeld im Inneren der Spule ändert, die Richtung der erzeugten Spannung und damit auch die des Stromes hängt davon ab, ob man den Süd- oder den Nordpol in die Spulenöffnung steckt.

48





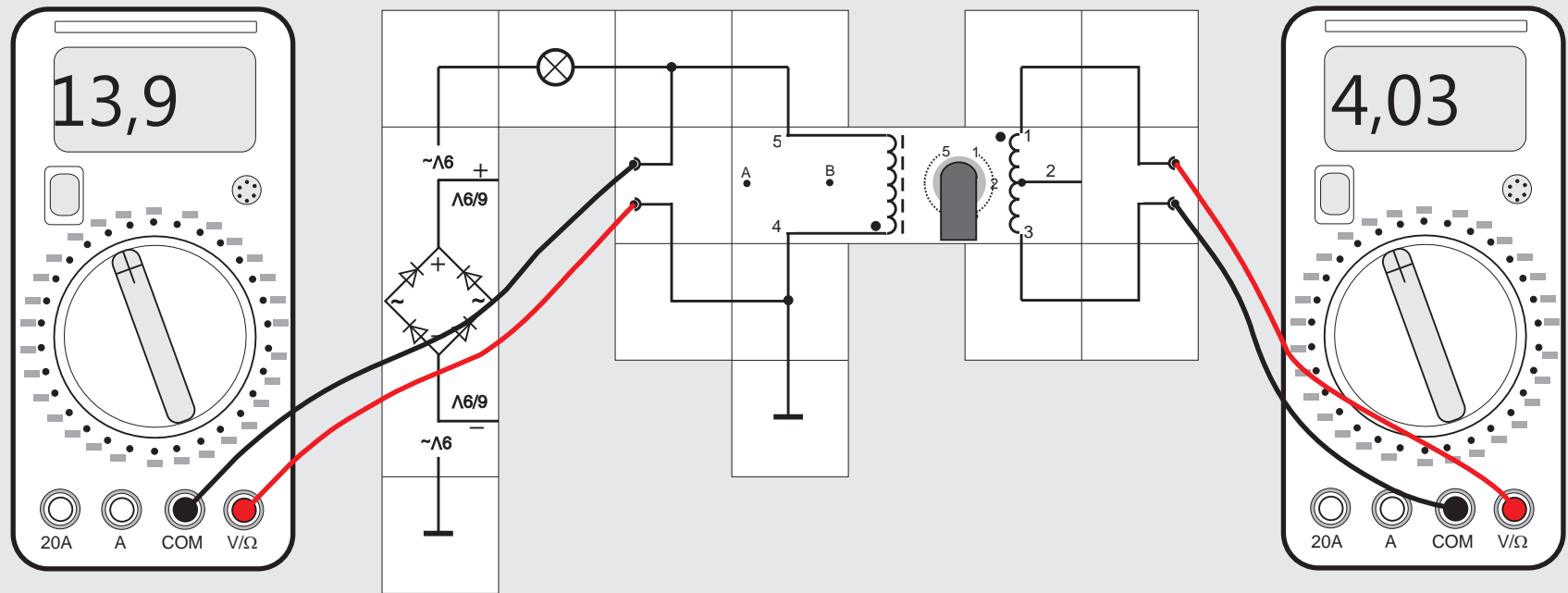
Das Induktionsgesetz

Baut man den Spulenbaustein so in die Versuchsanordnung ein, dass die Spule mit den 4000 Windungen vom Induktionsstrom durchflossen werden kann und wiederholt die Versuche, so wird man feststellen, dass die Ausschläge des Messinstrumentes bei sonst gleichen Versuchsbedingungen doppelt so hoch sind. Die Höhe der Induktionsspannung ist also nicht nur der Änderungsgeschwindigkeit des Magnetfeldes proportional, sondern auch der Windungszahl der Spule.

Das Maß für die Stärke des Magnetfeldes in der Spule ist der sogenannte MAGNETISCHE FLUSS, er wird mit Φ bezeichnet und in Vs gemessen. Seine Änderungsgeschwindigkeit ist dann $\Delta\Phi/\Delta t$. Wenn n die Anzahl der Spulenwindungen ist, ergibt sich das Induktionsgesetz zu

$$U_{\text{IND}} = n \cdot \Delta\Phi / \Delta t.$$

49





Der Transformator

Die Änderung des magnetischen Feldes braucht nun nicht «von Hand» zu passieren, es geht einfacher, wenn man Wechselstrom verwendet, der ja ständig seine Stärke und Richtung ändert. Schickt man Wechselstrom durch eine Spule, so wird er dort ein sich ständig änderndes magnetisches Feld erzeugen; das ist aber genau das, was man braucht, um in einer zweiten Spule (Induktions-) Spannung zu erzeugen, wie die voran gegangenen Versuche zeigten. Man muss nur noch dafür sorgen, dass das von der ersten Spule erzeugte magnetische Feld auch vollständig durch die Windungen der zweiten führt. Hierfür bekommen die Spulen einen gemeinsamen Weicheisenkern, der das magnetische Feld

