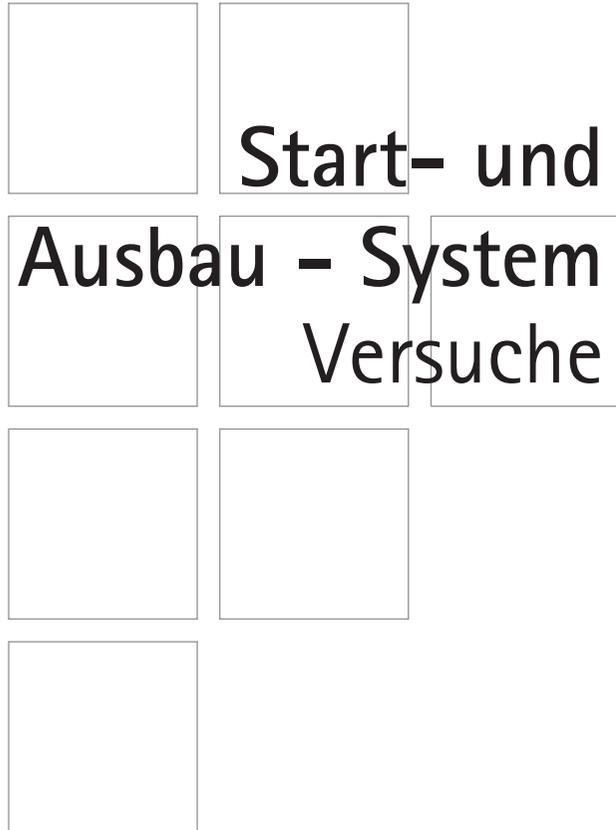




Elementar-System

Ausbaur-System



Start- und
Ausbau - System
Versuche



Lectron

Anleitungsbuch zum Start- und Ausbausystem Elektronik

Autoren:

Georg Greger

Joachim Schubert

Vollständig überarbeitet

von

Gerd Kopperschmidt

Herausgeber

Reha Werkstatt Oberrad

Lectron

Buchrainstraße 18

60599 Frankfurt

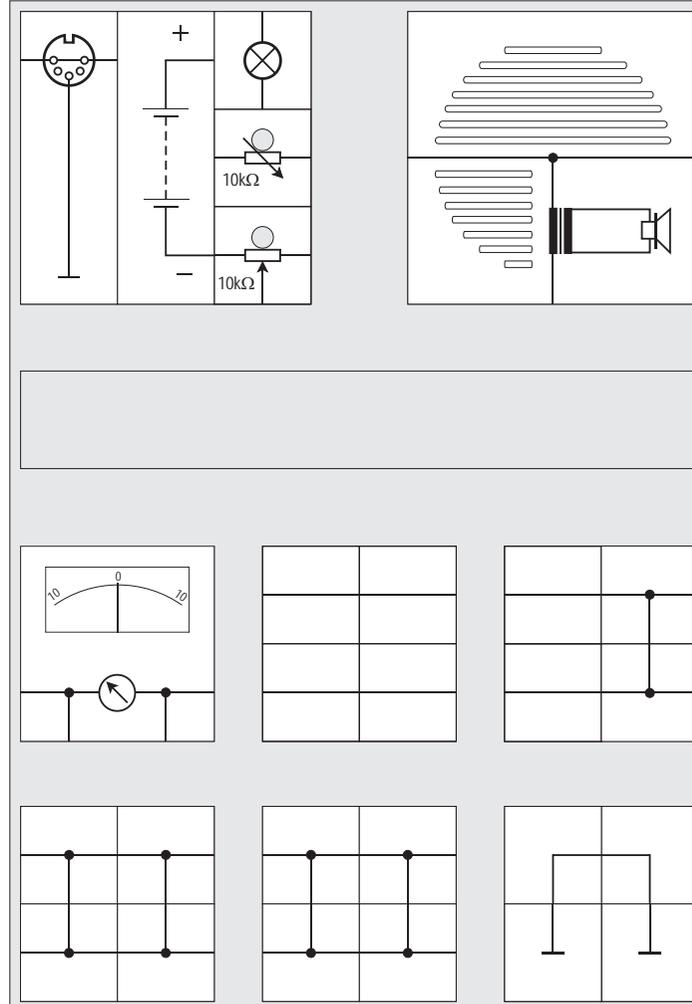
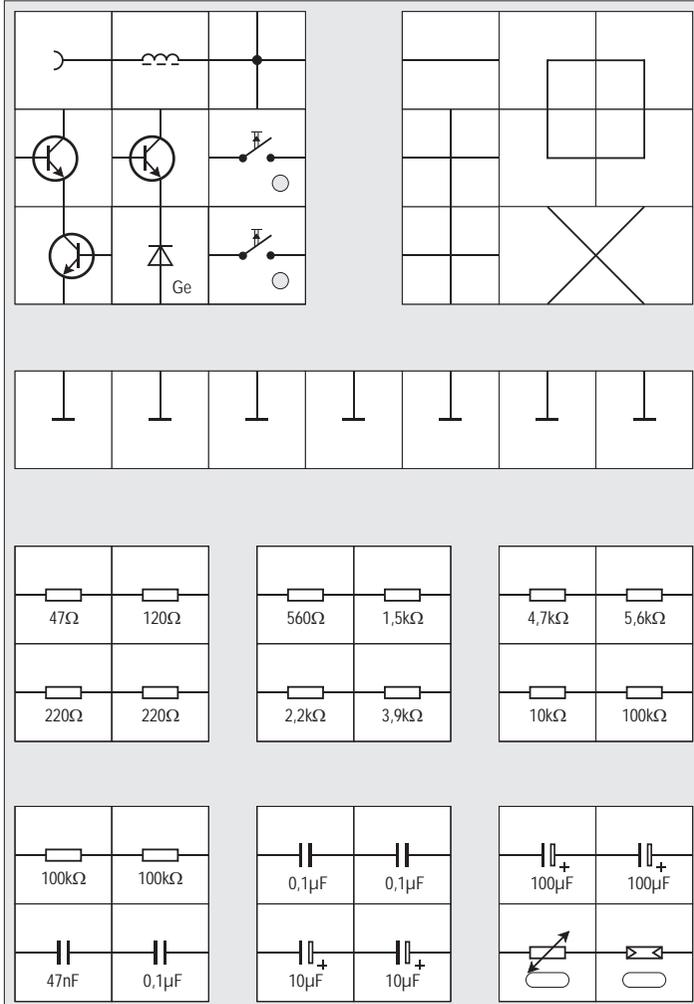
Tel.: +49 (0)69 90 50 12 82

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

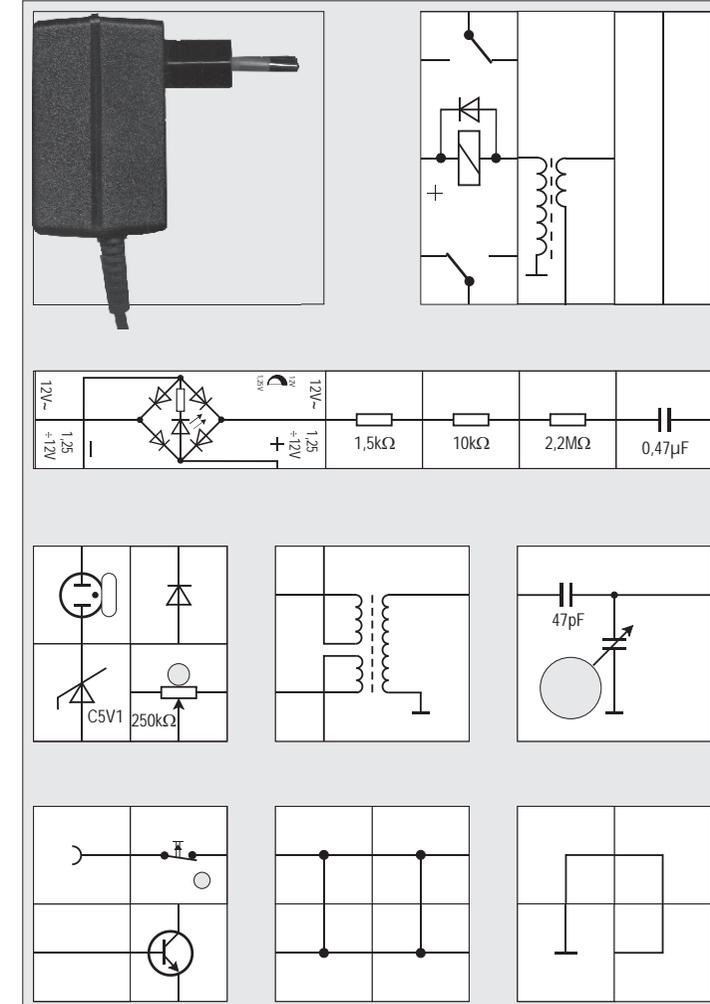
Email: lectron@frankfurter-verein.de

www.lectron.de

Startsystem



Ausbausystem





Lectron

Das über Jahrzehnte bewährte LECTRON-System wurde von Grund auf überarbeitet. Bauteile und Experimente entsprechen nun dem aktuellen Stand der Technik. Die neu konzipierte Baukastenreihe deckt bereits viele Bereiche der modernen Elektronik ab; sie wird laufend erweitert. Die folgenden Experimentierkästen sind erhältlich (Stand 02/2012, siehe auch die Systemübersicht auf Seite 207):

-  Einsteiger-System
-  Start- und Ausbausystem Elektronik
-  Schülerübungssystem Elektronik
-  Elektronik AG
-  Digitaltechnik
-  Zähler und Schrittmotor
-  Kfz-Elektronik
-  Optoelektronik und Solartechnik
-  Operationsverstärker
-  Schwellwert- und Majoritätslogik

-  Radiotechnik
-  Schwingungen und Resonanz
-  PLL-Technik
-  Neurophysiologie
-  Genregulation

Besitzern älterer LECTRON-Kästen wird als wichtigste Neuerung auffallen, dass durch die hauptsächlichliche Verwendung von Silizium - npn - Transistoren das Bezugspotential jetzt durchgehend der Minuspol der bewährten 9 V - Versorgungsspannung ist. Beibehalten wurde natürlich auch das unkomplizierte System: Keine Drähte, keine Klammern, kein Lötkolben, kein Schraubenzieher stören oder verzögern den Versuchsaufbau. Die ganze Aufmerksamkeit kann man dem eigentlichen Experiment widmen. Die einzelnen Bausteine haften magnetisch aneinander und stellen dadurch über Neusilberplättchen den elektrischen Kontakt her. Die Bauelemente liegen geschützt in glasklaren Kunststoffgehäusen. Die Oberfläche jedes Bausteins zeigt das genormte Schaltsymbol des darin enthaltenen Bauelements. Jeder Versuch wird in diesem Experimentierbuch durch einen Schaltplan dargestellt, nach dem die Bausteine zusammengesetzt sind. Die Oberflächen der Bausteine geben dann das Schaltbild wieder.

Verzeichnis der Versuche



Versuch	Seite				
1 Blinklicht-Schaltung mit Anzeige des Hellimpulses	11	20 Automatische Dunkelsteuerung	49	35 Das Verhalten einer Spule im Gleichstromkreis	81
2 Elektrische Lichtmessung	13	21 Die Wirkung des elektrischen Stromes in einer Glühlampe	53	36 Der Durchlassstrom bei einer Halbleiterdiode	83
3 Elektrische Dunkelsteuerung	15	22 Einfluss eines zusätzlichen Widerstandes im Stromkreis	55	37 Die Sperrwirkung einer Halbleiterdiode	85
4 Blinklicht-Schaltung mit Anzeige des Dunkelimpulses	17	23 Einfluss eines größeren Widerstandes im Stromkreis	57	38 Nachweis der Steuerbarkeit eines Transistors	87
5 Elektrische Temperaturmessung	19	24 Die Anzeige des elektrischen Stromes durch ein Messinstrument	59	39 Der Lautsprecher als elektroakustischer Wandler	91
6 Umkehrung der Temperaturmessung	21	25 Die Belastung der Batterie durch einen Widerstand	61	40 Ein einstufiger Plattenspieler-Verstärker	93
7 Blinklicht-Schaltung mit veränderter Blinkzeit	23	26 Der Einfluss des Vorwiderstandes auf den Ausschlag des Instrumentes	63	41 Ein zweistufiger Plattenspieler-Verstärker mit einstellbarer Lautstärke	95
8 Beeinflussung der Blinkzeit durch Licht	25	27 Nachweis der Gleichmäßigkeit des Stromes im gesamten Stromkreis	65	42 Ein einfacher Tongenerator	97
9 Beeinflussung der Blinkzeit durch Temperatur	27	28 Die Wirkung eines Parallelwiderstandes zum Instrument	67	43 Die Wirkung einer Wechselspannung beim Anzeigeinstrument	99
10 Ein elektronischer Wärmewächter	29	29 Ein Spannungsteiler aus Festwiderständen	69	44 Gleichrichtung einer Wechselspannung mit der Diode	101
11 Elektronische Steuerung durch Licht	31	30 Ein stetig einstellbarer Spannungsteiler	71	45 Einfluss der Kapazität eines Kondensators im Wechselstromkreis	103
12 Messung des Steuervorgangs bei Lichtänderung	33	31 Das Verhalten eines Kondensators im Gleichstromkreis	73	46 Frequenzabhängigkeit des Wechselstromwiderstandes beim Kondensator	105
13 Messung des Steuervorgangs bei Temperaturänderung	35	32 Nachweis der Energiespeicherung mit einem Kondensator	75	47 Das Anzeigeinstrument als Aussteuerungsanzeiger beim Plattenspieler-Verstärker	107
14 Ein empfindlicher Temperaturmesser	37	33 Der Aufladestrom bei einem Kondensator	77	48 Ein nicht abgestimmter Rundfunkempfänger	111
15 Lichtschranke	39	34 Der Entladestrom bei einem Kondensator	79		
16 Dämmerungsschalter	41				
17 Nachweis der Leitfähigkeit des menschlichen Körpers	43				
18 Speicherung der elektrischen Energie	45				
19 Automatische Helligkeitssteuerung	47				

Versuch	Seite		Seite		Seite
49 Ein abgestimmter Rundfunkempfänger	115	65 Der Schmitt-Trigger als Feuchtigkeitsanzeiger	149	80 Die Glimmlampe als Spannungskonstanthalter	179
50 Ein abgestimmter Rundfunkempfänger mit doppelter Ausnutzung eines Transistors	117	66 Ein astabiler Multivibrator als Blinkanlage	151	81 Grundschtaltung eines Elektronenblitzgerätes	181
51 Spannungsverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung	121	67 Ein astabiler Multivibrator als elektronischer Taktgeber	153	82 Die Wirkungsweise der Zenerdiode	183
52 Stromverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung	123	68 Ein astabiler Multivibrator als Tongenerator	155	83 Spannungskonstanthalter mit Zenerdiode und Transistoren	185
53 Spannungsverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung	125	69 Der bistabile Multivibrator	157	84 Regelung der Ausgangsspannung bei einem transistorisierten Spannungskonstanthalter	187
54 Stromverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung	127	70 Der monostabile Multivibrator	159	85 Nachweis der Belastungsunabhängigkeit eines transistorisierten Spannungskonstanthalters	189
55 Grundschtaltung eines Schmitt-Triggers	129	71 Der monostabile Multivibrator mit umgekehrter Arbeitsweise	161	86 Relaissteuerung mit Arbeitskontakt	191
56 Ein Schmitt-Trigger mit Verstärkerstufe	131	72 Grundversuch zur Hochspannungserzeugung	163	87 Relaissteuerung mit Ruhekontakt	193
57 Der Schmitt-Trigger als Zeitgeber	133	73 Anzeige von Hochspannungsimpulsen mit der Glimmlampe	165	88 Relaissteuerung mit Selbsthaltung	195
58 Ein einfacher Belichtungszeitgeber	135	74 Ein elektronisches Weidezaungerät	167	89 Relaissteuerung mit Unterbrecher	197
59 Die Arbeitsweise eines Fotowiderstandes	137	75 Ein Spannungswandler mit Transistor Zünden einer Glimmlampe m. Blitzlicht	171	90 Ein Schallpegelmesser	199
60 Die Arbeitsweise eines Heißleiters	139	76 Anschluss des Messinstrumentes an den Spannungswandler	171	91 Geräuschwarnanlage mit Lichtanzeige	201
61 Der Photowiderstand als Steuerglied in einem Schmitt-Trigger	141	77 Messung einer gleichgerichteten Hochspannung	173	92 Prüfung der Bausteine Bauteile	203 204
62 Ein einfacher Dämmerungsschalter	143	78 Betrieb einer Glimmlampe mit hoher Wechselfspannung	175	Anhang A Blinkschaltungen	205
63 Eine Regelschaltung für Temperaturen	145	79 Betrieb einer Glimmlampe mit gleichgerichteter Hochspannung	177	A1 Der ewige Blinker	207
64 Nachweis der Leitfähigkeit von Wasser	147			A2 Der weiche Blinker	209
				A3 Ein einfacher Blinker	211
				A4 Blinker mit zwei Glimmlampen	213
				Anhang B Messbereichserweiterung	214



Lectron

Aufbau und System des Experimentierkastens

Elektrische Schaltungen bestehen immer aus mehreren, manchmal sehr vielen Einzelteilen, die untereinander elektrisch verbunden werden müssen. In der Praxis benötigt man dazu Kabel oder Drähte, die – entsprechend der Lage der Einzelteile – jeweils auf eine bestimmte Länge zugeschnitten werden müssen. Die Verbindung erfolgt dann meist durch Verlöten der Punkte, an denen die Anschlüsse der Bauteile und die Leitungen zusammengeführt sind. Bei Versuchsaufbauten im Laboratorium stellt man die Verbindungen im allgemeinen durch Prüfschnüre her, die an die Bauteile durch Stecker oder Klemmen herangeführt werden. Auch bei einem Experimentierkasten, der ein kleines Elektrolabor darstellt, könnte man mit solchen Prüfschnüren oder zugeschnittenen Drahtstücken arbeiten. Leider verliert man aber bei dieser Methode, besonders wenn es sich um umfangreichere Schaltungen handelt, schnell die Übersicht. Man erhält ein Gewirr aus langen und kurzen Leitungen, zwischen denen die Bauelemente liegen, und kann die Funktion der Schaltung dann nur noch mit Mühe erkennen.

Das vorliegende, durch Weltpatente geschützte, LECTRON-System vermeidet diese Nachteile. Ver-

bindungskabel oder Drähte sind hier nicht mehr notwendig. Die einzelnen Bausteine werden einfach nebeneinander gereiht. Dabei werden sie durch Magnetkraft mechanisch festgehalten und erhalten gleichzeitig elektrischen Kontakt über «Kontaktplättchen» an den Seitenflächen. Für den Aufbau einer Schaltung aus diesen Bausteinen ist daher auch kein Werkzeug oder handwerkliches Geschick erforderlich. Die Abbildung zeigt, wie die Bausteine aneinandergelegt werden.

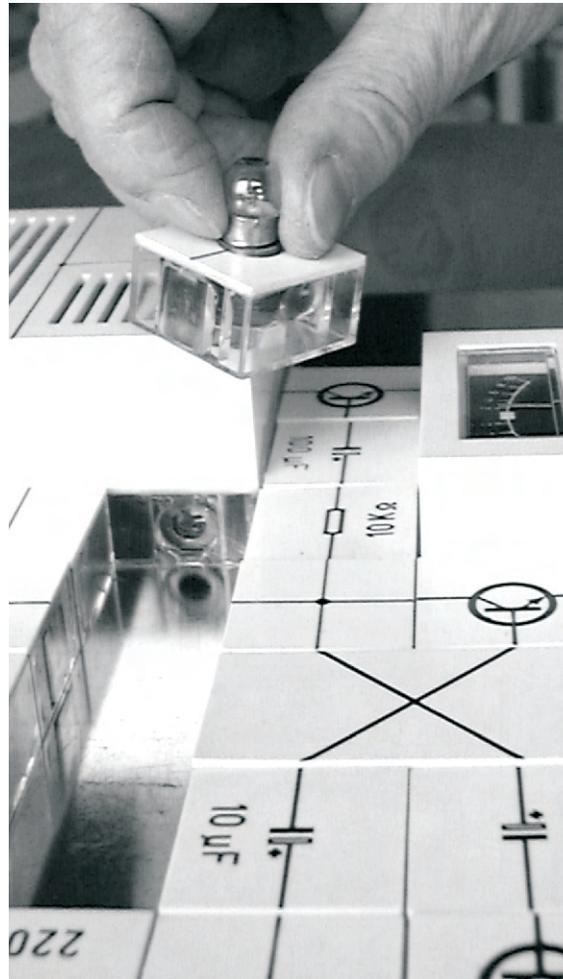
Im Inneren des Kästchens ist jeweils ein Einzelteil – z. B. ein Widerstand oder ein Kondensator – an die Kontaktplättchen angelötet. Durch das Zusammenlegen werden also die elektrischen Bauteile miteinander verbunden. Die Bausteine haben nur an den Stellen Magnete und Kontaktplättchen, wo die Bauteile angeschlossen sind. Zusätzlich zu den Anschlüssen an den Seitenflächen hat jeder Baustein noch einen (oder, wenn es sich um einen größeren Baustein handelt, mehrere) Magnete und Kontaktplättchen an der Bodenfläche. Als Grundlage für die durchzuführenden Versuche dient beim LECTRON-Experimentiersystem eine Metallplatte. Legt man einen Baustein mit der Bodenfläche auf die Grundplatte, dann haftet er dort durch Magnetkraft. Damit bildet die Grundplatte gewissermaßen das «Gerüst» für alle Versuchsschaltungen. Gleichzeitig

verbindet sie alle Bauteile, deren Anschluss an das in der Bodenfläche des Bausteins angeordnete Kontaktplättchen geführt ist. Auch beim industriellen Rundfunk- oder Fernsehgerät und den meisten elektronischen Apparaten kennt man eine solche metallische Montagefläche, das sogenannte Chassis. Da die Bausteine durch die Magnetkraft fest auf der Grundplatte haften, kann man die fertige Schaltung auch schräg oder sogar senkrecht aufstellen, ohne dass die Teile auseinander fallen. Damit besonders schwere Bausteine (Lautsprecher, Batterie usw.) beim Schräg- oder Senkrechtstellen an der Grundplatte gut festgehalten werden, tragen sie an der Bodenfläche extra starke Haftmagnete.