»bündelt«, so dass der angegebene Versuchsaufbau, nämlich ein Transformator, entsteht: Misst man mit einem Digitalmultimeter (für die Messung ist das Lectron Messgerät nicht geeignet, da es nur Gleichspannung und -strom messen kann) die Eingangsspannung (Primärspannung) und die Ausgangsspannung (Sekundärspannung), so sollten sich bei unbelastetem Sekundärkreis die Spannungen wie die Windungszahlen verhalten; es gilt:

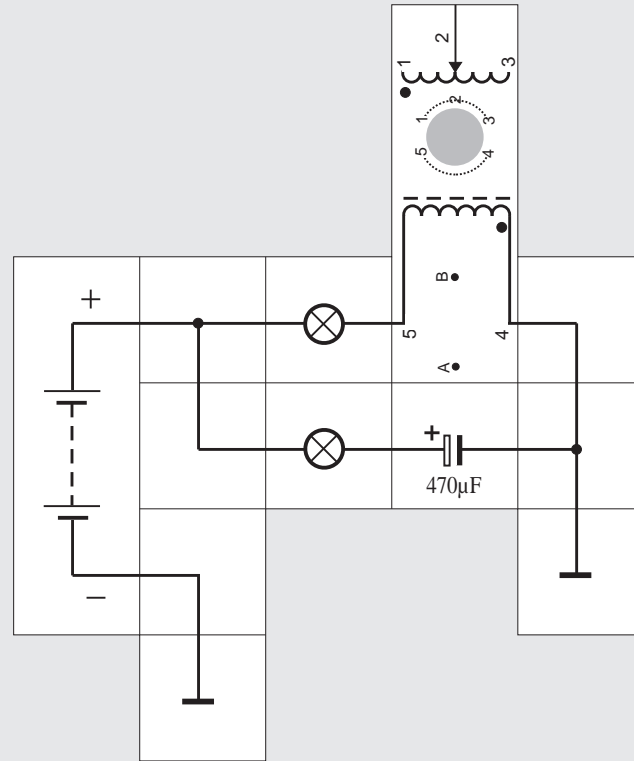
$$n_{\text{primär}} / n_{\text{sekundär}} = U_{\text{primär}} / U_{\text{sekundär}}$$

Das wird in unserem Versuch jedoch nicht der Fall sein, die Sekundärspannung ist kleiner als erwartet. Der Grund dafür ist, dass der Eisenkern die beiden Spulen nicht gut genug koppelt, ein geschlossener Weg für das magnetische Feld, z. B. ein Eisenring statt eines Stabs mit zwei Enden, wäre erheblich besser. Den Nachweis führen wir indirekt; indem wir den Stab langsam weiter herausziehen, verschlechtert sich die Kopplung und die Sekundärspannung sinkt weiter ab.

Da der Transformator keine Energie / Leistung erzeugen kann und auch kaum welche in Wärme umsetzt, wenn er gut konstruiert ist, muss die in ihn hineingehende Leistung gleich der herauskommenden sein; daraus folgt, dass sich die Ströme umgekehrt verhalten wie die Spannungen:

$$n_{\text{primär}} / n_{\text{sekundär}} = I_{\text{sekundär}} / I_{\text{primär}}$$

50





Die Induktivität

Elektrische Bauelemente, die Magnetfelder erzeugen, nennt man INDUKTIVITÄTEN. Induktivitäten sind z. B. Elektromotoren, Transformatoren, Erregerspulen elektromagnetischer Schalter (Relais) und natürlich Spulen in Form von Drosseln, Zündspulen usw.

Beim Einschalten eines Stromes durch eine Induktivität entsteht eine INDUKTIONSSPANNUNG, die dem flie-

Benden Strom entgegenwirkt, so dass er nur langsam bis zu seinem Endwert ansteigt. Die Größe der Induktivität ist ein Maß für die Fähigkeit der Spule, SELBSTINDUKTIONSSPANNUNG zu erzeugen. Den gleichen Zeitverzug erhält man beim Abschalten des Stromes, also beim Abbau des Magnetfeldes.

Es werden nun die Eigenschaften einer Induktivität an einer Gleichspannung untersucht:

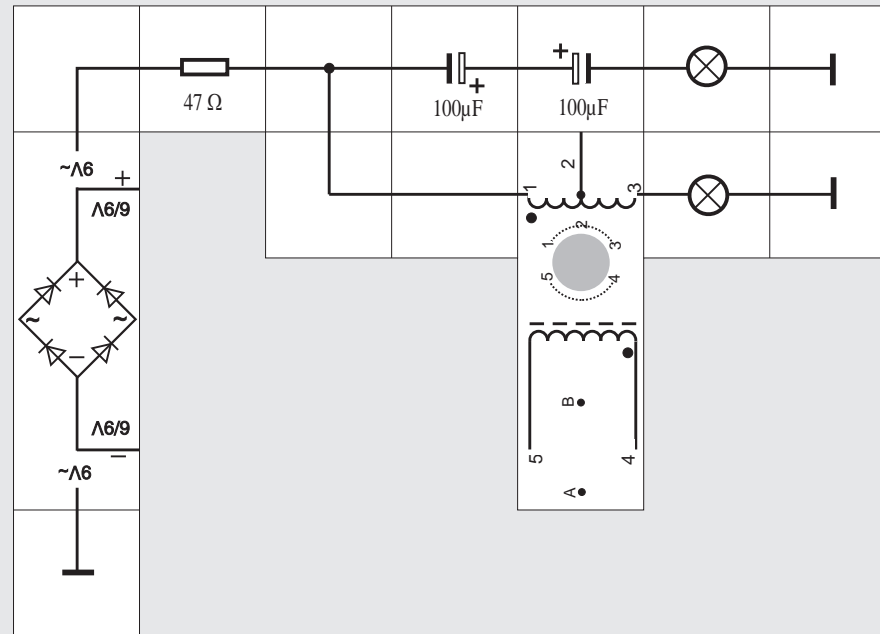
Dazu legt man zuerst Gleichspannung an die Anschlusspunkte der Schaltung und beobachtet, was geschieht. Nach Anlegen der Spannung leuchtet die Lampe am Kondensator eventuell nur für einen kurzen Augenblick auf. Die Birne an der Spule leuchtet dauernd.

Dies ist folgendermaßen zu erklären:

Von den vorherigen Versuchen ist das Verhalten des Kondensators bekannt. Nach Anlegen der Spannung fließt nur ein kurzzeitiger Ladestrom in den Kondensator. Die Spule stellt für den Gleichstrom dagegen nur einen normalen ohmschen Widerstand dar. Die Birne wird (Spannungsabfall an der Spule vernachlässigbar) mit der vollen Betriebsspannung betrieben.

Induktivitäten wirken bei Gleichstrom nur mit ihrem ohmschen Widerstand. (Ein / Ausschalten nicht berücksichtigt), Kondensatoren sind für Gleichstrom nicht leitend.

51





Die Induktivität an Wechselspannung

Jetzt wiederholt man den Versuch mit Anlegen von Wechselspannung. Hierzu ist das Netzgerät erforderlich, Elkos ($10\mu\text{F}$ und $100\mu\text{F}$) müssen gegeneinander geschaltet werden. Besser ist es, den Cx Baustein und ungepolte Kondensatoren verschiedener Kapazität zu verwenden.

Die Glühbirne am Kondensator leuchtet hell und die Glühbirne an der Spule bleibt dunkler. Durch die Spule fließt also weniger Strom. Wie ist dies zu er-

klären?

Aus den vorhergehenden Erklärungen zur Induktivität folgt, dass eine Induktivität (Spule) beim Einschalten einer Spannung eine Selbstinduktionsspannung erzeugt. Wechselstrom ist aber nichts anderes, als ein ständiges, periodisches Ein- und Ausschalten (bzw. Umschalten mit Nulldurchgang). Diese Spannung treibt einen Strom entgegengesetzt zu dem Strom, der von außen durch die Spule fließen soll. Da sich aber Spannungen mit ungleichen Vorzeichen gegenseitig aufheben, wird der resultierende Strom sehr viel kleiner, als es dem ohmschen (Gleichstromwiderstand) Widerstand der Spule entsprechen würde (wie viel kleiner ist abhängig von der Frequenz und der Induktivität). Die Birne bleibt dunkler.

Die effektive Höhe des Stromes durch die Spule ist abhängig davon, mit welcher Geschwindigkeit sich die Spannung ändert. Bei Gleichspannung ist die Änderungsgeschwindigkeit 0; anders ist es bei Wechselspannung. Die Änderungsgeschwindigkeit ist abhängig von der Frequenz: Eine hohe Frequenz bedeutet eine hohe Änderungsgeschwindigkeit, eine hohe Induktionsspannung steht für einen hohen Widerstand.