Da das Gehäuse der Bausteine aus durchsichtigem Material besteht, kann man die darin eingebauten Einzelteile sehen. Auf der weißen, undurchsichtigen Deckplatte eines jeden Bausteins ist das Schaltbild des eingebauten Teils aufgedruckt. In den Schaltplänen wird nicht die tatsächliche Form des Bauelementes gezeichnet, sondern man benutzt Schaltzeichen (Schaltsymbole), die genormt und daher von jedem Fachmann zu lesen sind. Das Schaltsymbol ist auf der Deckplatte so aufgedruckt, dass beim Zusammenbau gleichzeitig die richtigen Stromläufe zu erkennen sind. Der fertige Versuchsaufbau zeigt dann originalgetreu auf den Deck-

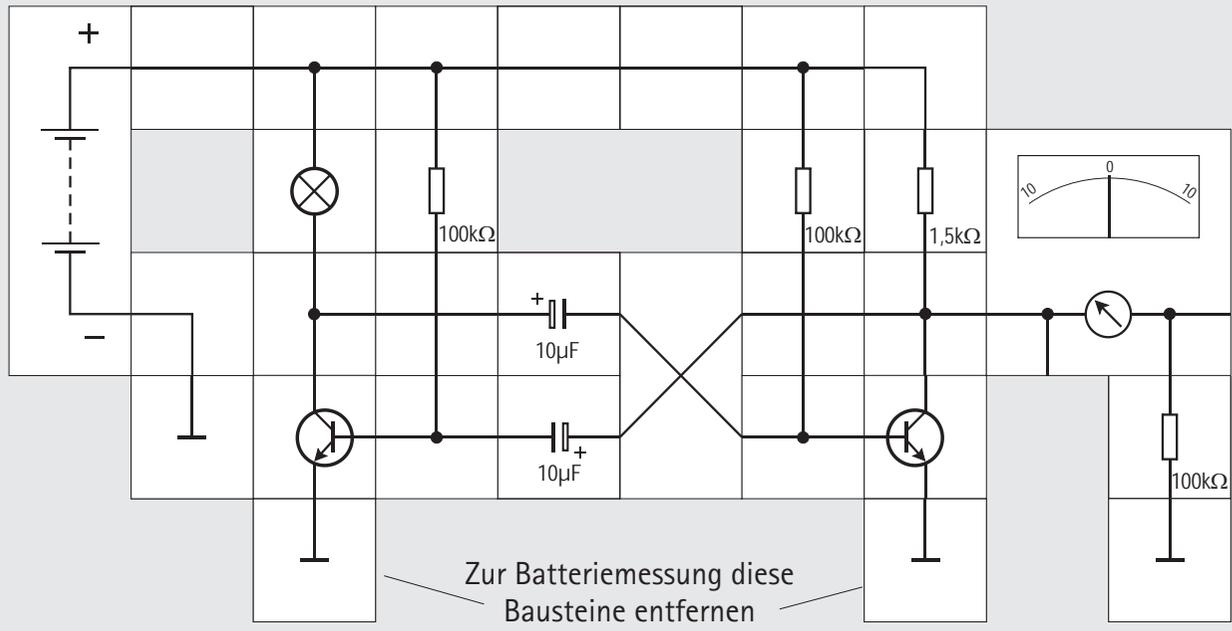
platten der Bausteine wieder das Schaltbild, das im Anleitungsbuch zu sehen ist. Man kann daher jeden möglichen Fehler durch Vergleich mit dem Originalschaltbild im Buch sofort feststellen und beseitigen. Dadurch, dass sich die Bausteine so leicht aneinanderreihen oder wieder trennen lassen, kann man bei der fertigen Schaltung durch Entfernen des einen oder anderen Bauteils oder Ersatz gegen ein anderes erkennen, welche Funktion dieses Teil hat und wie sein elektrischer Wert die Schaltung beeinflusst.

Mit Ausnahme des Batteriebausteins sind bei allen Bausteinen die Deckel mit den Gehäusen fest verklebt. Nur die Batterie muss nach einiger Zeit ausgetauscht werden. Deshalb ist bei diesem Baustein der Deckel abnehmbar. Hinweise zum Austausch der Batterie findet man auf Seite 53 des Buches im Abschnitt «Der Batteriebaustein».



Der Grundkasten

soll zunächst einmal einige der zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten zeigen, die elektronische Bauelemente bieten. Rundfunk- und Fernsehempfänger sind wohl jedem bekannt. Mit dem Grundbaukasten erhält man aber auch einen Einblick, was es sonst noch auf dem interessanten Gebiet der Elektronik gibt. Die folgenden 20 Versuche, die mit den Bausteinen des Grundkastens durchgeführt werden können, werden in ihrer Funktion noch nicht erklärt, sondern es wird nur beschrieben, was die einzelnen Schaltungen leisten können. Wer dann die Wirkungsweise der einzelnen Bauteile und Schaltungen genauer ergründen möchte, der kann eine große Anzahl weiterer Versuche machen. Das Anleitungsbuch zeigt Schritt für Schritt, wie die in den Bausteinen angeordneten Teile arbeiten und warum sie in einer Schaltung eine ganz bestimmte Wirkung ergeben. Dabei lernt man gleichzeitig die wichtigsten Begriffe der Elektronik wie Strom, Spannung, Widerstand usw. kennen.



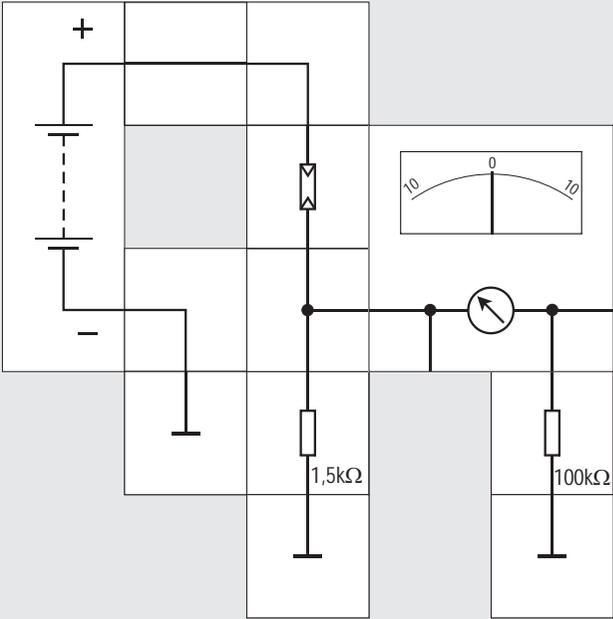


Blinklicht – Schaltung mit Anzeige des Hellimpulses

Die Schaltung stellt eine Blinkanlage dar. Ist der Batteriebaustein an die Schaltung angeschlossen, dann wird die im Glühlampenbaustein eingebaute Lampe selbsttätig in gleichmäßiger Folge aufleuchten und verlöschen. Solche Blinkschaltungen werden sehr häufig verwendet. Man kann sie zum Beispiel als Blinkanlage für die Richtungsanzeige bei einem Kraftfahrzeug einsetzen.

Diese Schaltung enthält ein hochwertiges Messinstrument. Der Zeiger schlägt jedesmal aus, wenn die Glühlampe aufleuchtet.

Mit der gleichen Versuchsschaltung lässt sich außerdem auch prüfen, ob die Batterie frisch ist. Man muss hierzu nur die bezeichneten beiden Bausteine entfernen. Der Zeiger des Messinstrumentes schlägt dann bei eingeschalteter Batterie konstant bis etwa zur Ziffer 9 aus. Das bedeutet, dass die Batterie die volle Spannung von 9 Volt hat. Zeigt er weniger als 7 Volt an, dann ist die Batterie verbraucht.

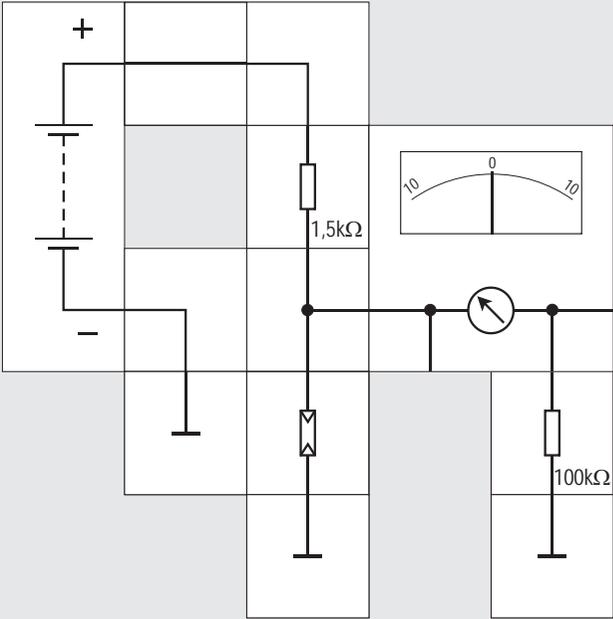




Lectron

Elektrische Lichtmessung

Bei diesem Versuch lernt man die grundsätzliche Schaltung eines elektrischen Belichtungsmessers kennen, wie er für photographische Zwecke benutzt wird. Man benötigt dazu einen sogenannten PHOTOWIDERSTAND. Je mehr Licht durch das Loch im Deckel dieses Bausteins auf den Photowiderstand trifft, um so weiter schlägt der Zeiger des Messinstrumentes aus. Hält man das Loch mit dem Finger zu, dann geht der Zeigerausschlag zurück.

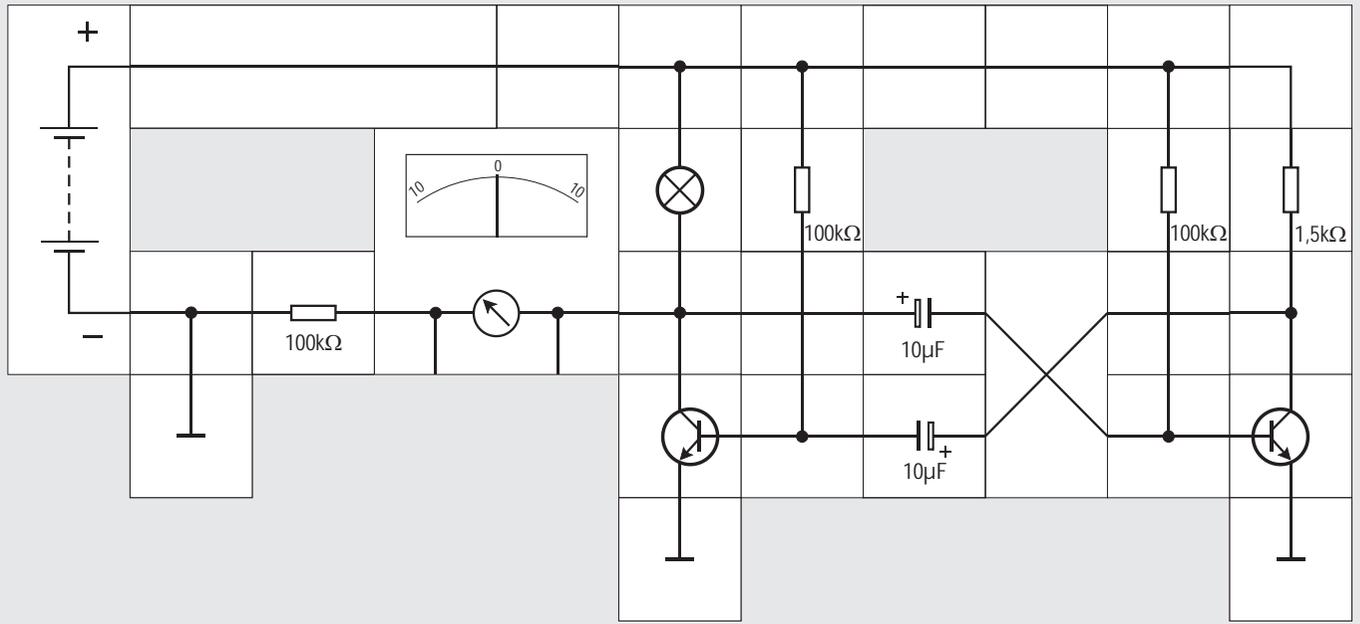




Lectron

Elektrische Dunkelsteuerung

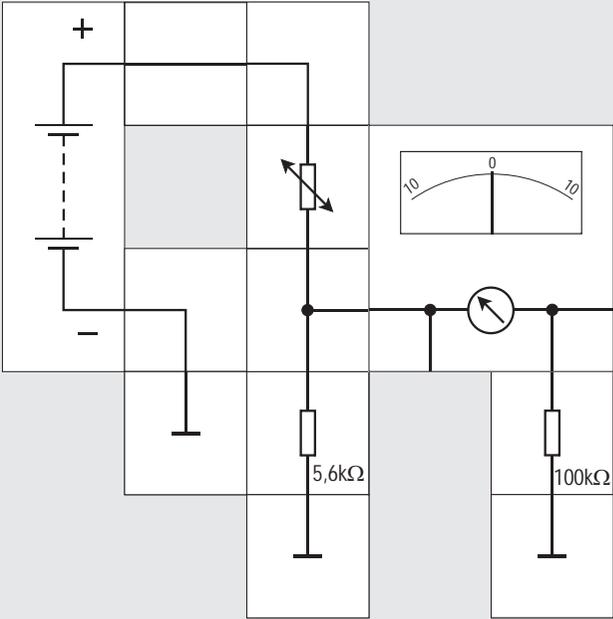
Hier lässt sich die Wirkungsweise einer Schaltung umkehren, wenn man die Bausteine anders als beim letzten Versuch anordnet. Der Ausschlag des Zeigers am Instrument wird jetzt größer, wenn man das Loch im Deckel des Bausteins mit dem Photowiderstand abdeckt.





Blinklicht-Schaltung mit Anzeige des Dunkelimpulses

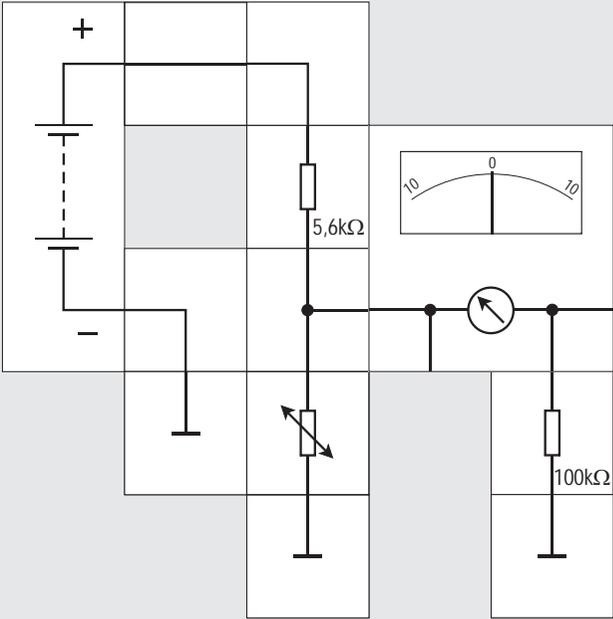
Bei diesem Versuch ist gegenüber dem Versuch 1 das Messinstrument an einer anderen Stelle angeschlossen. Im Gegensatz zu der ersten Schaltung schlägt es jetzt bei eingeschalteter Batterie immer dann aus, wenn die Glühlampe verlischt. So, wie es hier an einem einfachen Beispiel gezeigt wird, lassen sich in elektronischen Schaltungen viele Vorgänge umkehren.





Elektrische Temperaturmessung

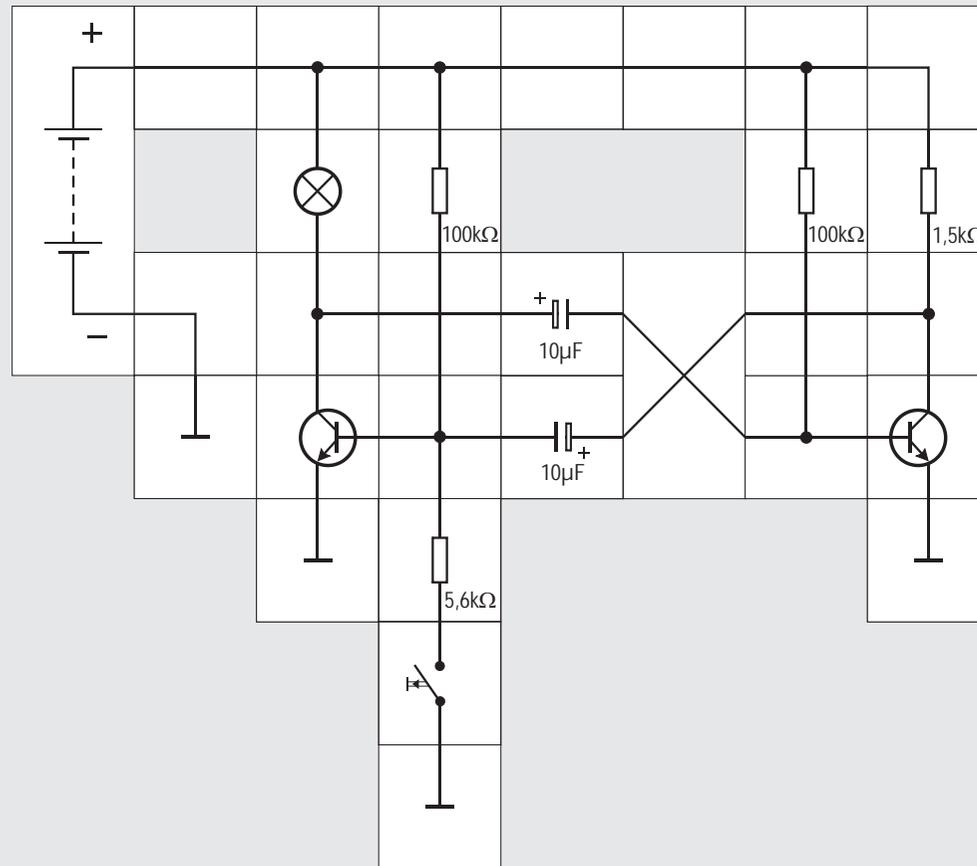
Diese Schaltung enthält einen Baustein mit einem HEIßLEITER. Das ist ein Bauteil, das seine Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur ändert. Bei fertig aufgebauter Schaltung und eingeschalteter Batterie erkennt man am Messinstrument eine deutliche Zunahme des Zeigerausschlags, wenn man den Heißeiter erwärmt - beispielsweise schon durch Berühren mit dem Finger. Kühlt sich der Heißeiter wieder ab, dann geht auch der Zeigerausschlag zurück.





Umkehrung der Temperaturmessung

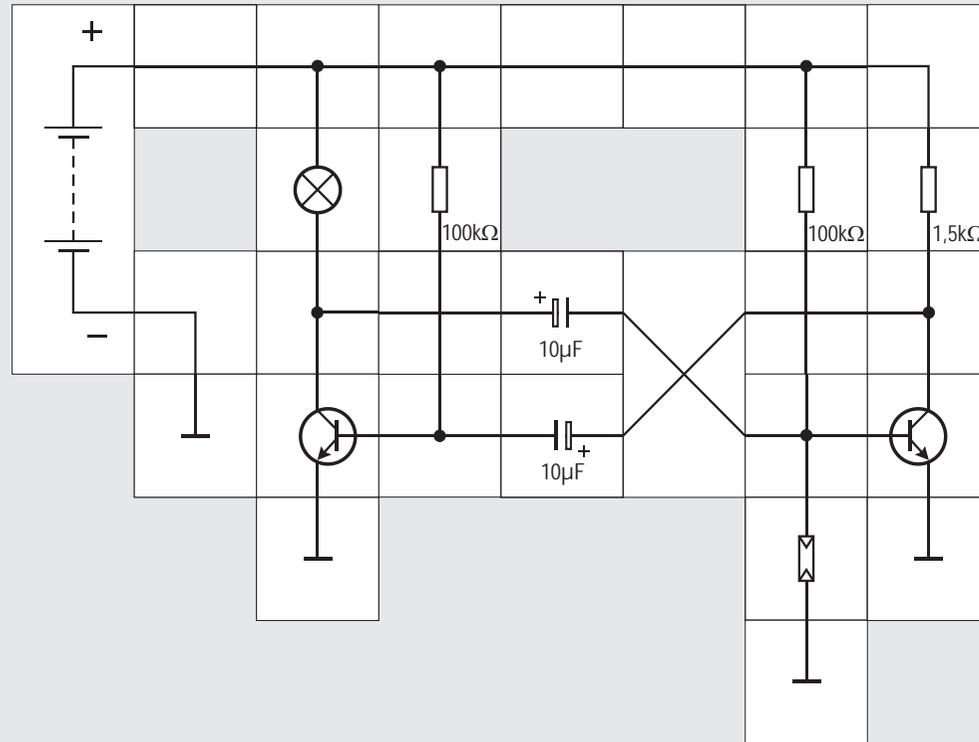
Durch Vertauschen von zwei Bausteinen erzielt man hier die umgekehrte Wirkung wie beim vorhergehenden Versuch. Der Zeigerausschlag des Messinstrumentes geht zurück, wenn man den Heißleiter erwärmt, und steigt wieder bei dessen Abkühlung.





Blinklicht-Schaltung mit veränderter Blinkzeit

Hier handelt es sich wieder um eine Blinkschaltung, wie wir sie bereits in den ersten beiden Versuchen aufgebaut haben. Das Anzeigeelement wird diesmal nicht mit verwendet. Bei der neuen Schaltung lässt sich aber die Blinkgeschwindigkeit verändern, wenn man über den Tastenschalter einen zusätzlichen Widerstand einschaltet. Bei eingeschalteter Batterie blinkt das Glühlämpchen zunächst wieder in gleichmäßiger Folge. Drückt man die Taste nieder, dann wird der Vorgang wesentlich schneller. Dieser Effekt wird noch deutlicher, wenn wir den Lämpchenbaustein und den $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand gegeneinander austauschen oder die $5,6\text{ k}\Omega$ - Taster - Kombination an die Basis des rechten Transistors anschließen. Man kann auch den $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand durch einen niederohmigeren (z.B. den 220Ω) Widerstand ersetzen; die Schaltung wird dadurch »symmetrischer«, weil das Glühlämpchen auch nur circa 120Ω Widerstand hat. Alle diese Änderungen bewirken, dass sich die Lade- und Entladezeiten der beiden Kondensatoren verändern.