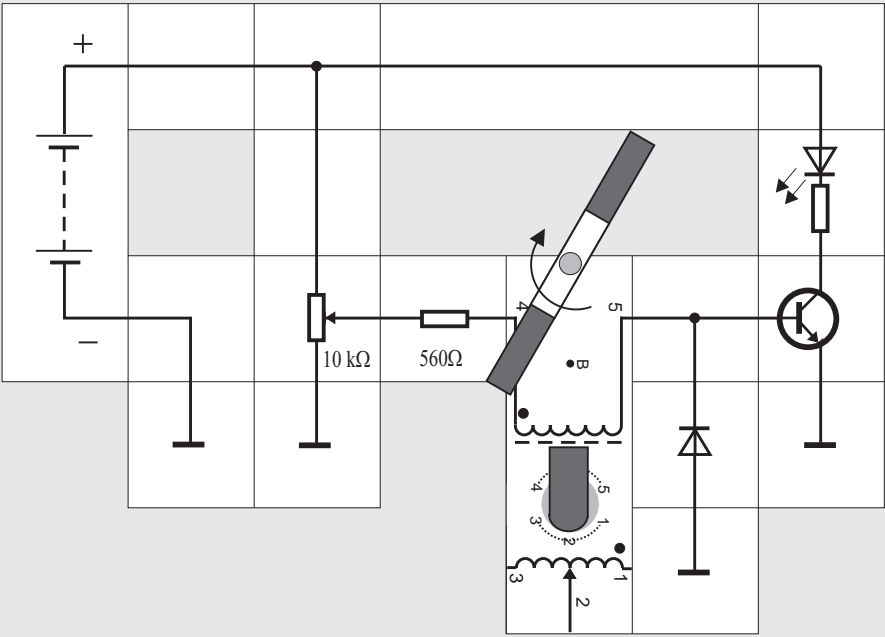
Daraus folgt, dass der induktive Widerstand einer Spule mit steigender Frequenz und höher werden-

der Induktivität steigt.

Beim Kondensator liegen die Verhältnisse anders: Die Birne leuchtet hell auf; beim Einschalten der Spannung fließt ein Ladestrom in den Kondensator. Aus dem Versuch 'Kondensator als Stromspeicher' ist bekannt, dass auch beim Entladen ein Strom aus dem Kondensator fließt. Für Wechselspannung bedeutet dies, dass am Kondensator wechselweise einmal der positive und im nächsten Moment der negative Pol der Spannung angelegt wird. Der Kondensator wird also von der positiven Halbwelle aufgeladen und im nächsten Moment von der negativen Halbwelle wieder ent- und umgeladen. Durch die Glühbirne fließen also ständig Lade- bzw. Umladeströme. Dies ergibt einen mittleren Wechselstrom, der sie zum Leuchten bringt.

Die effektive Höhe der Umladeströme über der Zeit ist abhängig von der Häufigkeit der Umladevorgänge, d.h. davon, wie oft die Wechselspannung umgeschaltet wird. Die Häufigkeit des Polaritätswechsels wird als Frequenz bezeichnet. Der Strom steigt mit zunehmender Frequenz und der Kapazität des Kondensators; der scheinbare Widerstand des Kondensators wird geringer.

Daraus folgt: Der kapazitive Widerstand eines Kondensators sinkt mit steigender Frequenz und größer werdender Kapazität.





Der Induktivgeber

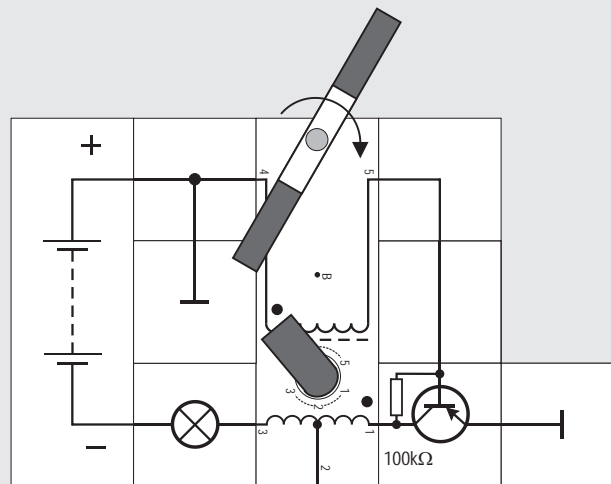
An vielen Motoren befinden sich Sensoren, die dazu dienen, die Stellung des Kolbens bzw. den Kurbelwellenwinkel zu erkennen. Diese Sensoren steuern z. B. die Zündung bei der MOTRONIK oder die Ausgabe eines OT - Signals für Prüf- und Einstellarbeiten. Auch bei kontaktlosen Zündanlagen werden teilweise induktive Sensoren zur Auslösung des Zündzeitpunktes eingesetzt.

Die Auswertung kann auf verschiedene Arten erfolgen. Entweder werden Induktivitätsänderungen erfasst, wenn z. B. ein Stift oder eine Kerbe über eine Spule mit Eisenkern läuft oder ein Magnetfeld wie beim Zündverteiler mit Induktionsgeber durch die Spule geleitet wird, wie die Schaltung zeigt.

Ebenso wie ein fließender Strom in einer Spule ein Magnetfeld erzeugt, induziert ein sich änderndes Magnetfeld in einer Spule eine Spannung. Leitet man durch Drehen eines magnetischen Rotors einen magnetischen Fluss durch eine Spule, so wird in ihr eine Spannung induziert; diese Spannung kann verstärkt werden und zum Auslösen des Zündfunken genutzt werden. Die folgende Schaltung zeigt das Prinzip.

Mit dem Potentiometer wird das Basis - Potential am Transistor so eingestellt, dass der Transistor gerade noch nicht leitet. Die Spule mit dem Eisenkern liegt in der Basisleitung des Transistors. Wenn man nun den Rotor mit den Magneten in Bewegung setzt, wird in der Spule eine Wechselfeldspannung induziert, deren positive Halbwelle den Transistor ansteuert. Es fließt Kollektorstrom, die Leuchtdiode leuchtet auf. Damit die anschließend entstehende negative Halbwelle den Transistor nicht zerstört, schützt die Diode die Basis - Emitter - Strecke des Transistors vor zu hohen negativen Spannungen.

53



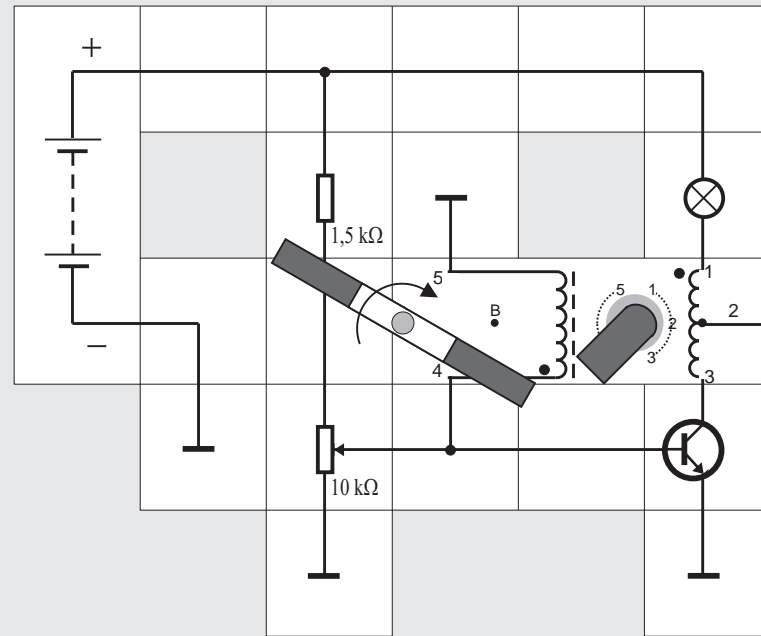


Gleichstrommotor ohne Kollektor

Setzt man in Bohrung A des Spulenbausteins den Rotor mit den beiden Stabmagneten, tut sich zunächst nichts außer dass sich der Rotor nach Norden ausrichtet.

Für den Aufbau der Schaltung sollte zunächst der pnp - Transistor mit dem Basiswiderstand 100 k Ω verwendet werden. Der Plus - Pol der Spannungsversorgung muss dann unbedingt an Masse gelegt werden. Der Eisenkern wird um 45° gedreht in die Spule eingesetzt. Nach dem Anlegen der Versorgungsspannung setzt sich der Rotor durch leichtes Antippen in Bewegung - der Motor läuft.

Der bewegte Magnet induziert dabei eine Spannung in der Trafo - Wicklung des Transistor - Kollektorkreises. Diese Spannung wird hochtransformiert, so dass kurzzeitig eine Spannung an der Basis des Transistors liegt, der durchschaltet und damit eine Gegeninduktion in der Kollektorspule auslöst. Die Kraftwirkung wird kurzzeitig unterbrochen, der Schwung führt aber den Gegenpol des Magnetrotors wieder zum Eisenkern und das Spiel beginnt von Neuem.