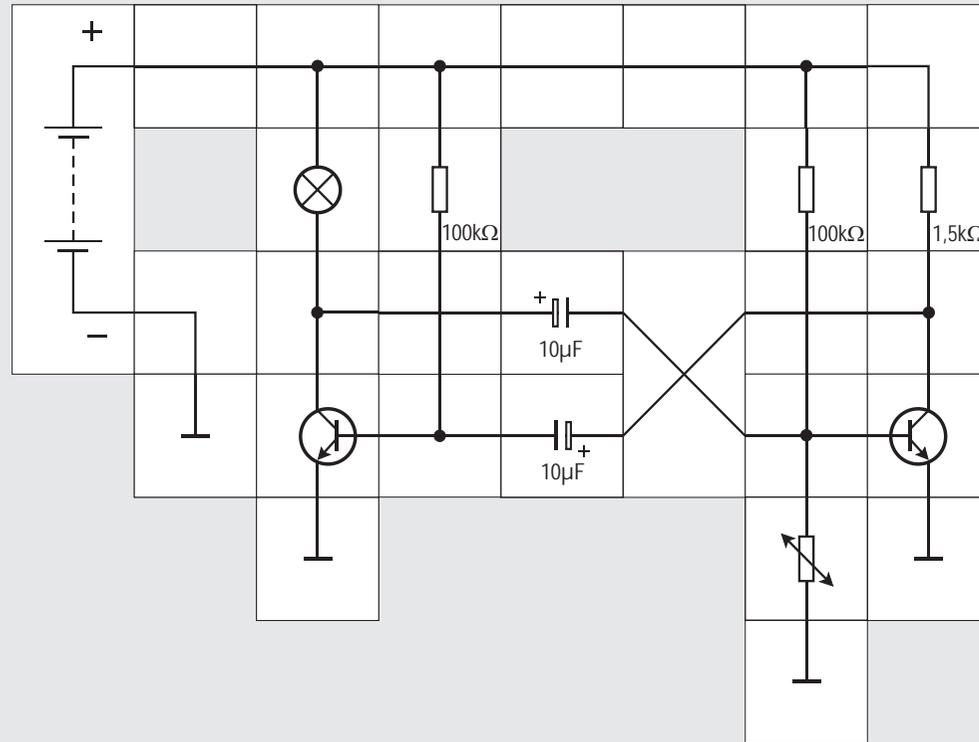




Lectron

Beeinflussung der Blinkzeit durch Licht

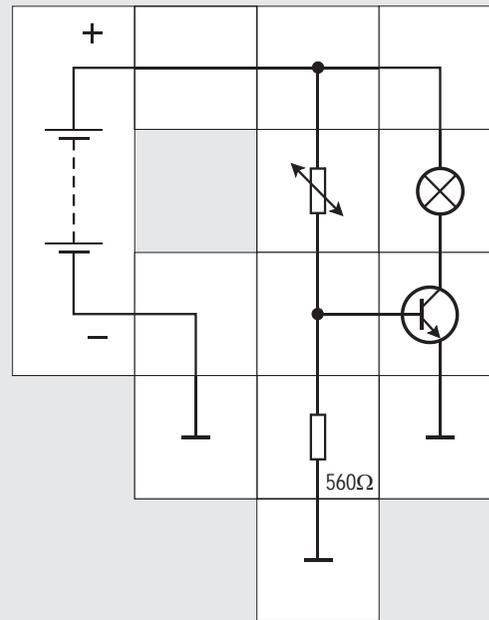
Auch mit dem Photowiderstand kann man die Geschwindigkeit der aufeinanderfolgenden Lichtblitze beeinflussen. Deckt man in dieser Versuchsschaltung den Photowiderstand ab, dann wird die Blitzfolge langsamer. Beleuchtet man ihn, dann nimmt die Geschwindigkeit entsprechend zu.





Beeinflussung der Blinkzeit durch Temperatur

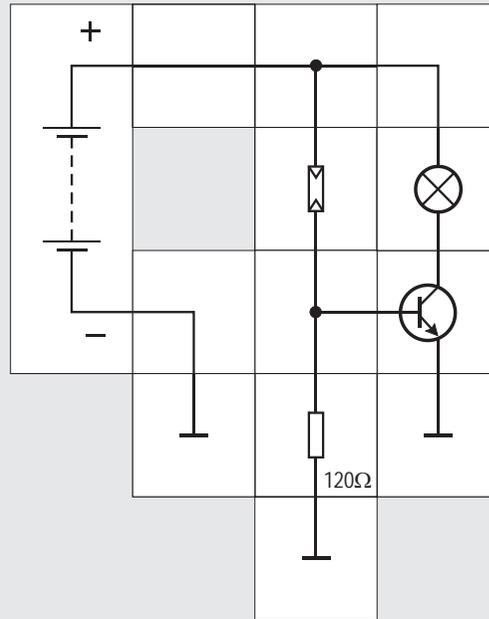
An Stelle des Photowiderstandes tritt bei diesem Versuch der Heißeiter. Die Blitzfolge ist nun von der Temperatur des Heißeiters abhängig. Die Lichtblitze folgen schneller aufeinander, wenn man den Heißeiter erwärmt.





Ein elektronischer Wärmewächter

Eine Temperaturwarnanlage kann man nach dieser Schaltung aufbauen. Die Änderung des Heißleiters bei Erwärmung wird über einen Transistor verstärkt und in einer Glühlampe sichtbar gemacht. Bei kaltem Heißleiter (normale Raumtemperatur) leuchtet die Glühlampe bei eingeschalteter Batterie nicht auf. Erwärmt man jetzt den Heißleiter stark - beispielsweise indem man eine brennende Zigarette oder ein Streichholz in seine Nähe bringt - dann wird der Temperaturanstieg durch Aufleuchten der Glühlampe angezeigt.

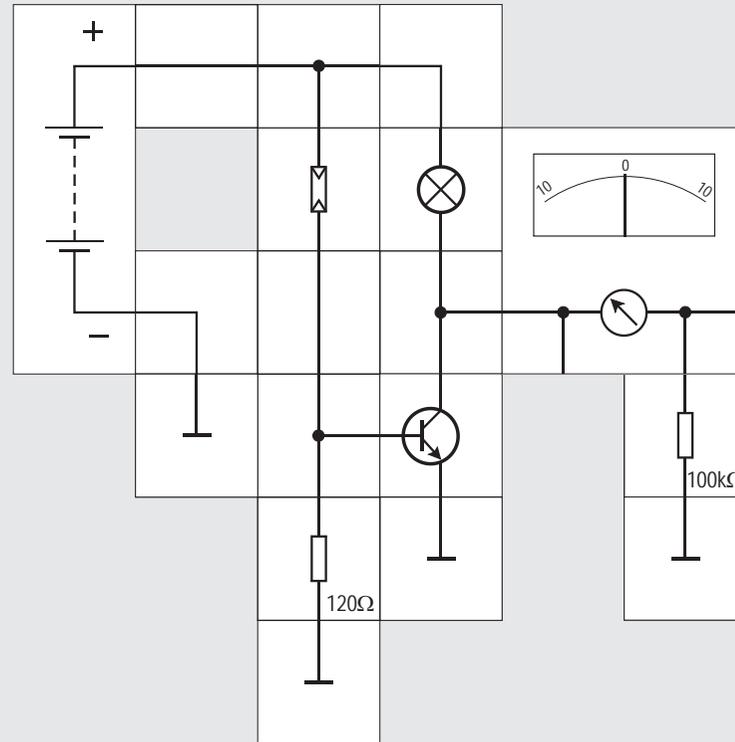




Elektronische Steuerung durch Licht

Diese Schaltung ist der vorigen ähnlich. Der Heißleiter wurde durch den Photowiderstand ersetzt. Man erhält auf diese Weise einen »Lichtwächter«. Schaltet man die Batterie ein, dann wird die Glühlampe durch die Raumhelligkeit, die auf den Photowiderstand trifft, brennen. Schaltet man das Raumlicht aus oder deckt das Loch im Deckel ab, dann verlischt die Glühlampe.

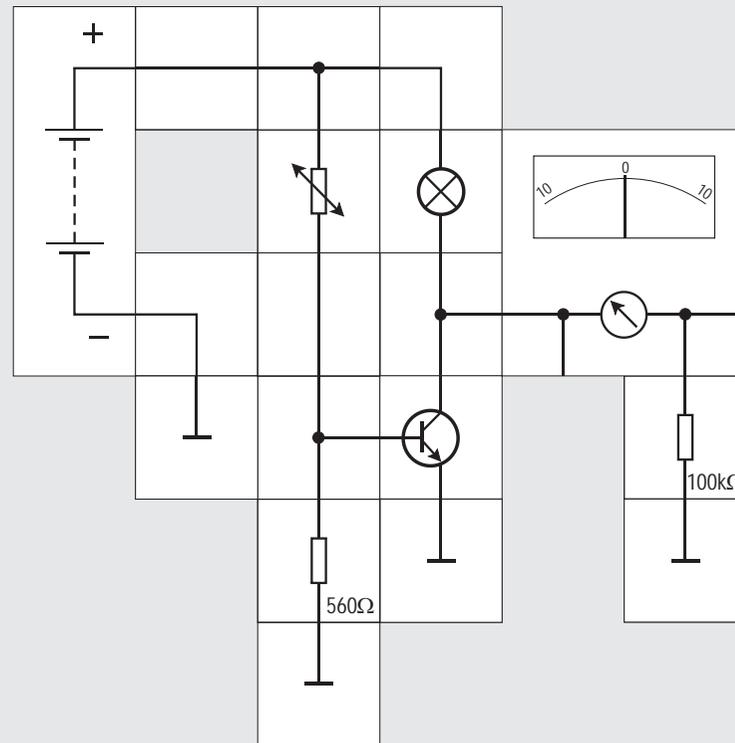
Bei geringer Raumhelligkeit sollte der 120Ω Widerstand gegen einen hochohmigeren (560Ω) ausgetauscht werden.





Messung des Steuervorgangs bei Lichtänderung

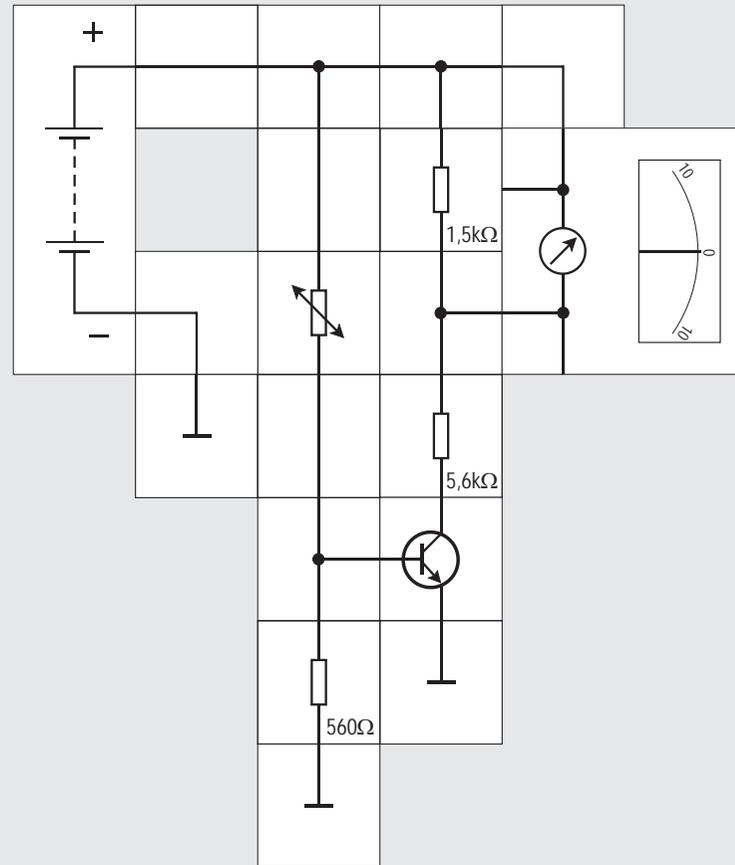
Mit diesem Aufbau lassen sich Änderungen der Belichtung des Photowiderstandes noch genauer nachweisen. Hierzu wurde das Messinstrument eingefügt. An seinem unterschiedlichen Zeigerausschlag kann man erkennen, wenn sich die Belichtung des Photowiderstandes durch die Helligkeitsänderung der Raumbeleuchtung verändert. Das empfindliche Messinstrument spricht schon an, wenn durch die Glühlampe noch nichts angezeigt wird.





Messung des Steuervorgangs bei Temperaturänderung

Auch hier ist das Messinstrument angeschlossen, an dem man die Wirkung des Heißleiters bei Erwärmung (z. B. Streichholz) durch Änderung des Zeigerausschlags erkennt, während gleichzeitig eine Anzeige durch die Helligkeitsänderung der Glühlampe erfolgt.



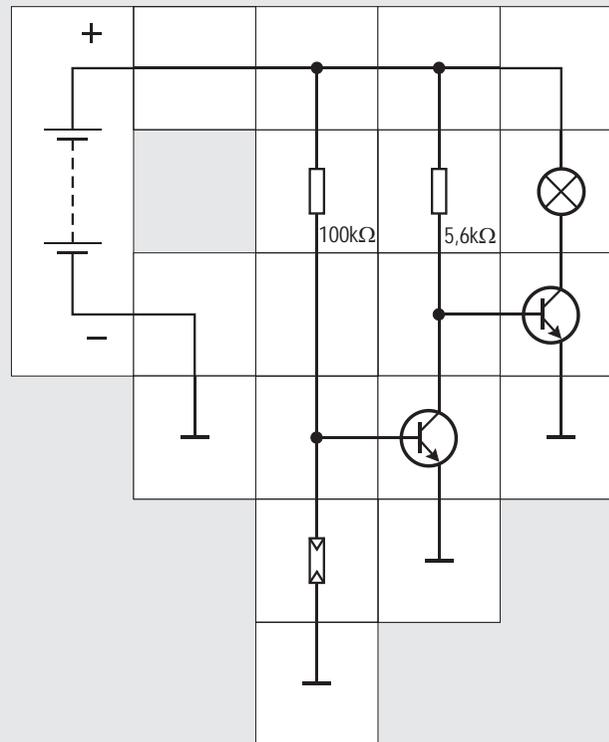


Lectron

Ein empfindlicher Temperaturmesser

Einen empfindlichen Temperaturmesser kann man mit dem Versuch 14 aufbauen. Die Wirkung des Heißleiters wird in dieser Schaltung »verstärkt« und am Messinstrument angezeigt.

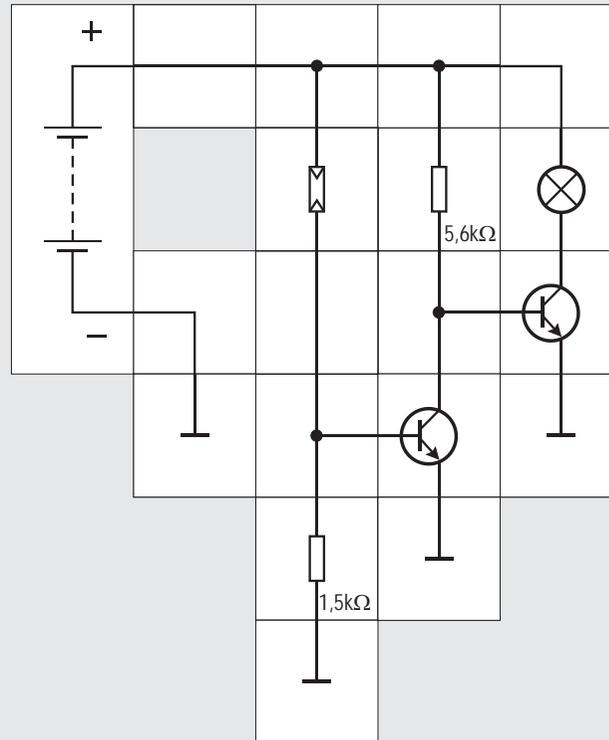
15





Die Lichtschranke

Die Änderung des Photowiderstandes bei unterschiedlicher Beleuchtung wird hier besonders hoch verstärkt. Fällt Licht auf den Photowiderstand, dann brennt die Glühlampe. Deckt man das Loch im Photowiderstands-Baustein ab, so verlöscht die Lampe. Auf diese Weise lässt sich genau und mit hoher Empfindlichkeit feststellen, ob sich im Strahlengang zwischen einer Lichtquelle und dem Photowiderstand ein Gegenstand befindet. Solche Schaltungen werden in der Praxis vielfach zum Zählen von Stückgut verwendet.

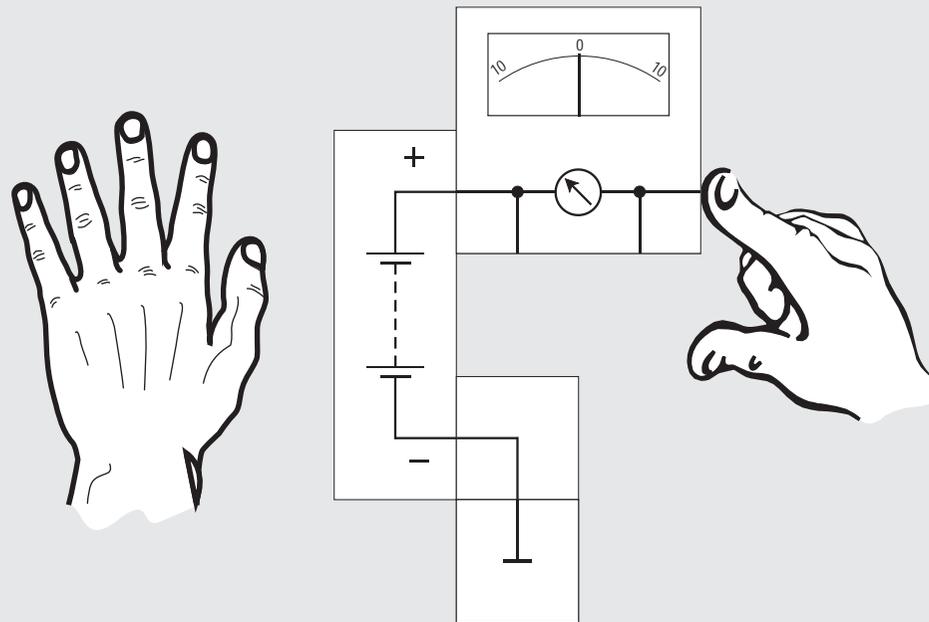




Ein Dämmerungsschalter

Bei diesem Versuch ist gegenüber dem letzten Schaltbild der Photowiderstand an einer anderen Stelle angeordnet. Man erhält damit die umgekehrte Wirkungsweise. Die Schaltung arbeitet dann als sogenannter »Dämmerungsschalter«. Hier brennt die Glühlampe bei genügend starker Beleuchtung nicht. Deckt man das Loch im Photowiderstands-Baustein ab oder unterschreitet die Beleuchtung einen bestimmten Wert, so beginnt die Glühlampe zu leuchten. Auch diese Schaltung ist gegenüber der schon bekannten Anordnung mit nur einem Transistor wesentlich empfindlicher.

17

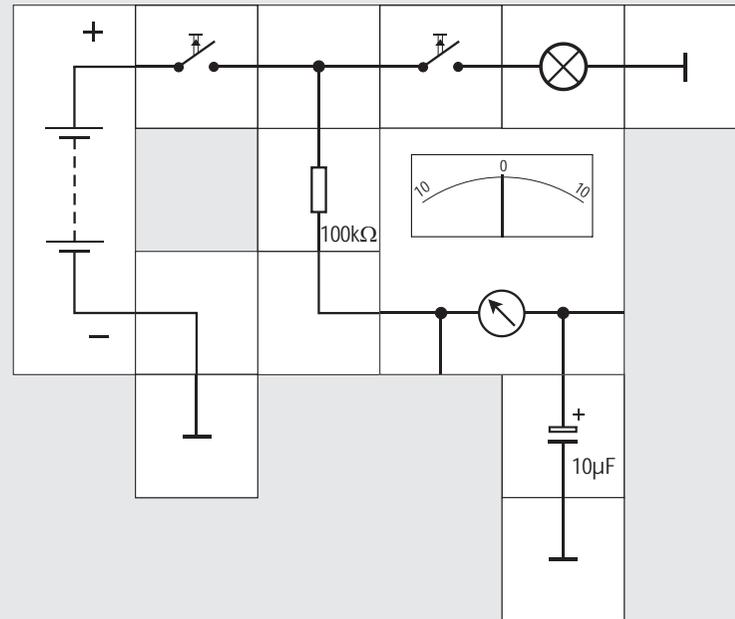




Lectron

Nachweis der Leitfähigkeit des menschlichen Körpers

Der menschliche Körper ist in der Lage, elektrischen Strom zu leiten. Mit diesem Versuch lässt es sich nachweisen. Der eine Anschluss des Messinstrumentes bleibt für den Versuch frei. Berührt man nun den freien Anschluss des Messinstrumentes und die Grundplatte gleichzeitig, dann schlägt der Zeiger kräftig aus. Unser Körper stellt also die elektrische Verbindung her.

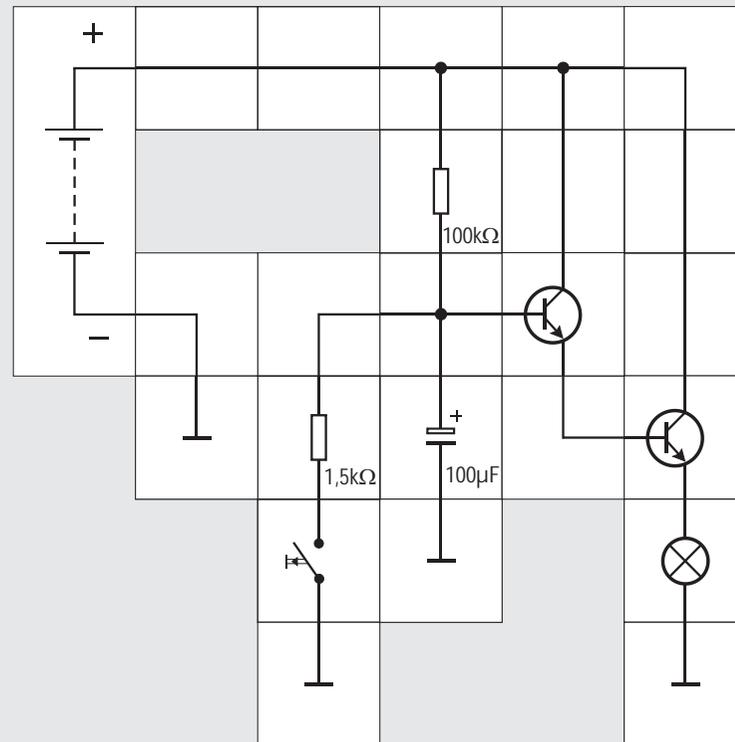




Speicherung der elektrischen Energie

Dieser Versuch zeigt, dass man mit einem KONDENSATOR elektrische Energie speichern kann. Hierzu wird der Kondensator (auf das + Zeichen achten, Anschlüsse nicht vertauschen) zunächst durch Betätigen des linken Tasters an die Batterie angeschlossen, er wird »aufgeladen«; der Zeiger des Messinstrumentes schlägt zunächst bis etwa zur Ziffer 9 aus und geht dann langsam zurück. Nun lässt man den linken Taster los und betätigt anschließend den rechten Taster; der Kondensator entlädt sich und am Instrument sieht man den gleichen Ausschlag zur anderen Seite.

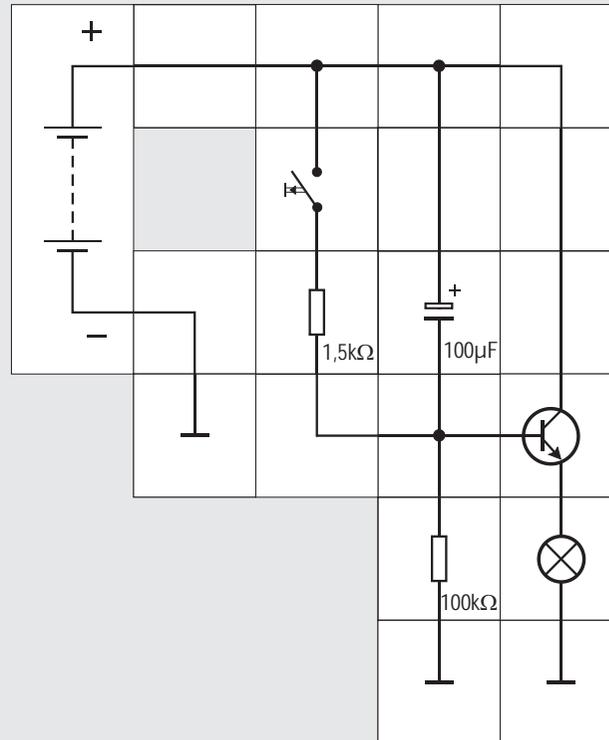
Die Glühlampe dient als Kurzschluss-Schutz der Batterie: Leuchtet sie, hat man versehentlich beide Taster gleichzeitig betätigt.





Automatische Helligkeitssteuerung

Eine selbsttätige Helligkeitsregelung erhält man mit dieser Schaltung. Vor dem Einschalten der Batterie wird der Tastenschalter kurz gedrückt und wieder losgelassen. Schaltet man nun die Batterie ein, dann leuchtet die Glühlampe zunächst nicht auf. Nach kurzer Zeit beginnt sie jedoch zu glühen, und die Helligkeit nimmt gleichmäßig zu. Drückt man wieder die Taste, dann verlöscht die Lampe; beim Loslassen steigt die Helligkeit langsam wieder an.



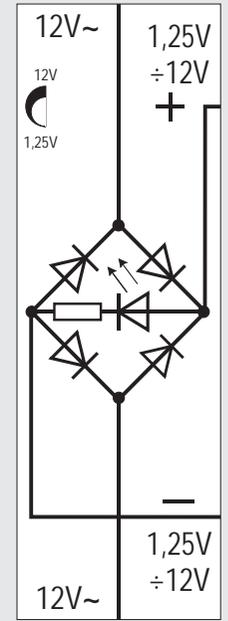
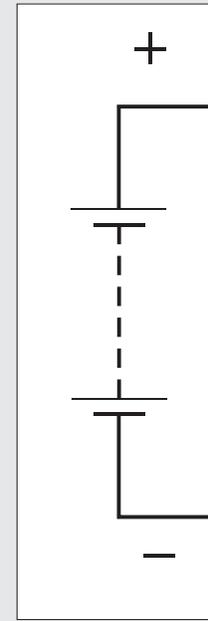
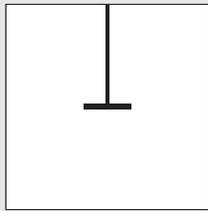
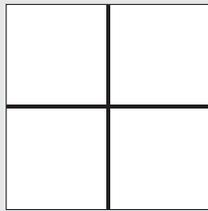
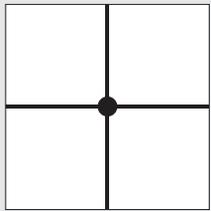
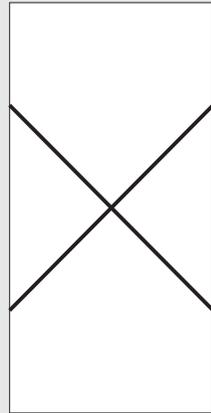
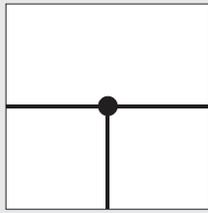
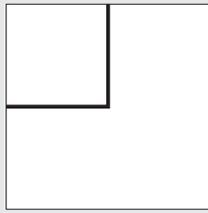
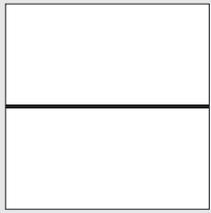
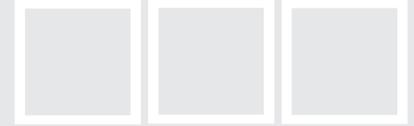


Automatische Dunkelsteuerung

Durch einen anderen Schaltungsaufbau kann man eine gleichmäßige Abnahme der Helligkeit erreichen. Drückt man hier bei eingeschalteter Batterie den Tastenschalter, so leuchtet die Lampe zunächst hell auf. Nach dem Loslassen der Taste wird die Helligkeit langsam geringer, bis die Lampe schließlich verlischt.

Elektronische Schaltungen zur Helligkeitsregelung findet man zum Beispiel in Theatern zur Lichtsteuerung. Auch hier wird das Licht nicht plötzlich ein- oder ausgeschaltet, sondern allmählich von dem einen in den anderen Zustand gesteuert. Mit elektronischen Schaltungen ist das besonders gut möglich.

Wir kennen nun schon einige der vielen Möglichkeiten, die uns die elektronische Schaltungstechnik bietet. Um aber die einzelnen Bauteile näher zu untersuchen und ihre Wirkungsweise zu verstehen, muss man den weiteren Text des Experimentierbuches lesen und dabei die zunächst ganz einfachen, später immer umfangreicheren Versuche genau nach den Anleitungen aufbauen.





Die Verbindungsbausteine

In der Einführung wurde bereits darauf hingewiesen, dass das vorliegende Experimentiersystem keinerlei lose Kabel oder Drähte verwendet. Selbstverständlich benötigt man aber auch für dieses System Verbindungsbausteine zwischen den einzelnen Bauelementen. Der Experimentierkasten enthält, wie wir bereits durch die Vorversuche erfahren haben, hierzu eine ganze Reihe von Verbindungsbausteinen in verschiedener Ausführung. In ihnen befinden sich keine elektrischen Bauteile, wie Widerstände, Kondensatoren und dergleichen, sondern nur durchgehende Verbindungen zwischen zwei oder mehreren Kontaktplättchen. Die einfachste Ausführung dieser Bausteingruppe und damit der einfachste Baustein des Experimentierkastens ist das gerade Verbindungsstück.

Hier sind lediglich zwei gegenüberliegende Kontaktplättchen miteinander verbunden.

Eine Verbindung im rechten Winkel ermöglicht der nächste Baustein. Damit lässt sich eine Ecke im Leitungszug der Schaltung verwirklichen.

Einen Schritt weiter geht der Abzweigungs-Baustein, bei dem zwei gegenüberliegende und ein senkrecht dazu stehendes Kontaktplättchen verbunden sind. Man erhält ein T-förmiges Leitungsstück.

Alle vier Seitenflächen des Grundbausteins sind bei

dem Leitungskreuz verbunden. Dabei ist besonders darauf zu achten, dass die beiden aufeinander senkrecht stehenden Leitungen an ihrer Kreuzungsstelle einen Punkt haben. Bei der T-förmigen Abzweigung wurde die Verbindungsstelle ebenfalls durch einen Punkt gekennzeichnet.

Fehlt dieser Punkt an einer Leitungskreuzung, so bedeutet das, dass die Leitungen isoliert aneinander vorbeigehen. Ein solcher Baustein ist das isolierte Leitungskreuz.

Sowohl beim Lesen der Schaltbilder als auch beim Zusammenbau der Versuchsschaltungen muss man darauf achten, dass die beiden Bausteine ISOLIERTES Leitungskreuz und VERBUNDENES Leitungskreuz nicht verwechselt werden. Beachtet man das nicht, dann wird die Schaltung nicht arbeiten. In bestimmten Fällen können dabei auch einzelne Bauteile überlastet und damit zerstört werden.

Neben dem schon genannten geraden isolierten Leitungskreuz enthält der Experimentierkasten noch einen Zweier-Baustein (er entspricht der Größe von zwei Einzelbausteinen) mit schrägem, isolierten Leitungskreuz.

Die letzte Ausführung in der Gruppe der Verbindungsbausteine stellt die Masseverbindung dar. Hier ist das Kontaktplättchen einer Seitenfläche mit dem Kontaktplättchen an der Bodenfläche des Bausteins ver-

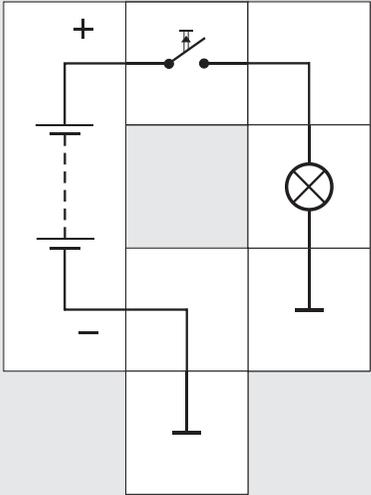
bunden. Über diesen Baustein lässt sich also der Anschluss eines Bauteils mit der Grundplatte (dem Chassis) verbinden. Da dieser Leitungszug direkt nach Masse führt, ist auf ihm das Symbol für die Masseverbindung dargestellt. Dieser Baustein hilft, Verbindungsbausteine zu sparen und dadurch den Aufbau übersichtlicher zu gestalten.

Der Batteriebaustein / Das Netzteil

Die treibende Kraft für alle Versuche ist die im Batteriebaustein einzusetzende Batterie. Es handelt sich um eine handelsübliche Batterie für Transistorradios mit einer Spannung von 9 Volt, die in jedem Radio- und Elektrogeschäft erhältlich ist.

Durch vorsichtiges Zusammendrücken der Seitenwände des weißen Oberteils kann der Batteriebaustein geöffnet werden. Beim Schließen des Deckels ist darauf zu achten, dass die Abwinkelungen der Leitungen beim Schaltsymbol auf die seitlichen Kontaktplättchen hinweisen.

Statt der Batterie kann das dem Ausbausystem beigegebene Netzteil verwendet werden. Es ist kurzschluss- und überlastfest; seine Ausgangsspannung kann seitlich mit einem Schraubendreher zwischen 1,25V und 12V eingestellt werden. Für die Versuche sollte es auf 9V eingestellt sein. Zusätzlich gibt es an den seitlichen Kontaktflächen 12V~ Wechselfspannung ab.





Lectron

Hier taucht nun gleich der erste elektrische Begriff auf: die elektrische SPANNUNG. Das ist die Kraft, mit der die Versuchsschaltungen betrieben werden. Je höher die Spannung, um so größer auch die treibende Kraft. Die häusliche Lichtleitung hat beispielsweise eine Spannung von 230 Volt. Eine solche Spannung ist bereits äußerst gefährlich, wenn man unsachgemäß damit umgeht. Für das Experimentiersystem wurde daher ganz bewusst auf eine Anschlussmöglichkeit an das Lichtnetz verzichtet, um jede Gefahr bei der Durchführung der Versuche auszuschließen. Die verwendete Batterie liefert eine völlig ungefährliche Spannung. Sie ist aber ausreichend, um alle beschriebenen Schaltungen sicher zu betreiben.

Als Maßeinheit für die elektrische Spannung gilt das VOLT, abgekürzt V. Um auch sehr große oder sehr kleine Spannungen einfach bezeichnen zu können, hat man Untereinheiten festgelegt. So sind 1000 V ein Kilovolt (kV), ein tausendstel Volt ist ein Millivolt (mV), ein millionstel Volt ein Mikrovolt (μ V).

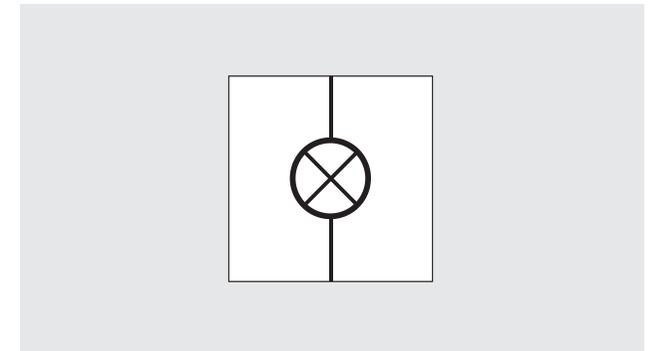
Wenn man die Batterie benutzt, wird die in ihr gespeicherte Kraft allmählich erschöpft, ihre Spannung wird geringer. Das kann auch passieren, wenn man sie sehr lange unbenutzt liegen lässt. Ein Nachlassen der Spannung merkt man daran, dass die mit den Bausteinen aufgebauten Schaltungen nicht

mehr einwandfrei oder überhaupt nicht mehr arbeiten. Soweit braucht es nicht erst zu kommen.

Die im Experimentierkasten enthaltenen Teile ermöglichen eine einwandfreie Kontrolle der Batteriespannung. Sinkt sie unter einen Wert von etwa 7V ab, dann sollte man die Batterie ersetzen. Es muss aber auf jeden Fall wieder der gleiche Batterietyp verwendet werden. Hat man einen Versuch beendet, dann sollte der Batteriebaustein wieder von der restlichen Schaltung getrennt werden. Damit erreicht man die größtmögliche Schonung und eine lange Lebensdauer der Batterie. Bei den meisten Schaltungen ist der Minuspol der Batterie mit der Grundplatte verbunden, er liegt «an Masse».

Der Glühlampenbaustein

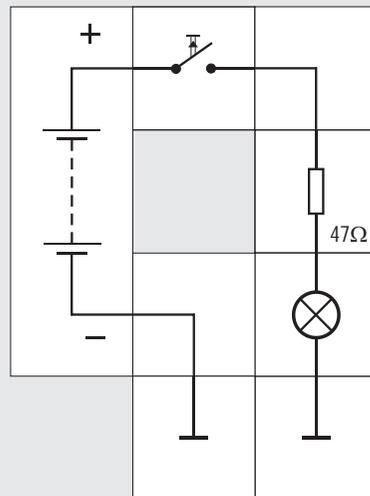
Als einfache Anzeigevorrichtung für die Versuchsschaltungen dient dieser Baustein. Im Kästchen ist eine kleine Schraubfassung eingebaut, in die eine Niederspannungs - Glühlampe eingeschraubt wird. Sollte diese Lampe einmal durchbrennen, dann kann man sie leicht gegen eine neue ersetzen. Auch hier ist aber unbedingt darauf zu achten, dass der gleiche Typ, nämlich eine Glühlampe für 6 V und 0,05 A, verwendet wird. Dieser Typ ist auf die anderen Bauteile abgestimmt. Die Anschlüsse der Glühlampenfassung sind an zwei gegenüberliegende Kontaktplättchen des Bausteins geführt.



Die Wirkung des elektrischen Stromes in einer Glühlampe

Die Bausteine werden entsprechend dem Schaltbild 21 zusammengesetzt. Legt man den Batteriebaustein an und betätigt den Taster, dann leuchtet die Glühlampe sehr hell auf. Man darf den Versuch nur ganz kurz durchführen, da die Glühlampe nur für eine Spannung von 6V gebaut ist, die Batterie aber 9V abgibt. Bei längerem Einschalten würde die Glühlampe bald durchbrennen. Man sieht, dass die Kraft der Batterie, ihre Spannung, eine Arbeit verrichtet: Sie erzeugt Licht. Das wird möglich, weil der Stromkreis von der Batterie über den Taster und die Glühlampe, sowie die Masseverbindung und die Grundplatte geschlossen ist. Es fließt also STROM. Das ist der zweite wichtige Begriff der Elektrotechnik.

22





Lectron

Aus dem bisher Gesagten kann man schon ein paar wesentliche Grundsätze erkennen:

Als Kraftquelle für elektrische Anlagen benötigt man eine Spannung. Die Spannung ist immer vorhanden, auch wenn keine weiteren Bauelemente angeschlossen sind. Verbindet man die beiden Pole der Spannungsquelle über ein oder mehrere Bauelemente, dann fließt ein Strom. Der Stromkreis ist geschlossen.

Würde man die beiden Pole der Batterie direkt über eine Leitung verbinden, dann erhielte man einen sogenannten KURZSCHLUSS. Der dabei auftretende Strom wäre sehr hoch und die Batterie würde darunter leiden. Das sollte in jedem Fall vermieden werden.

Auch der elektrische Strom hat eine Maßeinheit, und zwar das AMPERE, abgekürzt A. Als Untereinheit kennt man das Milliampère (mA) = ein tausendstel Ampère, das Mikroampère (μA) = ein millionstel Ampère und für sehr große Ströme, wie sie aber bei den hier durchzuführenden Versuchen nicht vorkommen, das Kiloampère (kA) = 1000 Ampère.

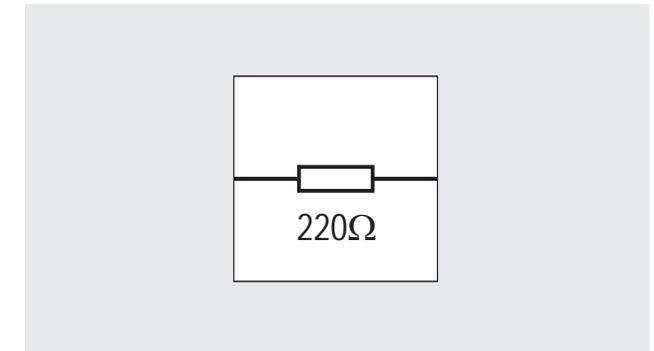
Die Widerstands – Bausteine

Der dritte besonders wichtige Begriff in der Elektrotechnik ist der WIDERSTAND. Kein Bauteil, auch nicht ein kurzes Drahtstück, bildet unter normalen Be-

dingungen einen vollkommenen Kurzschluss für eine Spannung. Der auftretende Verlust, eben der Widerstand, ist von der Materialzusammensetzung, von der Länge und dem Querschnitt abhängig. Ein langer und dünner Draht hat einen größeren Widerstand als ein kurzer und dicker Draht des gleichen Materials.

Bei Kabeln und Verbindungsdrähten ist ein hoher Widerstand grundsätzlich unerwünscht. Umgekehrt dazu ist für viele Fälle ein ganz bestimmter Widerstand notwendig. Der Experimentierkasten enthält zu diesem Zweck verschiedene Widerstands – Bausteine. Wie Strom und Spannung, so hat auch der elektrische Widerstand eine Maßeinheit: das OHM. In der Abkürzung wurde dafür der griechische Buchstabe Ω gewählt. Auch für die Widerstandseinheit gibt es wieder die schon bekannte Vorsilbe Kilo: $1\text{ k}\Omega = 1000\text{ Ohm}$, zu der in späteren Versuchen noch die Vorsilbe Mega kommt: $1\text{ M}\Omega = 1\text{ Million Ohm}$.

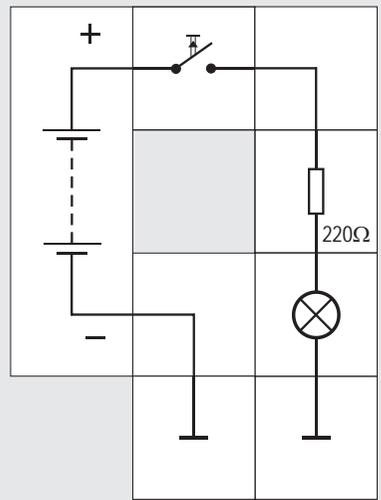
Spannung, Strom und Widerstand haben eine ganz bestimmte Beziehung zueinander. Bleibt die Spannung auf einem festen Wert, dann wird der Strom um so kleiner, je größer der Widerstand im Stromkreis wird. Bei Verdoppelung des Widerstandes fließt nur noch der halbe Strom. Verringert man den Widerstand auf die Hälfte seines ursprünglichen



Wertes, dann fließt der doppelte Strom. Andererseits fließt bei gleich bleibendem Widerstand auch ein doppelt so großer Strom, wenn man die angelegte Spannung verdoppelt. Zwei weitere Versuche sollen diese Zusammenhänge zeigen.

Einfluss eines zusätzlichen Widerstandes im Stromkreis

Zwischen das Winkelstück und den Glühlampenbaustein des Versuches 21 wird der Widerstandsbaustein $47\ \Omega$ eingefügt. Schaltet man die Batterie ein, dann brennt die Glühlampe nicht mehr so hell wie beim Versuch 21. Infolge des zusätzlichen Widerstandes fließt ein geringerer Strom, der den Glühfaden der Lampe nicht mehr so stark erhitzen kann.

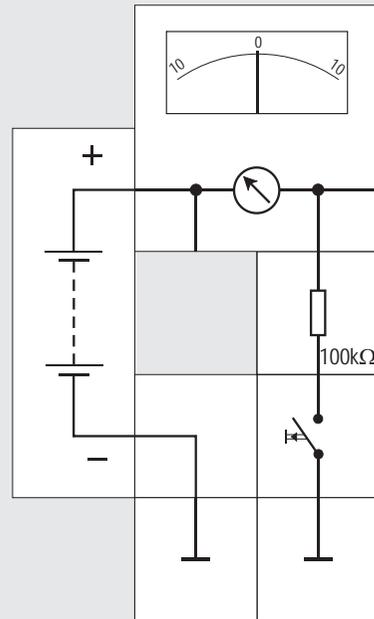




Einfluss eines größeren Widerstandes im Stromkreis

Der Widerstandsbaustein mit 47Ω wird gegen den mit 220Ω ausgetauscht. Die Glühlampe brennt nun beim Anlegen der Batterie nur noch ganz schwach. Der Strom ist also geringer geworden.

24

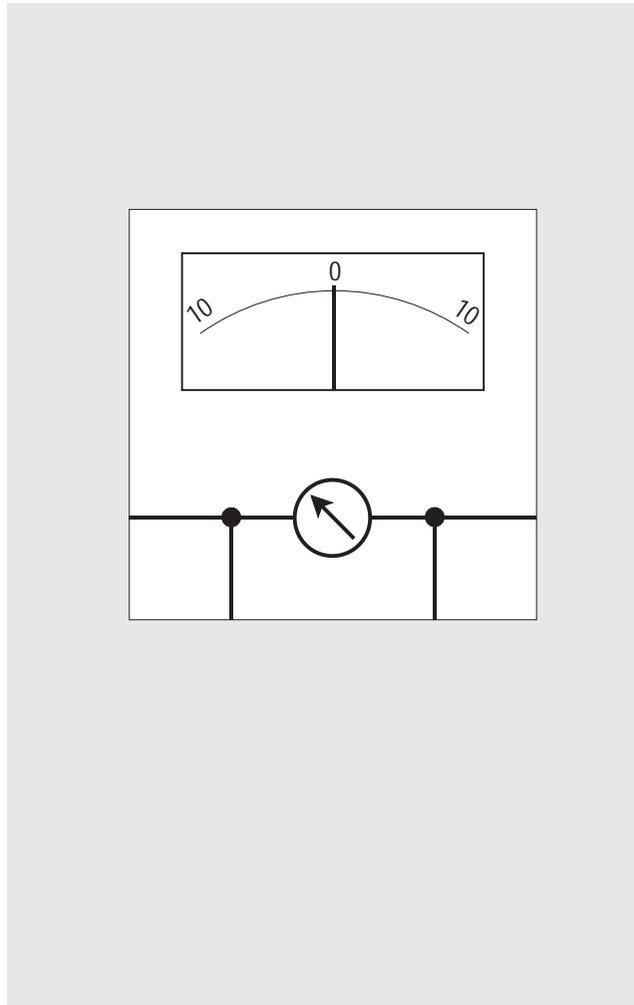




Die Versuche 21, 22 und 23 sind noch sehr einfach, man kann daraus aber den Zusammenhang der jetzt schon bekannten elektrischen Größen erkennen. Für die weiteren Versuche soll daher nicht mehr einfach beurteilt werden, ob die Lampe hell oder dunkel brennt, sondern es soll wieder das im Experimentierkasten enthaltene Messinstrument angewendet werden.