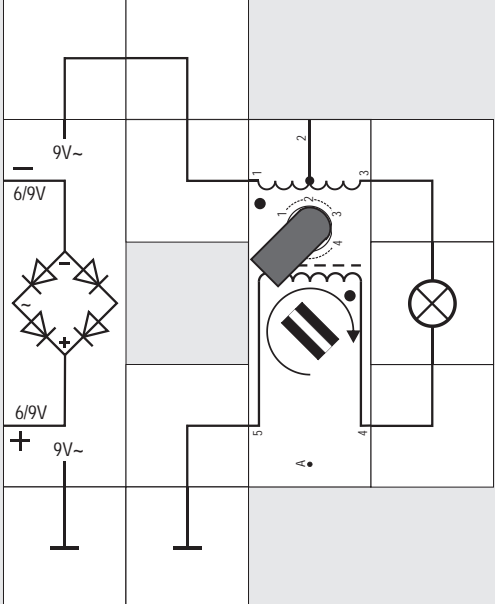
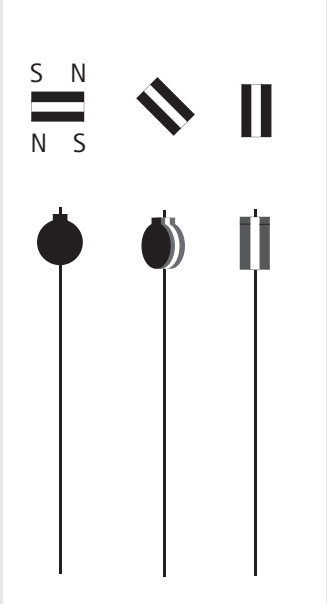
Gleichstrommotor ohne Kollektor mit npn - Transistor

Der kollektorlose Motor lässt sich auch mit einem npn - Siliziumtransistor aufbauen. Da Siliziumtransistoren mit $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$ eine höhere Schwellspannung haben als Transistoren aus Germanium ($U_{BE} = 0,3 \text{ V}$), muss dem Transistor zusätzlich eine geeignete Vorspannung an die Basis gelegt werden.

Das Potentiometer wird so eingestellt, dass der Glühlampenfaden bei stehendem Magnetstab gerade zu glühen anfängt. Der Eisenkern sollte - wie in der Abbildung gezeigt - um 45° gedreht sein. Der Rotor setzt sich durch Antippen in Pfeilrichtung leicht in Bewegung. Bei laufendem Motor können der Winkel des Eisenkerns und das Potentiometer noch leicht verstellt werden, um die Laufruhe zu optimieren. Am periodischen Aufglühen des Glühfadens ist gut zu erkennen, wann der Transistor leitet und sperrt.

Die gleiche Schaltung funktioniert auch mit einem pnp - Siliziumtransistor; die Spannungsversorgung muss lediglich umgekehrt angeschlossen und das Potentiometer neu eingestellt werden.

55





Ein Synchronmotor

Mit dem Spulenbaustein ist es uns auch möglich, einen einfachen Synchronmotor aufzubauen: Bei einem Synchronmotor dreht sich der Rotor (Dauer-

magnet) synchron zu einem magnetischen Drehfeld, das im Stator durch Elektromagnete erzeugt wird. Speist man die Statorwicklungen mit 50 Hz Wechselspannung, so entsteht in ihm ein Wechselfeld. Diese Feld kann man sich aus zwei gegenläufig rotierenden Drehfeldern gleicher Frequenz zusammen gesetzt vorstellen. Wenn es uns gelingt, den Rotor in eine der beiden Drehrichtungen auf die synchrone Drehzahl zu bringen, wird er durch seine Trägheit diesem Feld folgen und sich mit ihm drehen. Das Feld dreht sich 50-mal in der Sekunde, woraus eine Drehung mit 3000 U/min folgt. Besteht der Rotor aus einem Polpaar, dreht er sich genauso schnell. Hat er wie unser Rotor – der aus zwei Seitenkontakt – Haftmagneten besteht, die an einer Drehachse befestigt sind – zwei Polpaare, ist seine Drehzahl nur halb so hoch, nämlich 1500 U/min.