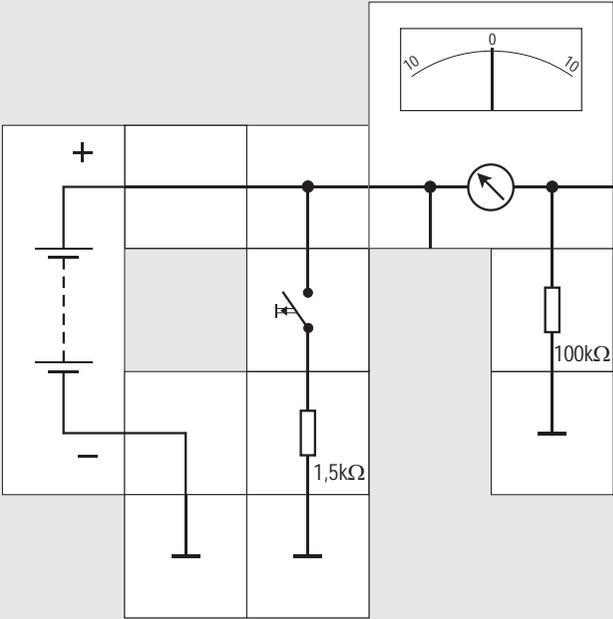
Das Anzeige-Instrument

Der Viererbaustein mit dem Anzeigeinstrument enthält ein hochempfindliches Drehspulmesswerk. Es schlägt bei einem Strom von $100 \mu\text{A}$ bereits voll aus und hat einen Eigenwiderstand von $4 \text{ k}\Omega$. Diese Werte sind in den Versuchen berücksichtigt. Die Skala des Instrumentes ist von -10 über 0 bis 10 geteilt. Die Nullstellung des Zeigers ist in der Mitte. Fließt der Strom von links nach rechts durch das Instrument, schlägt der Zeiger nach rechts aus, bei umgekehrter Stromrichtung entsprechend nach links. Dadurch ist eine falsche Polung des Instrumentes ausgeschlossen. In den Versuchsbeschreibungen, bei denen das Instrument verwendet wird, ist jeweils angegeben, welchem Skalenwert ein bestimmter Strom oder eine bestimmte Spannung entspricht. Beide Anschlüsse sind doppelt herausgeführt (s.a. Anhang B)



Die Anzeige des elektrischen Stromes durch ein Messinstrument

Mit den angegebenen Bauteilen wird eine neue Schaltung aufgebaut. Betätigt man nach dem Zusammensetzen der Teile den Taster, dann schlägt das Instrument aus. Mit der Versuchsschaltung 24 lässt sich demnach die Batteriespannung prüfen. Bei der angegebenen Sollspannung von 9 V für eine neue Batterie muss der Zeiger etwa bis zum Skalenwert 9 ausschlagen. Ein Skalenwert von 7 lässt erkennen, dass die Batterie nur noch eine Spannung von 7 V hat. Sie ist dann nahezu verbraucht und sollte ausgetauscht werden. Der in Reihe mit dem Instrument liegende Vorwiderstand von $100 \text{ k}\Omega$ ist sehr hochohmig. Es fließt daher nur ein geringer Strom, nämlich der, den das Instrument bis zum gewünschten Ausschlag von 9 V braucht. Der Batterie wird deshalb nur sehr wenig Leistung entzogen, sie wird nur gering belastet. Das ist eine wesentliche Voraussetzung für Spannungsmesser. Sie sollen möglichst hochohmig sein, damit die Spannungsquelle nur gering belastet wird.

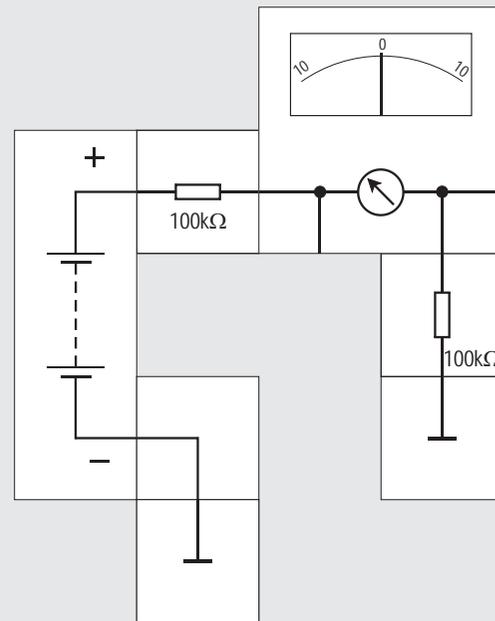




Die Belastung der Batterie durch einen Widerstand

Zwischen das Messinstrument und die Batterie der Schaltung 24 wird noch ein Abzweigungsbaustein eingefügt. Von der Abzweigung führt eine Verbindung über einen Taster und einen $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand nach Masse. Betätigt man den Taster, wird die Batterie durch diesen zweiten Widerstand belastet. Man wird jedoch feststellen, dass sich die Anzeige am Instrument bei dieser Belastung kaum ändert. Nur bei sehr stark verbrauchter Batterie oder bei Verwendung sehr niederohmiger Widerstände kann man in der Schaltung eine gewisse Abweichung von der unbelasteten Spannung feststellen. Das liegt daran, dass auch die Batterie einen Eigenwiderstand (Innenwiderstand) hat, der bei zunehmender Alterung ansteigt und sich dann störend bemerkbar macht.

26

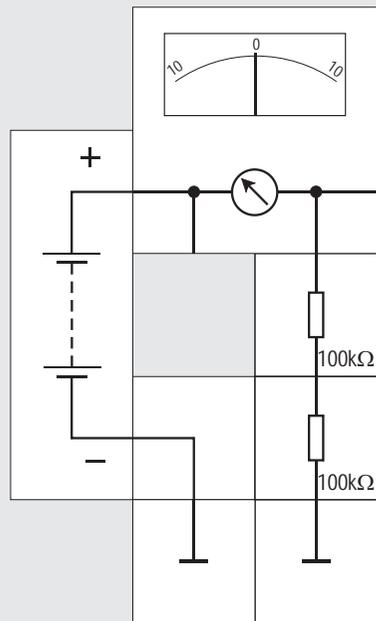




Der Einfluss des Vorwiderstandes auf den Ausschlag des Messinstrumentes

Der Versuch 24 hat schon gezeigt, dass das Instrument bei gleichbleibendem Vorwiderstand als Spannungsmesser zu verwenden ist. Gleichzeitig ist die Anzeige aber auch ein Maß für den fließenden Strom. Bleibt die Spannung konstant, dann ist der Strom vom Gesamtwiderstand des Stromkreises abhängig. Im Versuch 24 entsprach die Anzeige einem fließenden Strom von etwa $90 \mu\text{A}$. In den Stromkreis der Versuchsschaltung 24 wird nun zusätzlich ein weiterer Widerstand von $100 \text{ k}\Omega$ eingefügt. Der Ausschlag des Instrumentes reicht jetzt nur noch bis zum Skalenwert 4,5 - das entspricht einem Strom von $45 \mu\text{A}$. Der doppelte Widerstand im Stromkreis setzt also den Strom auf die Hälfte herab (s.a. Anhang B, Messbereichserweiterung).

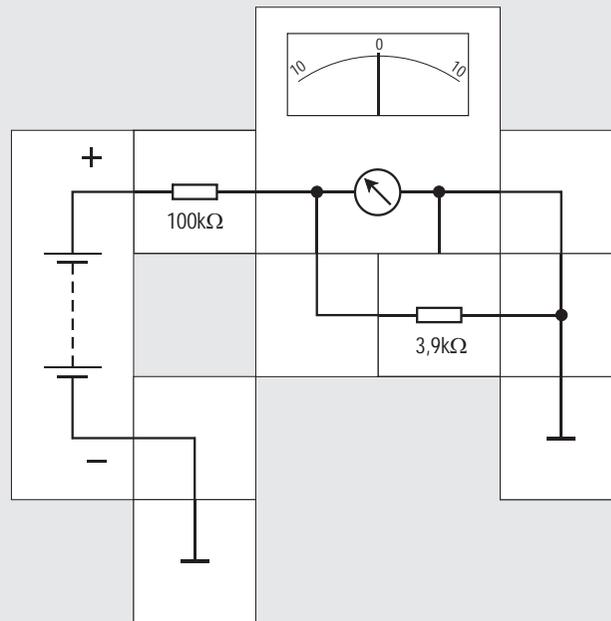
Man kann durch Austauschen des einen $100 \text{ k}\Omega$ Widerstandes gegen andere Werte die Versuchsreihe beliebig fortsetzen und den Zusammenhang zwischen Widerstand und Strom nachweisen. Lediglich ein $100 \text{ k}\Omega$ Widerstand muss immer im Stromkreis des Instrumentes bleiben, damit der Vollausschlag nicht überschritten wird.





Nachweis der Gleichmäßigkeit des Stromes im gesamten Stromkreis

Dieser Versuchsaufbau ähnelt dem vorhergehenden. Das Anzeigeelement befindet sich nun an einer anderen Stelle des Stromkreises. Da jedoch die gleichen Widerstandswerte wie im vorigen Schaltbild verwendet werden, zeigt das Instrument wieder den gleichen Ausschlag. Auch wenn man das Instrument an einer beliebigen anderen Stelle des Stromkreises einsetzt, wird sich der Ausschlag nicht ändern. Man erkennt daraus, dass der Strom in einem geschlossenen Stromkreis überall gleich ist, einerlei an welcher Stelle des Stromkreises gemessen wird.





Die Wirkung des Parallelwiderstandes zum Instrument

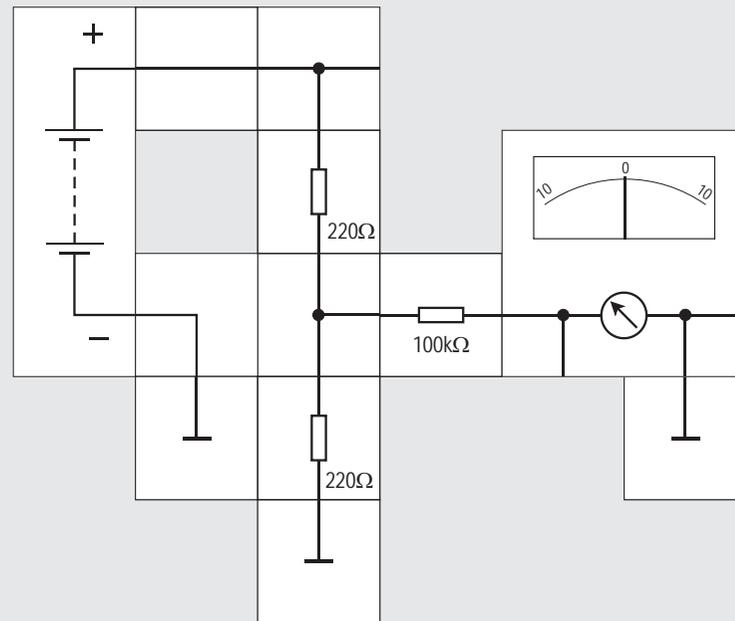
Die Schaltung enthält wieder den bisher benutzten $100\text{ k}\Omega$ Widerstand in Reihe mit dem Instrument. Zusätzlich werden im Stromkreis zwei Abzweigungen angeordnet, die über Winkelstücke an einen Widerstandsbaustein von $3,9\text{ k}\Omega$ führen. Dieser Widerstand liegt also parallel zum Anzeigeelement. Die Größe des Parallelwiderstandes entspricht nahezu dem Eigenwiderstand des Anzeigeelementes ($4\text{ k}\Omega$). Legt man den Batteriebaustein an, dann schlägt das Instrument nur noch bis etwa zum Skalenwert 4,5 aus. Das entspricht wieder einem Strom von $45\text{ }\mu\text{A}$. Entfernt man zur Kontrolle den Parallelwiderstand, dann erfolgt wieder ein Ausschlag bis zum Skalenwert 9 entsprechend einem Strom von $90\text{ }\mu\text{A}$. Der Versuch zeigt, dass ein dem Instrument parallel geschalteter Widerstand von der gleichen Größe, wie der Instrumentenwiderstand selbst, die Stromanzeige am Instrument halbiert. Der Strom wird am oberen Abzweigbaustein in zwei Hälften aufgeteilt und fließt dann je zur Hälfte über den In-

strumentenwiderstand (Innenwiderstand) und den PARALLELWIDERSTAND. Im rechten Abzweigbaustein werden die beiden Teilströme wieder zusammengeführt. Auf diese Weise lässt sich also der Strommessbereich eines Instrumentes erweitern. Wählt man den Parallelwiderstand noch kleiner, dann fließt über diesen ein noch größerer Anteil des Gesamtstromes und über das Instrument ein entsprechend geringerer Anteil. Man kann den Parallelwiderstand beispielsweise auch so wählen, dass das Instrument nur $1/5$ oder $1/10$ des Gesamtstromes anzeigt. Derartige Messbereichserweiterungen werden in den späteren Versuchen notwendig.

Durch Zukauf kann man zwei Nebenschlusswiderstands-Bausteine mit den gängigen Messbereichen $5\text{mA}/50\text{mA}$ (2228) sowie $10\text{mA}/100\text{mA}$ (2227) erwerben (s. Anhang B).

Die zuletzt gewonnenen Erkenntnisse sollen hier noch einmal zusammengefasst werden:

Durch einen Vorwiderstand (auch Reihen- oder Serienwiderstand genannt) wird ein Drehspul - Messinstrument auf einen bestimmten Spannungsmessbereich abgeglichen. Durch einen Parallelwiderstand (auch Nebenwiderstand oder SHUNT genannt) lässt sich der Strommessbereich des Instruments erweitern.

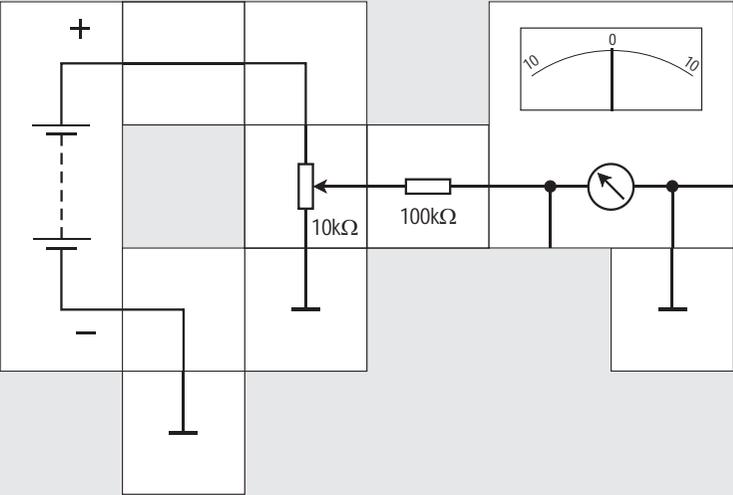


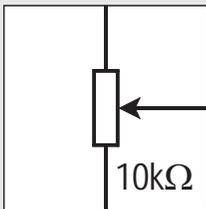


Ein Spannungsteiler aus Festwiderständen

Der nachfolgende Versuch soll das Prinzip des sogenannten SPANNUNGSTEILERS erklären. Die Batterie wird hierzu durch zwei gleichgroße, in Reihe liegende Widerstände von $220\ \Omega$ belastet. Für die Versuchsdurchführung werden zwei Abzweigungen benötigt. Das Anzeigeinstrument wird als Spannungsmesser verwendet. Es erhält wieder den Vorwiderstand von $100\ \text{k}\Omega$. Misst man nun die Spannung zwischen der oberen Abzweigung und Masse, dann erhält man wieder die volle Batteriespannung entsprechend dem Skalenwert von 9. Wenn man aber zwischen der unteren Abzweigung und Masse misst, dann schlägt das Instrument nur noch bis zum Skalenwert 4,5 aus. Das bedeutet in diesem Falle eine Spannung von 4,5 V, also die Hälfte des zuerst gemessenen Wertes. Zwei gleichgroße Widerstände im Stromkreis teilen also auch die Spannung in zwei gleiche Teile auf. Würde man die Widerstände ungleich wählen, dann würden auch jeweils ungleiche Spannungen zu messen sein. Die Größen der Spannungen verhalten sich dabei wie die Widerstandsgrößen.

30





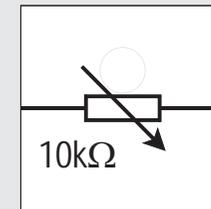
Die Potentiometer – Bausteine

Die bisher beschriebenen Widerstands – Bausteine sind Festwiderstände. Daneben enthält das Experimentiersystem aber auch einstellbare Widerstände. Bei diesen bewegt sich ein Schleifkontakt kreisförmig auf einer Widerstandsbahn. Man kann an die beiden Enden der Widerstandsbahn je eine Leitung anschließen und eine dritte Zuführung an den

Schleifkontakt legen. Damit erhält man ein sogenanntes POTENTIOMETER. Der bereits durchgeführte Spannungsteilerversuch lässt sich mit einem solchen Baustein erweitern.

Ein stetig einstellbarer Spannungsteiler

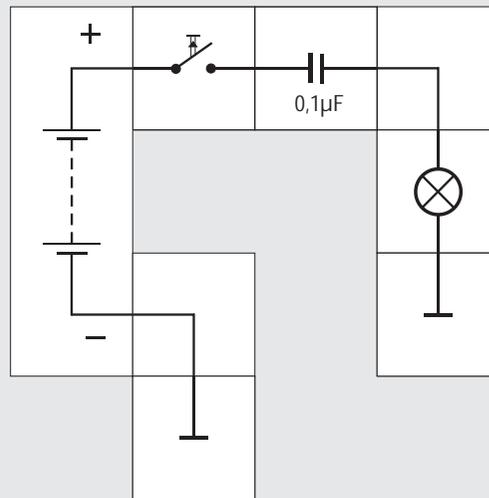
Die Batterie wird mit einem Potentiometer von $10\text{k}\Omega$ belastet. Das Anzeigeelement ist auch hier wieder als Spannungsmesser geschaltet. Es liegt über einen Vorwiderstand von $100\text{ k}\Omega$ zwischen dem Schleifkontakt des Potentiometers und Masse. Befindet sich der Schleifkontakt am rechten Ende der Widerstandsbahn, dann zeigt das Instrument die volle Batteriespannung an. Dreht man das Potentiometer nun langsam durch, dann wird die angezeigte Spannung immer geringer. Hat der Schleifkontakt das linke Ende der Widerstandsbahn erreicht, dann wird die angezeigte Spannung Null. Mit dem Potentiometer lässt sich demnach eine vorhandene Spannung stufenlos von Null bis zum vollen Spannungswert einstellen.



Der Regelwiderstands – Baustein

Im Lectron Experimentiersystem ist noch ein weiterer einstellbarer Widerstand enthalten. Hier sind jedoch nur ein Ende der Widerstandsbahn und der Schleifkontakt angeschlossen. Man erhält auf diese Weise einen stufenlos veränderlichen Widerstand. Die beiden Anschlüsse sind an gegenüberliegende Kontaktplättchen geführt.

31





Die Kondensator-Bausteine

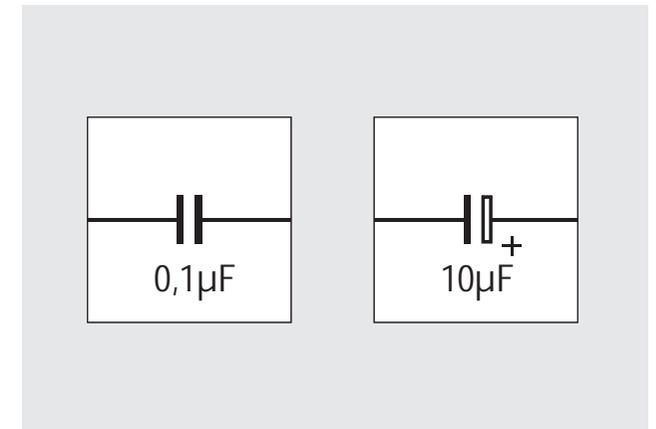
Ein KONDENSATOR besteht im Prinzip aus zwei metallischen Platten, zwischen denen sich eine isolierende Schicht befindet. Die einfachste Isolierung ist Luft. Zwei sich gegenüberstehende Platten mit einem gewissen Abstand stellen also schon einen Kondensator dar.

Die wesentliche Eigenschaft eines Kondensators ist seine Fähigkeit, elektrische Energie zu speichern. Wie sich das auswirkt, zeigen die folgenden Versuche. Je nach Aufbau und dem verwendeten Material eines Kondensators kann er viel oder wenig elektrische Energie speichern. Er hat ein ganz bestimmtes Fassungsvermögen, seine KAPAZITÄT. Sie ist abhängig von der Plattengröße, dem Abstand der Platten und dem dazwischenliegenden Isoliermaterial. Luft als Isolator wird in der Praxis nur bei veränderlichen ABSTIMMKONDENSATOREN, den DREHKONDENSATOREN, verwendet. Die heute üblichen Festkondensatoren enthalten beispielsweise Papier, Kunststofffolien oder keramische Materialien als isolierende Zwischenschicht.

Einen abweichenden Aufbau hat der sogenannte ELEKTROLYTKONDENSATOR. Bei diesem Bauteil hat man im Prinzip wieder zwei Metallflächen, zwischen denen eine Papierschicht liegt. Das stark saugfähige Papier ist mit einer leitenden Flüssigkeit getränkt.

Durch einen besonderen elektrochemischen Prozess wird erreicht, dass sich auf der Oberfläche der einen Metallfläche eine isolierende Schicht bildet, die den eigentlichen Isolator darstellt. Da die Schicht äußerst dünn ist, wird das Speichervermögen des Elektrolytkondensators (seine KAPAZITÄT) bei gleichen äußeren Abmessungen im Verhältnis zu einem gewöhnlichen Kondensator außerordentlich hoch. Der normale Elektrolytkondensator darf aber nur in einer vorgeschriebenen Polarität an eine Spannung angeschlossen werden, andernfalls wird er zerstört. Die erstgenannten Kondensatoren sind dagegen polunabhängig. Das geht auch schon aus den Schaltsymbolen hervor. Der dicke, ausgezogene Strich beim Elektrolytkondensator bedeutet immer minus, das flache Kästchen ist der Pluspol. In den Schaltbildern wird die Polarität des Elektrolytkondensators immer mit angegeben. In der Fachsprache bezeichnet man den Elektrolytkondensator kurz als ELKO.

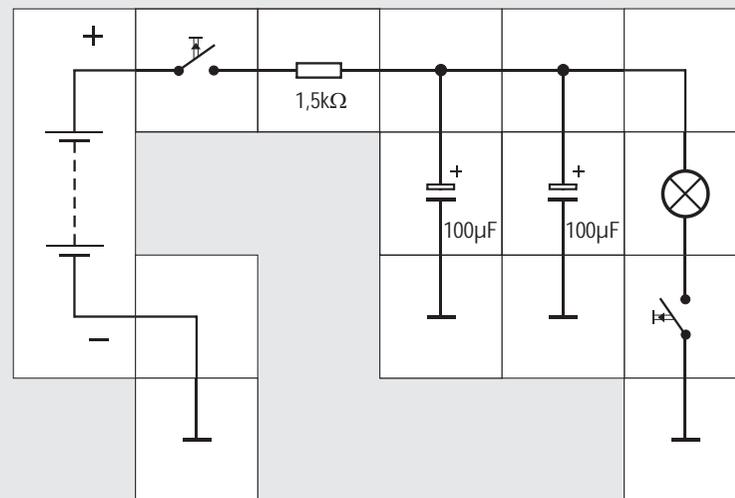
Die Kapazität eines Kondensators hat wieder eine Maßeinheit: Das FARAD. Die Grundeinheit Farad ist aber eine sehr große Kapazität, die in der Praxis kaum vorkommt. Als größte Untereinheit in der Radiotechnik und Elektronik kennt man das Mikrofarad (μF) = ein millionstel Farad und das Picofarad (pF) = ein millionstel Mikrofarad.

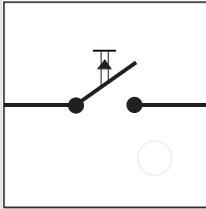


Das Verhalten eines Kondensators im Gleichstromkreis

Mit dem Versuch 31 soll nachgewiesen werden, dass ein Kondensator im Gleichstromkreis der Batterie einen Stromfluss verhindert. Die Batterie, ein Kondensator von $0,1\mu\text{F}$ und die Glühlampe liegen hierzu in Reihe. Schaltet man die Batterie ein, dann leuchtet die Glühlampe nicht auf. Der Kondensator sperrt also den Batteriestrom.

32





Die Tastenschalter

Für kurzzeitige Schaltvorgänge sind die Bausteine mit Tastenschalter vorgesehen. Der Experimentierkasten enthält einen Tastenschalter, bei dem der Kontakt im Ruhezustand geöffnet ist. In Arbeitsstellung, also wenn die Taste gedrückt wird, sind die beiden gegenüberliegenden Kontaktplättchen verbunden. Man spricht daher auch von einer Taste mit ARBEITSKONTAKT oder kurz von einer ARBEITSTASTE. Im Gegensatz hierzu gibt es auch eine Taste, bei der die Kontaktplättchen im Ruhezustand verbunden sind. Beim Drücken wird der Kontakt unterbrochen. Es ist also ein Tastenschalter mit RUHEKONTAKT, eine RUHE-TASTE.

Nachweis der Energiespeicherung mit einem Kondensator

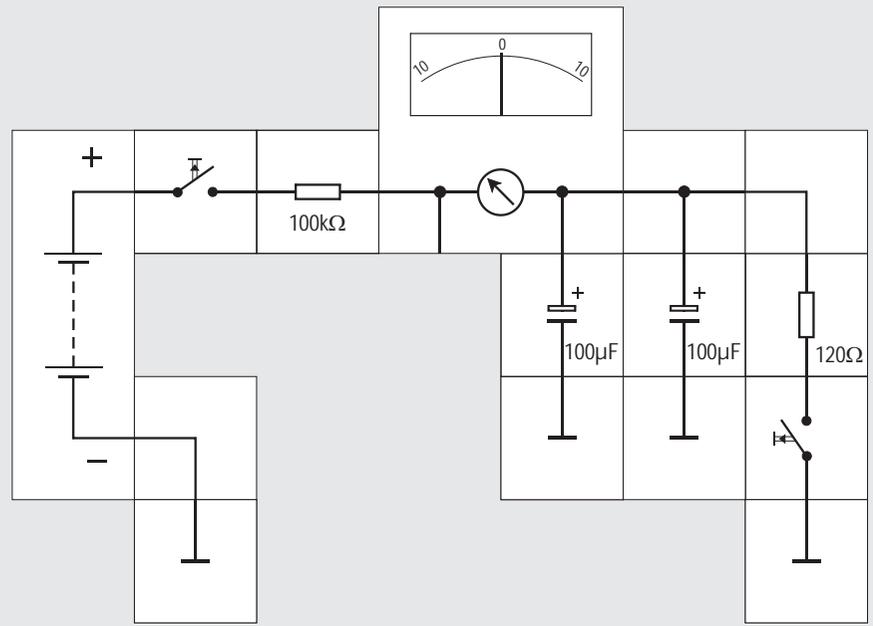
In dieser Schaltung lässt sich die Fähigkeit des Kondensators, elektrische Energie zu speichern, darstellen. Man benutzt dazu die beiden Elkos von $100\mu\text{F}$ und schaltet sie parallel. Wie schon erwähnt, muss dabei auf die richtige Polarität geachtet werden. Über einen Vorwiderstand von $1,5\text{ k}\Omega$ sind die Kondensatoren mit der Batterie verbunden. Parallel zu den Elkos liegt über den Tastenschalter die Glühlampe. Schließt man den «Batterietaster», dann wird den Elkos über den Vorwiderstand Energie zugeführt. Sie laden sich jetzt auf die volle Batteriespannung auf. Nach einigen Sekunden betätigt

man nun den anderen Tastenschalter. Die Glühlampe wird dabei kurz aufleuchten. In diesem Augenblick geben die Elkos die gespeicherte Energie über die Glühlampe wieder ab. Ist das erfolgt, dann kann die Glühlampe nicht mehr brennen, denn sie liegt über den Vorwiderstand von $1,5\text{ k}\Omega$ an der Batterie. Der dabei fließende Strom ist so gering, dass er zum Aufheizen des Glühfadens nicht ausreicht.

Lässt man den Tastenschalter los und betätigt wieder den ersten, dann können sich die Elkos erneut aufladen. Nach einigen Sekunden ist die gespeicherte Energie durch Tastendruck wieder zu entnehmen. Entfernt man einen der beiden Elkos, dann reicht die gespeicherte Energie des übrigbleibenden kaum mehr aus, um die Glühlampe bei der Entladung aufleuchten zu lassen. Das zeigt noch einmal, dass die gespeicherte Energie von der Kapazität des Kondensators abhängt.

Die Versuchsschaltung 32 entspricht in ihrem Aufbau einer auch in der Praxis vorkommenden Schaltung. Sie stellt das bekannte Blitzlichtgerät dar, wie es für fotografische Blitzlichtaufnahmen benutzt wird. An Stelle der gewöhnlichen Glühlampe tritt dort lediglich eine Entladungsröhre, deren Leuchtstoff durch die Entladung des Kondensators und den damit verbundenen starken Stromfluss sehr hell aufleuchtet.

33





Der Aufladestrom bei einem Kondensator

Benutzt man das Anzeigeeinstrument, dann lassen sich die Verhältnisse beim Auf- und Entladen eines Kondensators genau untersuchen. In die Schaltung wird zunächst nur ein Elko von $100\ \mu\text{F}$ eingesetzt. Über das Anzeigeeinstrument und einen Vorwiderstand von $100\ \text{k}\Omega$ verbindet man den Elko mit der Batterie. Parallel zum Elko ist über einen Schutzwiderstand von $120\ \Omega$ der Tastenschalter angeordnet. Würde man den Elko direkt über den Tastenschalter entladen, dann könnte durch den kurzzeitig auftretenden hohen Entladestrom der Tastenkontakt beschädigt werden. Eine Kondensatorenentladung sollte daher immer über einen zusätzlichen Widerstand erfolgen, wie er beispielsweise auch im Versuch 32 durch die Glühlampe verwirklicht wurde.

Der Versuch beginnt damit, dass der Tastenschalter gedrückt wird. Dadurch erreicht man eine vollkommene Entladung des Elkos, falls dieser von den vor-

hergehenden Versuchen noch eine Restladung haben sollte. Nun wird dieser Tastenschalter wieder losgelassen und anschließend der Batteriebaustein mit dem anderen angeschaltet. Dabei beobachtet man den Ausschlag des Anzeigeeinstrumentes. Der Zeiger wird dabei zunächst weit ausschlagen und dann langsam in seine Ruhelage zurückkehren. Nach etwa 30 Sekunden hat der Instrumentenzeiger den Nullpunkt auf der Skala wieder erreicht. Im Augenblick des Einschaltens war im Elko keine elektrische Energie gespeichert. Es hatte also noch viel Energie Platz. Der Elko stellte daher im Einschalt Augenblick einen Kurzschluss dar. Die von der Batterie gelieferte Energie konnte demzufolge anfangs sehr schnell in den Elko hineinfließen, was den zunächst sehr hohen Ausschlag des Anzeigeeinstrumentes bewirkte. Der Einschaltstrom wird nur durch den Vorwiderstand von $100\ \text{k}\Omega$ und den InstrumentenInnenwiderstand begrenzt. Hat der Elko nun aber schon etwas Energie gespeichert, dann wird der Stromfluss geringer und damit der Ausschlag des Instrumentes kleiner. Mit fortschreitender Aufladung des Elko nimmt also der Aufladestrom langsam ab. Ist der Elko voll aufgeladen, dann kann kein Strom mehr fließen. Zwischen der Spannung an der Batterie und der Spannung am Elko besteht kein Unterschied mehr.

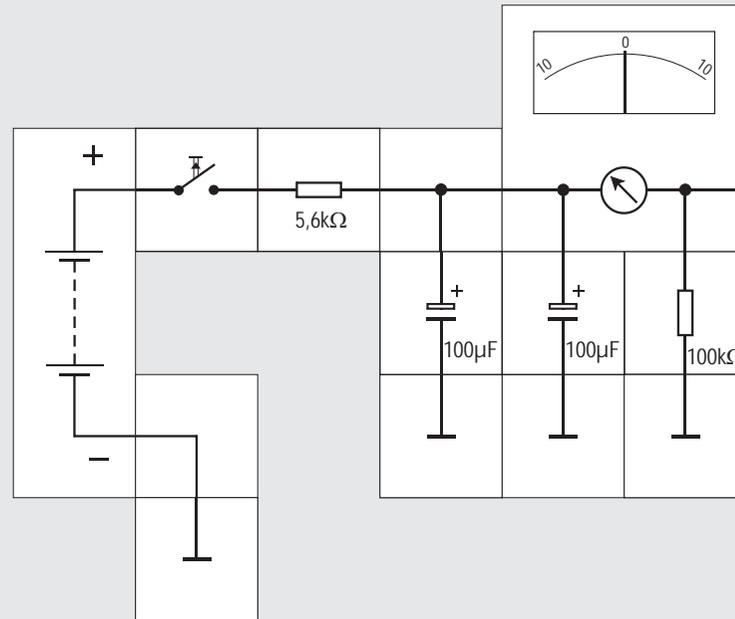
Nunmehr wird der »Batterieschalter« in die Aus-Stellung gebracht und einige Sekunden danach wieder eingeschaltet. Das Instrument wird jetzt nicht noch einmal ausschlagen, denn der Elko ist bereits geladen und hält die gespeicherte Energie. Entlädt man jedoch zwischendurch den Elko über den Tastenschalter, dann kann er sich beim erneuten Anschalten der Batterie wieder aufladen.

Dem bisher benutzten Elko legt man über die noch freie Abzweigung nun den zweiten $100\ \mu\text{F}$ Elko parallel. Wiederholt man den zuvor beschriebenen Versuch, dann braucht das Anzeigeeinstrument etwa die doppelte Zeit, bis der Zeiger nach dem Vollausschlag wieder zum Nullpunkt zurückkehrt.

Verdoppelt man die Kapazität eines Kondensators, dann benötigt er unter sonst gleichbleibenden Voraussetzungen die doppelte Zeit, um sich aufladen zu können. Die gespeicherte Energie ist dann auch doppelt so groß.

Die Aufladezeit eines Kondensators wird jedoch nicht nur durch seine Kapazität bestimmt. Der zugehörige Vorwiderstand (beim Versuchsaufbau $100\ \text{k}\Omega$) beeinflusst diese Zeit ebenfalls. Ein größerer Widerstand lässt nur einen geringeren Ladestrom zu, was zu einer längeren Aufladezeit führt. Umgekehrt bewirkt ein kleinerer Vorwiderstand eine kürzere Aufladezeit.

34



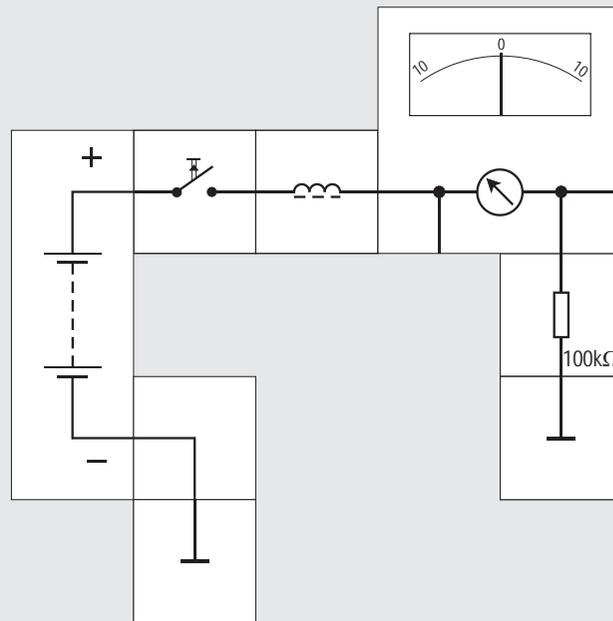


Der Entladestrom bei einem Kondensator

Die Vorgänge beim Entladen des Kondensators lassen sich feststellen, wenn man das Instrument parallel zum Kondensator anschließt. Das Instrument erhält hierzu wieder einen Vorwiderstand von $100\text{k}\Omega$. Der vorgesehene Ladewiderstand in dieser Versuchsschaltung beträgt $5,6\text{ k}\Omega$. Schaltet man die Batterie ein, dann steigt die Spannung am Elko zunächst schnell und dann immer langsamer an, was durch den zunehmenden Ausschlag des Instrumentes angezeigt wird. Nach beendeter Aufladung nimmt der Zeigerausschlag nicht mehr zu.

Jetzt wird die Batterie abgeschaltet. Der Elko kann sich nun über das Anzeigeelement und dessen Vorwiderstand entladen. Dabei zeigt das Instrument gleichzeitig die Abnahme der am Elko liegenden Spannung und den Verlauf des Entladestromes. Durch wechselweises Ein- und Ausschalten des Batterieschalters lässt sich der Versuch beliebig wiederholen. Beim Einschalten lädt sich der Elko auf, beim Ausschalten entlädt er sich wieder.

35





Lectron

Die Versuche mit Kondensatoren haben gezeigt, dass ein Kondensator beim Anschluss an eine Batteriespannung zwar einen, je nach Kapazität, mehr oder weniger langen Ladestrom verursacht; sobald er geladen ist, hört der Stromfluss aber auf. Umgekehrt fließt bei der Entladung des Kondensators ein Entladestrom, der nach beendeter Entladung ebenfalls aufhört. Ein gleichmäßiger Stromfluss in einer Richtung, kurz gesagt ein Gleichstrom, ist über einen Kondensator nicht möglich. Lädt man den Kondensator aber wechselweise auf und entlädt ihn dann wieder, dann kommt bei jeder Umkehrung ein Stromfluss zustande. Die wechselweise Auf- und Entladung bedeutet für den Kondensator einen «Wechselstrom», für den er – wenn auch nur scheinbar – durchlässig ist. Die zugeführte Energie wird in dem elektrischen Feld, das sich zwischen seinen beiden Belägen in der Isolierschicht, dem DIELEKTRIKUM, ausgebildet, zwischengespeichert.

In späteren Versuchen wird das Verhalten des Kondensators bei Wechselstrom noch näher unter-

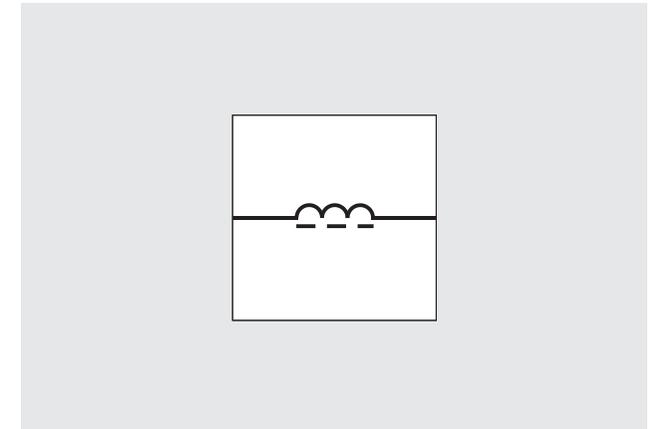
Der Spulenbaustein

Bei der Grundform einer Spule wird ein Draht wendelförmig gewickelt, so dass sich eine zylindrische Spule ergibt. Für das Verhalten einer Spule im Stromkreis ist vor allem die Windungszahl entscheidend. Je mehr Windungen eine Spule hat, um so größer ist ihre sogenannte INDUKTIVITÄT. Unter Induktivität versteht man in der Elektrotechnik das Verhalten einer Spule bei Veränderung des Stromflusses in ihr. So lange durch eine Spule ein Gleichstrom fließt, ist für den fließenden Strom nur der ohmsche Widerstand des Wicklungsdrahtes entscheidend.

Versucht man, den Stromfluss durch eine Spule plötzlich zu unterbrechen oder in ständig wechselnder Richtung zu führen, wirkt sich die Induktivität der Spule im Stromkreis aus. Wird eine Spule gleicher Windungszahl auf einen Eisenkern gewickelt, so ist ihre Induktivität größer. Auch Form und Struktur des Kernes beeinflussen die Induktivität.

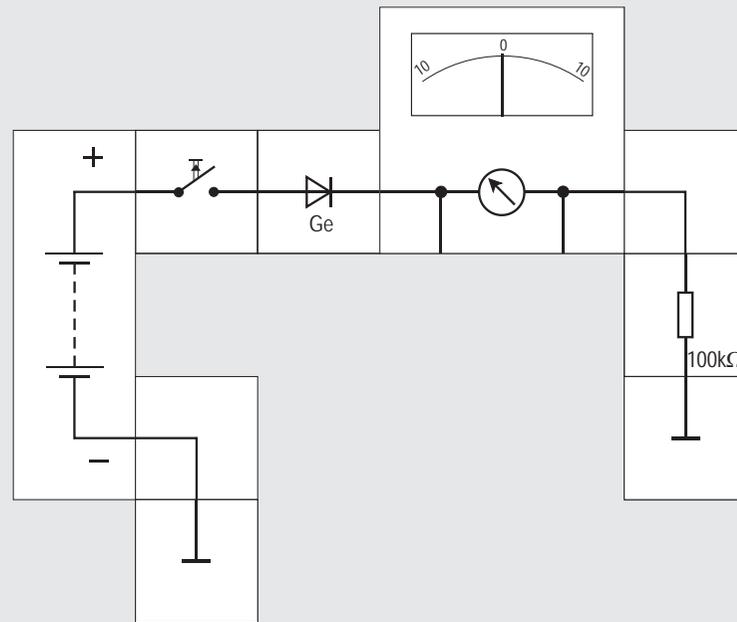
Die Maßeinheit für die Induktivität ist das HENRY, abgekürzt H. Als Untereinheit gelten das Millihenry (mH) = ein tausendstel Henry und das Mikrohenry (μH) = ein millionstel Henry.

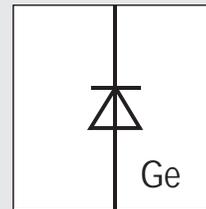
Das Verhalten einer Spule im Gleichstromkreis zeigt der folgende Versuch. Spätere Versuche zeigen das unterschiedliche Verhalten im Wechselstromkreis.



Das Verhalten einer Spule im Gleichstromkreis

Das Anzeigement, ein $100\text{ k}\Omega$ - Vorwiderstand und die Spule liegen in Reihe an der Batteriespannung. Schaltet man die Batterie ein, dann zeigt das Instrument einen Stromfluss an, der sich auch nach längerem Einschalten nicht ändert. Die Spule ist also für Gleichstrom durchlässig.





Der Diodenbaustein

In den bisherigen Versuchen war von Bauelementen die Rede, die entweder einen Stromfluss ermöglichen (das sind die Leiter) oder die einen Strom sperren (Nichtleiter, Isolatoren). Es gibt jedoch noch eine dritte Gruppe, die sogenannten HALBLEITER. Deren Leitfähigkeit ist von verschiedenen äußeren

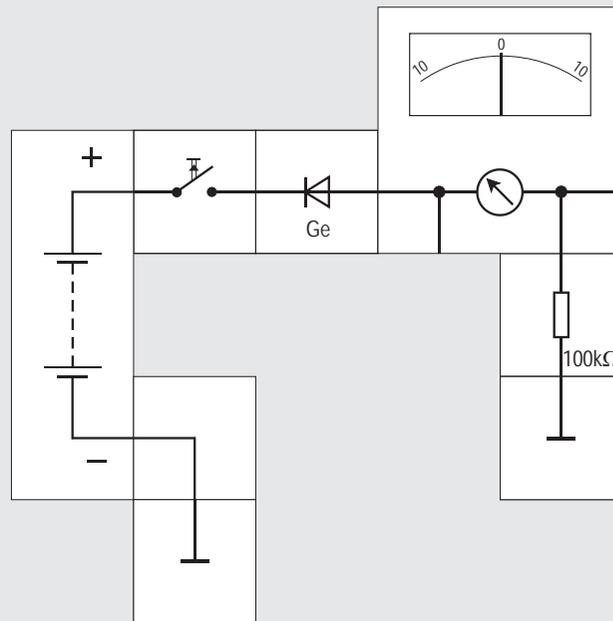
Bedingungen abhängig. Zunächst soll das Verhalten der im Diodenbaustein eingebauten GERMANIUMDIODE untersucht werden. Das Germanium, aus dem die Diode aufgebaut ist, stellt ein besonderes Material dar, das durch entsprechende Behandlung die gewünschten Halbleiter-Eigenschaften erhält.

Der Durchlassstrom bei einer Halbleiterdiode

An der Batteriespannung liegen die Germaniumdiode, ein Widerstand von $100\text{ k}\Omega$ und das Anzeigeelement in Reihe. Wichtig ist die richtige Polarität der Diode, d. h. die Spitze des Dreiecks beim Schaltsymbol muss zum Instrument zeigen. Betätigt man den Taster, dann zeigt das Instrument einen Ausschlag bis etwa zum Skalenwert 9. Zur Kontrolle entfernt man jetzt die Diode und setzt an ihrer Stelle ein gerades Verbindungsstück ein, so dass der Stromkreis wieder geschlossen ist. Der Anzeigewert am Instrument wird der gleiche sein. In der gezeichneten Polung bildet die Diode keinen nennenswerten Widerstand. Sie arbeitet in DURCHLASSRICHTUNG.