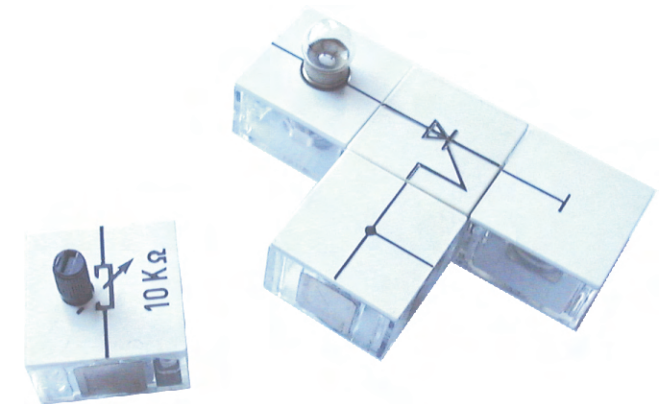
Die Drehachse kommt in das Loch B des Spulenbausteins. Unser Motor kann sich nur mit der synchronen Drehzahl drehen oder gar nicht. Er läuft nicht von selbst an. Deswegen gibt man dem Rotor nach Anlegen der Wechselspannung einen kräftigen Anstoß, damit die synchrone Drehzahl auch erreicht wird; anschließend wird er sich in der vorgegeben Drehrichtung drehen. Bei einem Anstoß in Gegenrichtung folgt der dem gegenläufigen Feld mit der synchronen Drehzahl.

Bauteile



Lectron

2103 Verbindung Gerade	11 Stück	2302 Kondensator 0,1 μ F	2 Stück	2620 Drehpulsmessgerät	1 Stück
2104 Verbindung T - Stück	14 Stück	2304 Elektrolyt-Kondens. 10 μ F	2 Stück	2701 Ohrhörer	1 Stück
2105 Verbindung Winkel	7 Stück	2305 Elektrolyt-Kondens. 100 μ F	2 Stück	2504 Relais	1 Stück
2101 Verbindung Masse	7 Stück	2306 Elektrolyt-Kondens. 470 μ F (500 μ F)	1 Stück	2124 Batteriebaustein zweipolig	1 Stück
2106 Verbindung Kreuzung verbunden	2 Stück	2222 Heißeleiter	1 Stück	3104 Anleitung »Kraftfahrzeug-Elektronik«	1 Stück
2107 Verbindung Kreuzung isoliert	3 Stück	2216 Photowiderstand	1 Stück	Zubehör	
2109 Verbindung Kreuzung isoliert 2-fach	1 Stück	2430 Si Transistor npn rechts	1 Stück		
2108 Verbindung Gerade 3-fach	2 Stück	2431 Si Transistor npn links	2 Stück		
2501 Taster Arbeitskontakt	2 Stück	2445 Si Transistor pnp links	1 Stück		
2502 Taster Ruhekontakt	2 Stück	2446 Si Transistor pnp rechts	1 Stück		
2201 Widerstand 47 Ohm	1 Stück	2424 Ge Transistor rechts	1 Stück		
2204 Widerstand 270 Ohm	1 Stück	2424 Ge Transistor rechts 100 kOhm Wid.	1 Stück		
2202 Widerstand 120 Ohm	1 Stück	2112 Trennbaustein	2 Stück		
2205 Widerstand 560 Ohm	1 Stück	2113 Anschlussbaustein	1 Stück		
2206 Widerstand 1,5 kOhm	1 Stück	2802 Glimmlampe	1 Stück		
2207 Widerstand 2,2 kOhm	2 Stück	2705 Hochspannungstransformator	1 Stück		
2208 Widerstand 3,9 kOhm	1 Stück	2801 Glühlampenbaustein mit Birne	2 Stück		
2210 Widerstand 5,6 kOhm	1 Stück	2407 Leuchtdiode rot mit Vorwiderstand	1 Stück		
2211 Widerstand 10 kOhm	2 Stück	2706 Spulenbaustein	1 Stück		
2213 Widerstand 47 kOhm	2 Stück	2402 Hochspannungsdiode	2 Stück		
2214 Widerstand 100 kOhm	2 Stück	2404 Zenerdiode 5,1 V	1 Stück		
2215 Widerstand 2,2 Mohm	1 Stück	2421 Feldeffekttransistor	1 Stück		
2220 Regelwiderstand 10 kOhm	1 Stück	2418 Thyristor	1 Stück		
2217 Potentiometer 10 kOhm	1 Stück	2419 Triac	1 Stück		
2221 Potentiometer 250 kOhm	1 Stück	2420 Diac	1 Stück		
2301 Kondensator 47nF	1 Stück	2423 Unijunction	1 Stück		
2303 Kondensator 0,47 μ F	1 Stück	2940 Feldplatte	1 Stück		





Anhang

Messbereichserweiterung für das Lectron Messinstrument

Hat man zum Messen nur das Lectron Messinstrument zur Verfügung, steht man vor dem Problem, dass der Messbereich der Messaufgabe angepasst werden muss. Das Instrument selbst ist nicht hochpräzise und Anzeige- und Ablesefehler addieren sich. Durch die Messbereichsanpassung wird die Anzeigegenauigkeit des Instruments zwar nicht verbessert, manche Messaufgabe oder Tendenzanzeige kann aber besser gelöst bzw. erkannt werden. Zur Aufnahme von Kennlinien sind in jedem Fall digitale Multimeter oder präzise Zeigerinstrumente geeigneter.