Anmerkung: Das Deckelschaltbild zeigt in der älteren Ausführung ein schwarz ausgefülltes Diodensymbol mit + Zeichen, um diese Diode von der SILIZIUMDIODE des Ausbausystems zu unterscheiden.

37



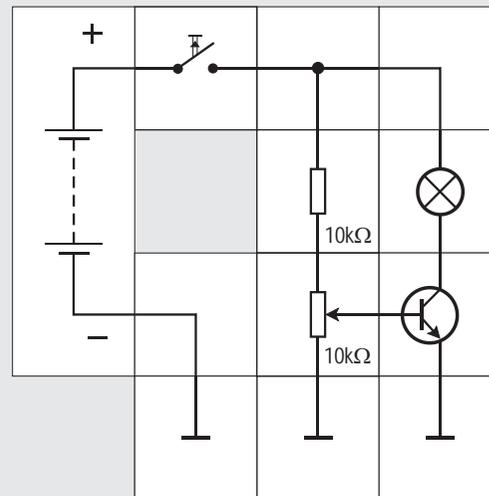


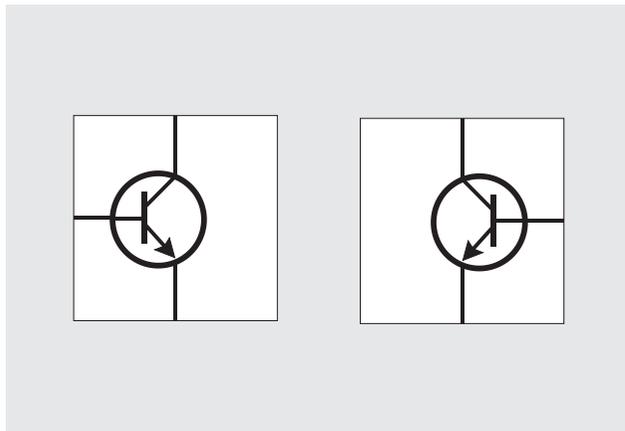
Die Sperrwirkung einer Halbleiterdiode

Diese Schaltung entspricht fast der vorhergehenden. Lediglich die Germaniumdiode ist mit entgegengesetzter Polarität in die Schaltung eingesetzt, d. h. die Spitze des Dreiecks zeigt zur Batterie hin. Das Instrument schlägt dann beim Einschalten der Batterie nicht aus. In dieser Polung, der sogenannten SPERRRICHTUNG, hat die Diode einen sehr großen Widerstand. Die Versuche 36 und 37 zeigen, dass der Widerstand einer Diode von der Polarität (der Richtung) der angelegten Spannung abhängig ist. In manchen Beschreibungen findet man für die Diode auch die Bezeichnung »Richtleiter«.

Neben der Germaniumdiode gibt es im Experimentierkasten auch noch Dioden aus dem Halbleitermaterial SILIZIUM. Sie haben das gleiche Verhalten wie die Diode aus Germanium, was Durchlass- und Sperrrichtung betrifft; man kann das leicht feststellen wenn man die beiden letzten Versuche mit diesen Dioden wiederholt. In den späteren Versuchsschaltungen dürfen die Dioden jedoch nicht miteinander verwechselt werden, da ihre sonstigen elektrische Kennwerte stark unterschiedlich sind.

38





Die Transistor-Bausteine

Transistoren gehören ebenfalls in die Gruppe der Halbleiter. Wie bei der Diode, so dient auch für die im Lectron-Experimentierkasten enthaltenen Transistoren Silizium als Ausgangsmaterial. Während die Diode aber nur zwei Anschlüsse aufwies, besitzt

der Transistor mindestens drei. Sie werden mit KOLLEKTOR, EMITTER und BASIS bezeichnet. Bisweilen kommt noch eine Abschirmung hinzu. Die Lectron Baukästen enthalten verschiedene Transistorbausteine. In geeigneten Schaltungen wirkt der Transistor als verstärkendes Bauelement, d. h. eine kleine zugeführte Leistung kann durch einen Transistor in eine größere Leistung umgewandelt werden. Der Transistor lässt sich in drei verschiedenen Grundschaltungen verwenden, wobei er sich jedesmal anders verhält. Die Grundschaltungen heißen EMITTER-, BASIS- und KOLLEKTORSCHALTUNG. In den meisten Fällen setzt man den Transistor in der Emitterschaltung ein, die daher an erster Stelle behandelt werden soll. In jeder Schaltung hat der Transistor einen Eingang, dem die zu verstärkende elektrische Größe zugeführt wird, und einen Ausgang, dem man sie verstärkt wieder entnimmt. In der Emitterschaltung bilden der Basis- und der Masseanschluss den Eingangskreis. Der Ausgangskreis wird durch den Kollektor- und den Masseanschluss dargestellt.

Nachweis der Steuerbarkeit eines Transistors

Mit dem Versuchsaufbau 38 soll zunächst gezeigt werden, dass sich der Ausgangskreis eines Transis-

tors durch Änderung der Eingangsgröße beeinflussen lässt. Dem Eingangskreis wird über den Spannungsteiler eine stetig einstellbare Spannung zugeführt. Damit der Transistor im Eingangskreis nicht überlastet werden kann, ist der Potentiometerbaustein in Reihe mit einem Festwiderstand von 10 k Ω angeordnet. Dadurch wird verhindert, dass die Basis an die volle Batteriespannung gelegt werden kann. Der Emitter des Transistors liegt an Masse, der Kollektor über den Glühlampenbaustein am Pluspol der Batterie. Vor dem Einschalten der Batterie ist das Potentiometer so einzustellen, dass sein Schleifkontakt am linken Anschlag steht. Schaltet man die Batterie ein, dann wird die Glühlampe zunächst nicht aufleuchten. Nun dreht man das Potentiometer langsam durch. Die Glühlampe wird dann bald erst dunkel und dann immer heller brennen. Bei großer Helligkeit ist die Glühlampe bis zur Grenze belastet, daher darf man große Helligkeit nur kurzzeitig einstellen. Durch Zurückdrehen des Potentiometers kann man die Lampe wieder zum Verlöschen bringen. Indem man die Spannung am Eingang des Transistors ändert, verursacht man also auch eine Änderung im Ausgangskreis. Der Ausgangswert lässt sich durch die Eingangsspannung steuern, deshalb wird die Eingangsgröße auch als Steuerspannung bezeichnet.



Lectron

Die Wechselspannung

In den folgenden Versuchen sollen zunächst Wechselspannungen verstärkt werden. Der Begriff WECHSELSTROM bzw. WECHSELSPANNUNG tauchte bereits bei dem Versuch 34, der die Verhältnisse beim Auf- und Entladen eines Kondensators erklärte, auf. Allerdings handelte es sich dabei noch nicht um einen echten Wechselstrom bzw. eine echte Wechselspannung, denn die angelegte Batteriespannung wurde ja nur immer ein- und ausgeschaltet. Bei einer richtigen Wechselspannung wird dagegen die Polarität ständig umgekehrt, d. h. an der Stelle, wo erst der Minuspol war, erscheint jetzt der Pluspol und umgekehrt.

Liegt an einem Stromkreis eine Wechselspannung an, dann ist auch der Strom ein Wechselstrom, denn

er kehrt seine Flussrichtung ständig um. Für die Wechselspannung bzw. den Wechselstrom tritt nun ein neuer Begriff auf, die FREQUENZ. Darunter versteht man die Häufigkeit der Umschaltvorgänge in der Sekunde. Man spricht von Schwingungen pro Sekunde. Die Maßeinheit für die Frequenz ist das HERTZ, abgekürzt Hz. Der sogenannte technische Wechselstrom, wie er der Steckdose entnommen wird, hat eine Frequenz von 50 Hz, d. h. seine Polarität wechselt fünfzigmal in der Sekunde hin und her. Für die mit dem Experimentierkasten möglichen Versuche sind noch die Bezeichnungen Kilohertz (kHz) = 1000 Hz und Megahertz (MHz) = 1000000 Hz wichtig.

In der Beschreibung des Spulenbausteines zum Versuch 35 wurde auf den Begriff Induktivität hingewiesen. Der Versuch zeigte, dass eine Spule für Gleichspannung nur einen geringen ohmschen Widerstand darstellt. Ein mit Draht umwickelter Eisenkern wird aber magnetisch, wenn die Spule von Gleichstrom durchflossen wird. Die Magnetisierungsrichtung (Nord - Süd) ändert sich jedoch, wenn der Stromfluss in der Spule geändert wird. Bei jeder Änderung des Stromflusses baut sich so die Magnetisierung im Eisenkern auf und wieder ab. Es entsteht im Eisen eine Induktion entsprechend dem Stromfluss in der Spule.

Der umgekehrte Vorgang ereignet sich jedoch, wenn eine zweite Spule auf den gleichen Eisenkern gewickelt ist. Der im wechselnden Rhythmus magnetisierte Eisenkern induziert in der zweiten Spule eine Spannung, die sich im gleichen Takt des Stromflusses in der ersten Spule auf- und abbaut. Es wird eine Wechselspannung transformiert. Haben beide Spulen die gleiche Windungszahl, dann ist auch die übertragene Spannung in der zweiten Wicklung gleich der Spannung in der ersten Wicklung. Ist die Windungszahl der ersten, der PRIMÄRWICKLUNG, größer als die Windungszahl der zweiten, der SEKUNDÄRWICKLUNG, dann ist die übertragene Spannung kleiner. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist der Klingeltransformator, der die Netzspannung von 230 Volt auf etwa 7 Volt heruntertransformiert, womit die Hausklingel betrieben wird. Hat jedoch die Sekundärwicklung eine höhere Windungszahl als die Primärwicklung, dann ist die übertragene Spannung höher.

Allerdings verhalten sich die Ströme, die man einem Transformator entnehmen kann, umgekehrt wie die Spannungen. Bei höherer Spannung kann nur ein kleinerer Strom entnommen werden, oder umgekehrt. Eine verstärkende Wirkung hat der Transformator also nicht, er wandelt die elektrische Größe nur um.



In einem bestimmten Frequenzbereich, von etwa 16Hz bis 18kHz, lässt sich ein Wechselstrom durch elektroakustische Wandler für das menschliche Ohr hörbar machen.

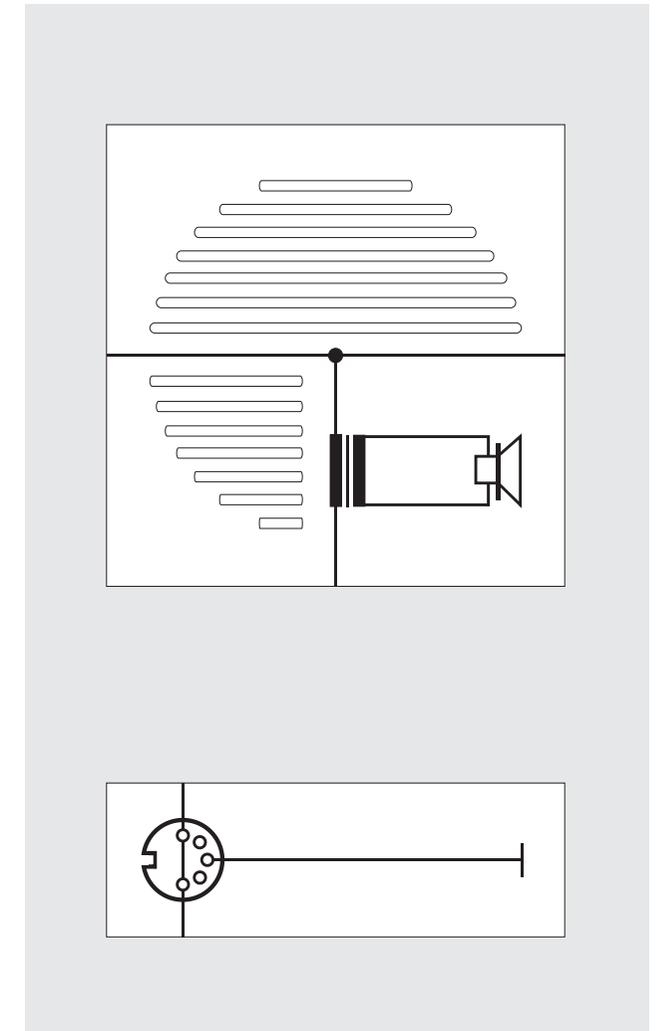
Man bezeichnet diesen Frequenzbereich als TONFREQUENZ. Der wohl bekannteste elektroakustische Wandler ist der LAUTSPRECHER. Der Experimentierkasten ist mit einem Lautsprecher ausgerüstet. Die wesentlichen Bestandteile eines Lautsprechers sind ein starker Magnet, eine Schwingspule und eine Membran. Lässt man durch die Schwingspule einen Wechselstrom fließen, dann bewegt sie sich im Takte des Wechselstromes und mit ihr die fest damit verbundene Membran. Die umgebende Luft wird dadurch ebenfalls bewegt und es entstehen Schallwellen. Je tiefer die Frequenz des Wechselstromes, um so langsamer sind auch die Bewegungen der Membran und um so tiefer ist der erzeugte Ton. Je höher die Wechselstromfrequenz, um so schneller die Bewegungen und um so höher der Ton.

Der Lautsprecherbaustein

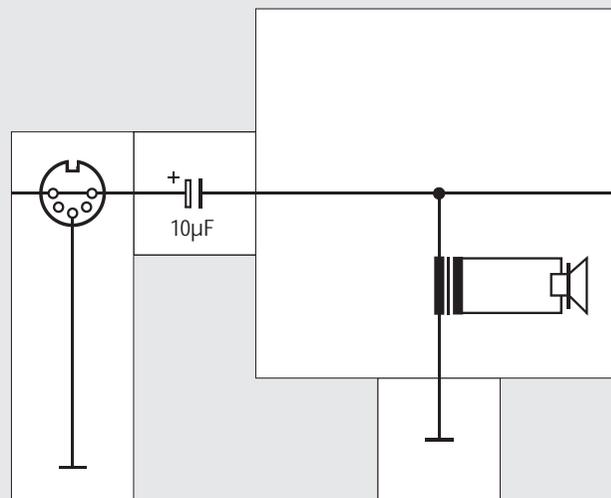
Mit dem Lautsprecher lassen sich die in den folgenden Versuchen erzeugten oder verstärkten Wechselspannungen hörbar machen. Der Lautsprecherbaustein ist der größte im Experimentierkasten enthaltene Baustein. Er hat eine Grundfläche von neun normalen Bausteinen. Die Deckplatte des Lautsprecherbausteines ist geschlitzt, damit der erzeugte Schall austreten kann. Neben dem eigentlichen Lautsprecher enthält der Baustein noch einen Transformator. Er hat die Aufgabe, den Lautsprecher an den Verstärker anzupassen. Da er immer nur im Zusammenhang mit dem Lautsprecher benutzt wird, sind beide Teile im Inneren verbunden. Nur die Eingangsseite des Lautsprechertransformators ist an Kontaktplättchen des Bausteines geführt, wobei der eine Anschluss mit zwei gegenüberliegenden Kontaktplättchen verbunden ist. Dadurch wird der spätere Schaltungsaufbau vereinfacht.

Die Tonabnehmer – Buchse

Für die ersten einfachen elektroakustischen Versuche soll ein Plattenspieler als Wechselspannungsquelle verwendet werden. Um diesen mit den Bauelementen des Experimentierkastens zu verbinden, ist der Buchsenbaustein vorgesehen. Er trägt eine genormte, dreipolige Eingangsbuchse, die für den Anschluss eines Plattenspielers geeignet ist.



39



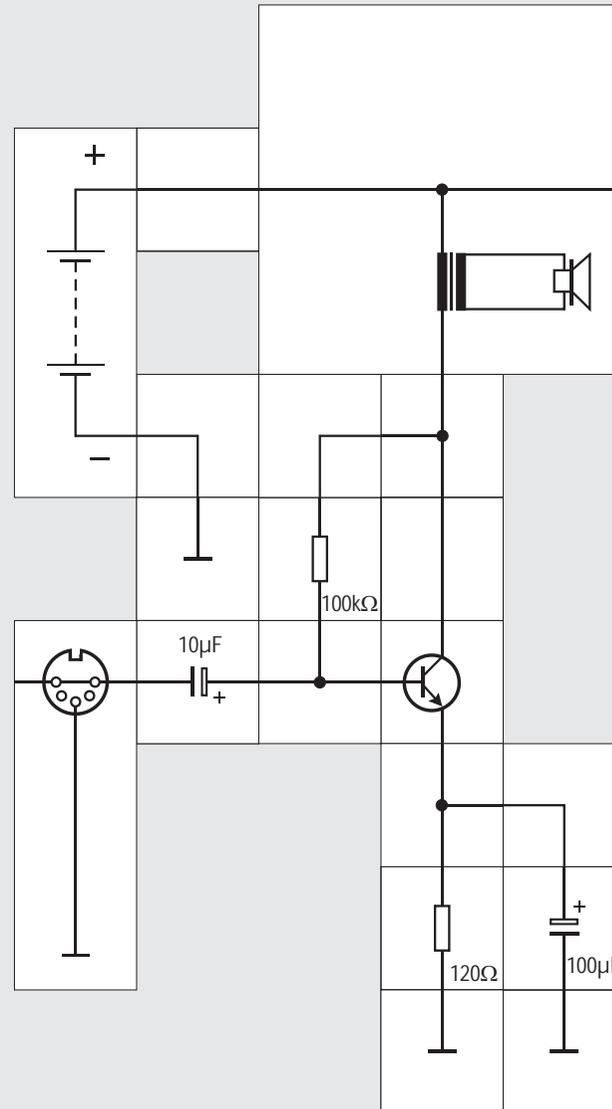


Der Lautsprecher als elektroakustischer Wandler

Die Eingangsseite des Lautsprecherbausteins wird mit der Tonabnehmerbuchse verbunden. Das noch freie Ende des Transformators ist an Masse zu legen. Schließt man an die Tonabnehmerbuchse einen Plattenspieler an und setzt diesen in Betrieb, dann wird man die vom Tonabnehmer kommenden Wechselspannungen, je nach Typ des verwendeten Plattenspielers, nur sehr schwach als Töne im Lautsprecher wahrnehmen können. Ohne Verstärkung ist die vom Tonabnehmer abgegebene Wechselspannung so gering, dass sie den Lautsprecher nur ganz schwach erregt.

Für die Wiedergabe der Tonfrequenz - Wechselspannung ist eine Verstärkung der vom Tonabnehmer abgegebenen Wechselspannung notwendig.

40





Die Verstärkung von Wechselspannungen und Wechselströmen

Will man eine Wechselspannung verstärken, muss man beachten, dass diese ihre Polarität ständig umkehrt. Der Transistor benötigt aber immer eine gegenüber Masse positive Spannung an der Basis (Eingang). Der negative Teil der Wechselspannung würde demnach von dem Transistor nicht verstärkt. Nun kann man aber dem Transistor zusätzlich zur Wechselspannung eine positive Gleichspannung an der Basis zuführen. Wählt man die Spannungen richtig zueinander, dann wird der

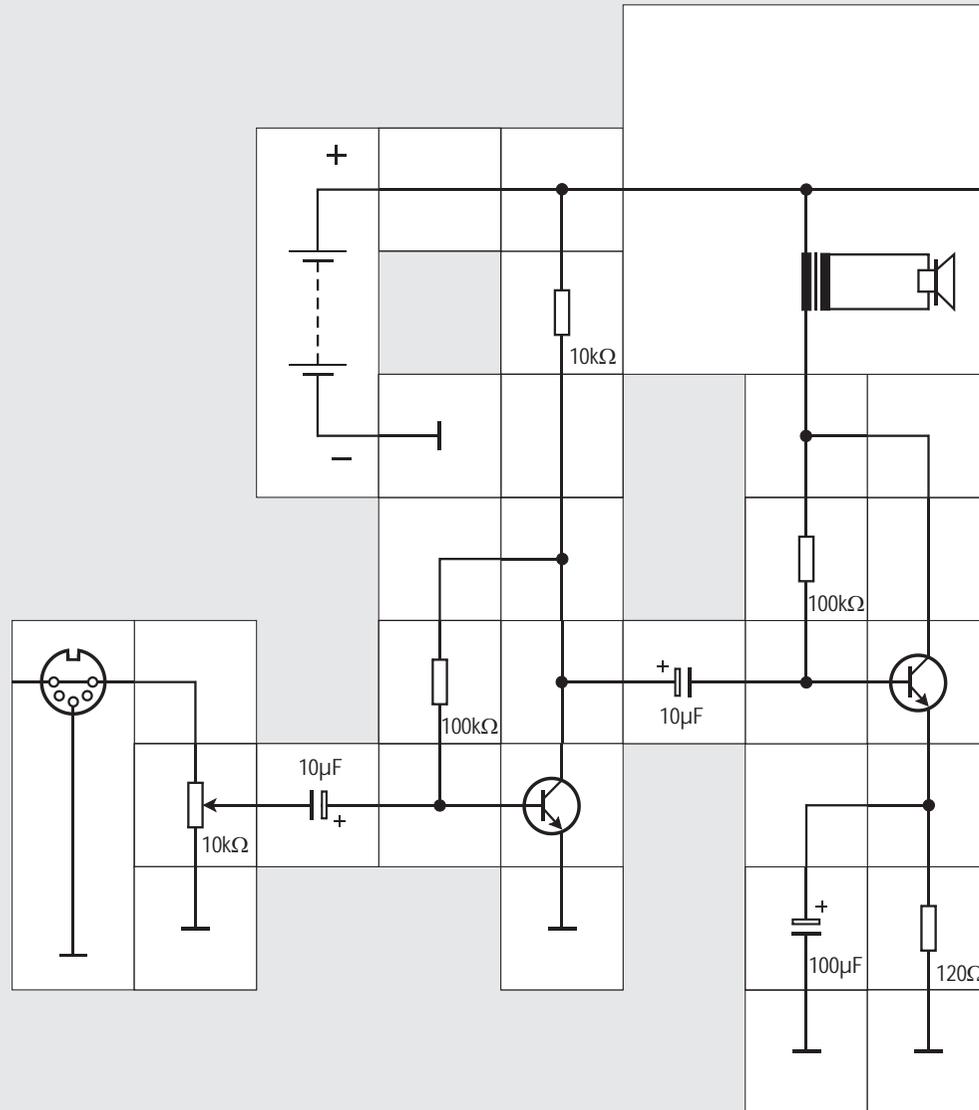
Eingang (die Basis) niemals negativ gegenüber der Masseleitung, sondern schwankt nur im Takt der Wechselspannung um den vorgegebenen positiven Gleichspannungswert herum. Die dazu benötigte Gleichspannung bekommt der Transistor über den $100\text{ k}\Omega$ Widerstand zwischen Kollektor (Ausgang) und Basis. Der Widerstandswert ist so gewählt, dass die Spannung an der Basis immer positiv gegenüber Masse bleibt. Die Arbeitsweise des Transistors wird in den späteren Versuchen 51-54 ausführlich behandelt.