Durch das Lectron Messinstrument fließen bei Vollauschlag $100\mu\text{A}$ Strom; da sein Innenwiderstand R_i (hauptsächlich der Spulenwiderstand) $4\text{ k}\Omega$ beträgt, fällt dann an ihm eine Spannung von $U = IR_i$, also $0,4\text{ V}$ ab. Diese Strom- und Spannungswerte sollte man bei jeder Messaufgabe vor Augen haben, um entscheiden zu können, ob das Instrument überhaupt für die jeweilige Messaufgabe in Frage kommt oder ob durch seinen Einsatz die Verhältnisse in der Schaltung unzulässig stark verändert werden.

Das Instrument lässt sich mit hochohmigen Vorwiderstand als Spannungs- und mit niederohmigen Parallelwiderstand (Shunt) als Strommesser einsetzen. Wir wollen beide Fälle nacheinander behandeln.

Spannungsmesser

Wenn bei Vollauschlag am Instrument mit R_i gleich $4\text{ k}\Omega$ $0,4\text{ V}$ abfallen, erzeugt derselbe Strom von $100\mu\text{A}$ am Vorwiderstand R_v einen Spannungsabfall von $100\mu\text{A} \cdot R_v$. Der Spannungsabfall der Gesamtanordnung ist also:

$$U_{\text{ges}} = 0,4\text{ V} + 100\mu\text{A} \cdot R_v$$

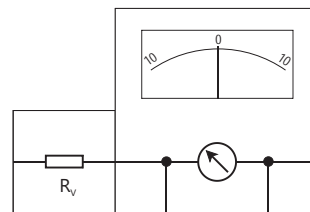
Nach Umformung erhält man für R_v

$$R_v = 4\text{ k}\Omega \cdot (U_{\text{ges}}/0,4\text{ V} - 1)$$

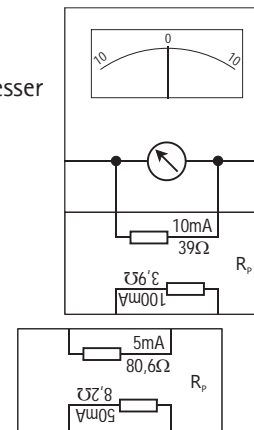
Die Tabelle zeigt für gängige Messbereiche die R_v -Werte.

Messbereich / V	R_v / Ω
0,4	0
1	6k (5,6k)
2	16k (15k)
5	46k (47k)
10	96k (100k)
20	196k (200k)

Spannungsmesser



Strommesser



Strommesser

Bei Vollauschlag fließen durch das Instrument $100\mu\text{A}$, dabei fallen $0,4\text{ V}$ an ihm ab; derselbe Spannungsabfall ist auch an einem Parallelwiderstand R_p messbar. Durch ihn fließt dabei der Strom $0,4\text{ V}/R_p$. Der Gesamtstrom durch die Anordnung ist also:

$$I_{\text{ges}} = 100\mu\text{A} + 0,4\text{ V}/R_p$$

Nach Umformung erhält man für R_p

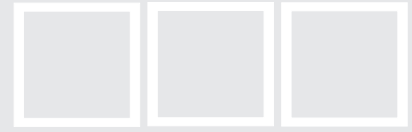
$$R_p = 0,4\text{ V}/(I_{\text{ges}} - 100\mu\text{A})$$

Die Tabelle gibt für einige Messbereiche die passenden Parallelwiderstände an.

Messbereich / mA	R_p / Ω
0,1	-
1	404 (390)
5	81,6 (82)
10	40,4 (39)
50	8,15 (8,2)
100	4 (3,9)

Neu zur Auslieferung kommende Instrumente haben zwei zusätzliche Kontaktplättchen (auch wenn es auf dem Deckelbild noch nicht angegeben ist), an die die ebenfalls neuen Nebenschlusswiderstände für vier gängige Messbereiche platzsparend angeschlossen werden können (s. Abb.).

Außerdem sind die Instrumente mit zwei antiparallel geschalteten Dioden über dem Messwerk ausgestattet, die bei Überlast die Spannung auf $0,7\text{ V}$ begrenzen und das Messwerk schützen. Trotzdem sollte bei Vollauschlag die Stromzufuhr zum Instrument unterbrochen und die Fehlerursache beseitigt werden, denn die Schutzdioden halten auch nur für gewisse Zeit dem hohen Strom stand.



Notizen