Ein einstufiger Plattenspieler – Verstärker

Die Eingangsseite des Lautsprechertransformators wird hier als Arbeitswiderstand des Transistors benutzt. Im Gegensatz zu den bisherigen Transistorversuchen ist bei dieser Schaltung zusätzlich noch ein Widerstand von $120\ \Omega$ zwischen Emitter und Masse vorgesehen. Für den Wechselstrom ist dieser Widerstand aber durch einen großen Elko von $100\mu\text{F}$ überbrückt. Daher handelt es sich immer noch um eine Emitterschaltung. Der $120\ \Omega$ Widerstand sorgt jedoch für ein stabileres Verhalten des Transistors und begrenzt den möglichen Strom, so dass der Transistor nicht überlastet werden kann. Durch den $100\text{ k}\Omega$ Widerstand erhält der Transistor die notwendige Basisvorspannung.

Würde man den Plattenspieler unmittelbar an die Basis des Transistors anschließen, dann würde sich durch den Eigenwiderstand des Tonabnehmers die Basisgleichspannung verstellen. Um das zu vermeiden, wird zwischen Buchsenbaustein und Eingang des Transistors ein Elko von $10\mu\text{F}$ eingefügt. Er überträgt die vom Plattenspieler kommende Wechselspannung, sperrt aber die an der Basis liegende Gleichspannung. Setzt man nun den Plattenspieler in Betrieb und schaltet die Batterie ein, dann kann man im Lautsprecher die vom Tonabnehmer kommenden Wechselspannungen hören. Die Lautstärke ist dabei allerdings verhältnismäßig gering, denn die Verstärkung des einen Transistors reicht für eine lautstarke Wiedergabe der Schallplatte nicht aus. Da bei dieser Schaltung nur ein Transistor mit den zugehörigen Bauelementen verwendet wird, spricht man von einem EINSTUFIGEN VERSTÄRKER. Weil die verstärkte Spannung im TONFREQUENZGEBIET (Niederfrequenzgebiet) liegt, bezeichnet man den Aufbau als EINSTUFIGEN NIEDERFREQUENZVERSTÄRKER. Selbstverständlich kann man eine Spannung, die durch einen Transistor bereits einmal verstärkt, aber noch zu schwach ist, durch einen weiteren Transistor nochmals verstärken. Es ist dann lediglich der Ausgang der ersten Verstärkerstufe mit dem Eingang einer zweiten Stufe zu verbinden.

41





Ein zweistufiger Plattenspieler – Verstärker mit einstellbarer Lautstärke

Diese Schaltung enthält zunächst wieder die gleichen Bauteile, die schon im Versuchsbild 40 verwendet wurden. Der Lautsprecherbaustein ist auch hier wieder im Kollektorkreis des (rechten) Transistors angeordnet. Zusätzlich enthält die Schaltung aber eine zweite Verstärkerstufe mit dem linken Transistor. Auch in diesem Falle hat man es wieder mit einer Emitterschaltung zu tun, denn die Ausgangsspannung wird zwischen Kollektor und Masse abgenommen. Als Kollektorwiderstand (Arbeitswiderstand) verwendet man $10\text{ k}\Omega$. Über den $100\text{ k}\Omega$ Widerstand erhält der Transistor die erforderliche Basisvorspannung. Zwischen Emitter und Masse dieses Transistors kann ein Widerstand bis zu $1,5\text{ k}\Omega$ eingefügt werden, um den Transistor nicht zu übersteuern.

Um den Ausgang des ersten Transistors mit dem Eingang des zweiten Transistors zu verbinden, benutzt man einen Elko von $10\mu\text{F}$. Da die Stufen an dieser Stelle »gekoppelt« werden, nennt man den Kondensator KOPPELKONDENSATOR. Auf richtige Polung des Elkos ist wieder zu achten. Würde man die beiden

Punkte direkt durch eine Leitung verbinden, dann würden sich die Gleichspannungen am Kollektor der ersten und der Basis der zweiten Stufe unzulässig verschieben, und der Verstärker könnte nicht arbeiten. Der Kondensator sperrt jedoch die Gleichspannung, lässt aber die Wechselfspannung ungehindert durch.

Die vom Plattenspieler kommende Wechselfspannung gelangt über die Tonabnehmerbuchse zunächst zum Potentiometer. Auf diese Weise hat man die Möglichkeit zu einer Spannungsteilung. Steht der Schleifer des Potentiometers ganz am linken Anschlag, dann wird am Eingang des Verstärkers keine Wechselfspannung auftreten. Am anderen Ende des Potentiometers dagegen kann man die volle vom Plattenspieler kommende Spannung abgreifen. Das Potentiometer bildet somit einen Lautstärkeregler. Um die Basisgleichspannung des ersten Transistors nicht durch den ohmschen Widerstand des Potentiometers zu beeinflussen, ist auch hier ein Elko von $10\mu\text{F}$ zwischengeschaltet.

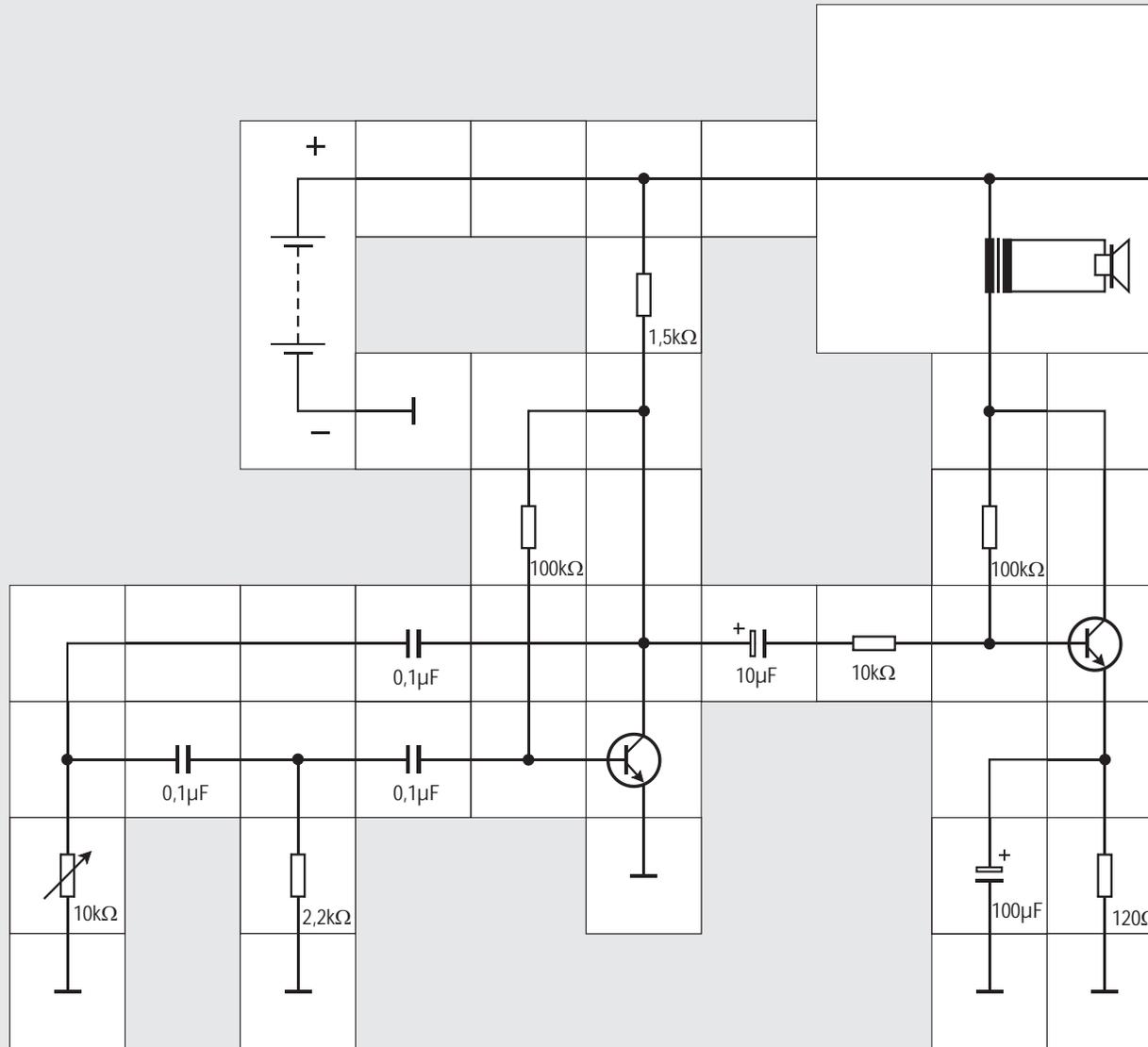
Die fertige Schaltung 41 bildet einen vollwertigen Plattenspieler – Verstärker, mit dem die vom Tonabnehmer kommende Wechselfspannung in guter Zimmerlautstärke hörbar gemacht werden kann. Da es sich um zwei Verstärkerstufen handelt, nennt man die komplette Schaltung einen ZWEISTUFIGEN NIEDER-

FREQUENZVERSTÄRKER. Die zweite Stufe, die als Arbeitswiderstand den Lautsprechertransformator enthält, bezeichnet man als ENDSTUFE, die erste Stufe ist die sogenannte VORSTUFE.

Die Erzeugung von Wechselfspannungen mit Transistorschaltungen

Wechselfspannungen lassen sich auf verschiedene Art auch in Transistorschaltungen erzeugen. Solche Schaltungen heißen GENERATOREN oder OSZILLATOREN. Die bisherigen Transistorversuche haben die Verstärkereigenschaften deutlich gezeigt. Am Ausgang des Transistors steht immer eine größere Spannung oder ein größerer Strom zur Verfügung, als man dem Eingang zuführt. Nun kann man die Ausgangsspannung bzw. den Ausgangsstrom auch wieder an den Eingang zurückführen. Man erhält dann eine sogenannte RÜCKKOPPLUNG. Allerdings darf man nicht einfach Ausgang und Eingang des Transistors direkt miteinander verbinden, sondern man muss geeignete Koppelglieder zwischenschalten. Ein besonders einfacher Wechselstromgenerator lässt sich mit Kondensatoren und Widerständen als Rückkopplungsglieder aufbauen. Da man einen Widerstand kurz mit dem Buchstaben R und einen Kondensator mit dem Buchstaben C bezeichnet, nennt man solche Schaltungen RC – GENERATOREN.

42





Ein einfacher Tongenerator

Der linke Teil der Versuchsschaltung 42 bildet den eigentlichen Generator. Der erste Transistor arbeitet in Emitterschaltung. Der Arbeitswiderstand ist $1,5 \text{ k}\Omega$. Im Versuch 38 wurde bereits festgestellt, dass sich bei dieser Schaltung die Ausgangsspannung umgekehrt verhält wie die Eingangsspannung. Die Polarität wird umgekehrt. Würde man daher die Ausgangsspannung unmittelbar auf den Eingang zurückführen, dann wäre keine zur Wechselspannungserzeugung brauchbare Rückkopplung möglich, denn dazu müssen sich die Spannungen unterstützen. Entgegengesetzte Spannungen aber

heben sich auf. Nun haben aber die Versuche 33 und 34 gezeigt, dass man mit einem Kondensator einen langsamen Spannungsanstieg erzielen kann. Legt man einen Kondensator über einen Widerstand an eine Spannung, dann braucht er eine gewisse Zeit, um sich aufzuladen. Er verzögert gewissermaßen den Spannungsanstieg. Das gilt nicht nur für Gleichspannungen, sondern auch für Wechselspannungen. Diese Eigenschaft des Kondensators benutzt man bei dem vorliegenden Generator. Durch Kondensatoren und Widerstände wird die Ausgangsspannung dieses Transistors soweit verzögert, dass sie der Eingangsspannung in ihrer Polarität wieder entspricht. Die Polarität wird also, nachdem sie durch den Transistor bereits einmal umgekehrt worden ist, durch die Kondensatoren und Widerstände noch einmal gedreht. Das ist allerdings nicht mit einem einzigen Kondensator möglich. In dieser Versuchsschaltung sind drei Kondensatoren von je $0,1 \mu\text{F}$ und zwei Widerstände – ein Festwiderstand von $2,2 \text{ k}\Omega$ und ein Regelwiderstand von $10 \text{ k}\Omega$ – vorgesehen.

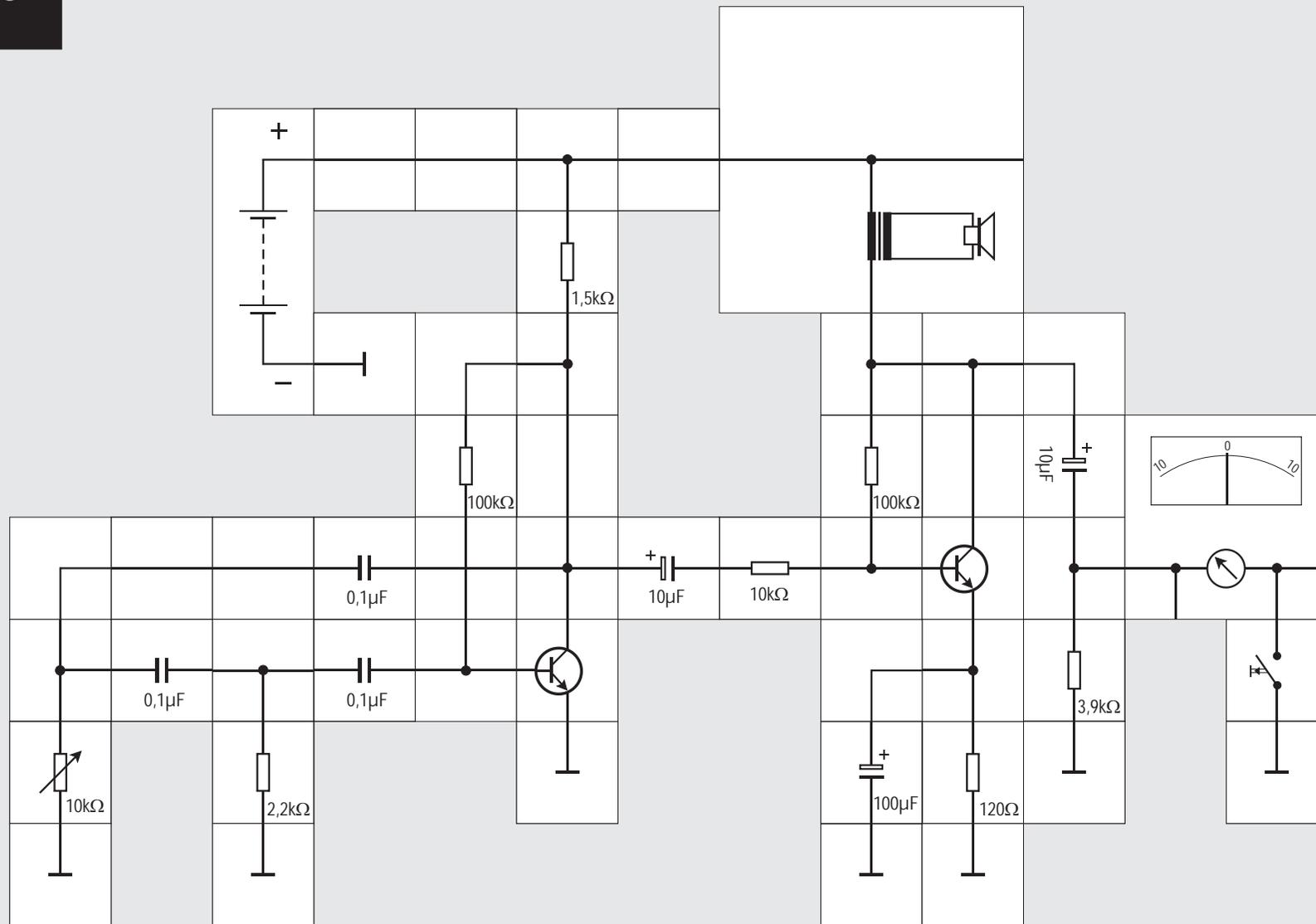
Erhält dieser Transistor einen Stromstoß am Eingang, der zum Beispiel bereits durch das Einschalten der Batterie erfolgen kann, dann wird dieser Stromstoß verstärkt und über die Kondensatoren und Widerstände wieder auf den Eingang zurück-

geführt, wieder verstärkt und wieder zurückgeführt. Dadurch schaukelt sich die Schaltung auf und es entstehen Schwingungen (Wechselspannung). Die Frequenz dieser Wechselspannung ist davon abhängig, wie groß die zur Rückkopplung verwendeten Widerstände und Kondensatoren sind. Da einer dieser Widerstände hier einstellbar ist, lässt sich die Frequenz in gewissen Grenzen ändern. Dreht man den Regelwiderstand auf einen zu kleinen Wert, dann hören die Schwingungen jedoch auf. Mit den angegebenen Teilen erhält man Frequenzen im hörbaren Bereich. Man spricht von einem TONFREQUENZ-GENERATOR. Durch andere Widerstände und Kondensatoren könnte man auch Frequenzen außerhalb des hörbaren Bereiches erzeugen.

Die im bisher beschriebenen Teil der Schaltung erzeugte Wechselspannung wird über einen Koppelkondensator von $10 \mu\text{F}$ und einen Widerstand von $10 \text{ k}\Omega$ mit dem Eingang der schon in den letzten Versuchen verwendeten Endstufe verbunden. Im Lautsprecher kann man die Schwingungen des Generators hören und durch Drehen am Regelwiderstand die Tonhöhe verändern.

Mit dem Tonfrequenzgenerator besitzt man jetzt eine Wechselstromquelle. Damit lassen sich noch einige Versuche durchführen, die zu neuen Erkenntnissen führen.

43





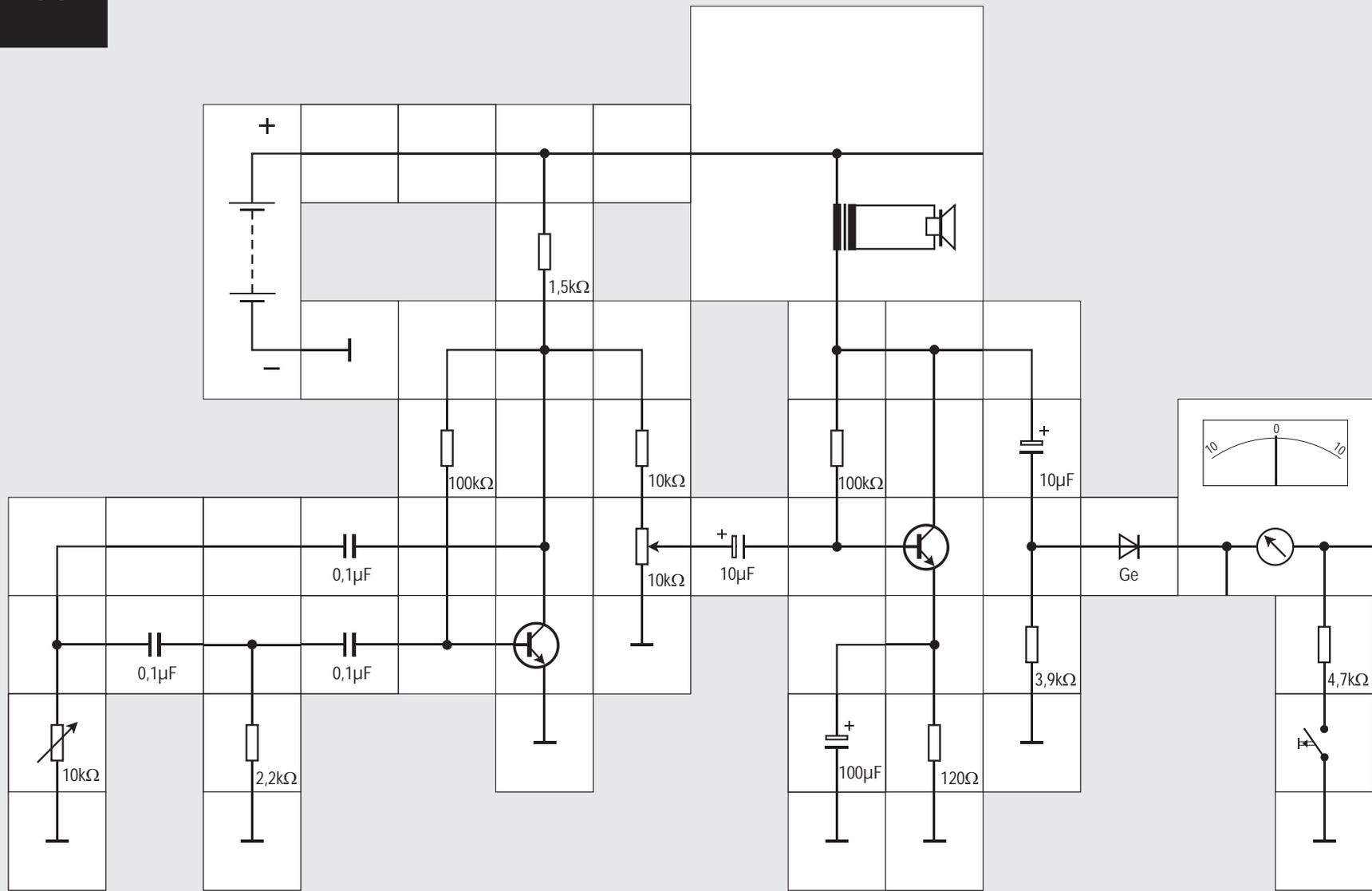
Die Wirkung einer Wechselspannung beim Anzeige-Instrument

Die Schaltung des Tonfrequenzgenerators entspricht vollkommen der des Versuches 42. Um die Ausgangs-Wechselspannung des Generators abgreifen zu können, ist lediglich noch ein Abzweigungsbaustein zwischen den Kollektor des zweiten

Transistors (Endstufe) und den Lautsprecherbaustein einzufügen. Außerdem werden das Anzeigeinstrument und einige andere Bauteile hinzugefügt.

Zunächst wird die Ausgangsspannung des Verstärkers über einen Elko von $10\mu\text{F}$ einem Widerstand von $3,9\text{ k}\Omega$ zugeführt. An diesem Widerstand lässt sich jetzt die reine Wechselspannung ohne die Batteriegleichspannung abnehmen. Schließt man parallel zum Widerstand über den Tastenschalter das Anzeigeinstrument an, dann wird dieses bei arbeitendem Generator nicht ausschlagen, wenn man die Taste drückt. Man darf den Tastenschalter aber erst dann betätigen, wenn der Generator bereits arbeitet, d. h. wenn die Batteriespannung eingeschaltet ist. Andernfalls würde durch den hohen Ladestromstoß des $10\mu\text{F}$ Elkos das Instrument stark ausschlagen und evtl. beschädigt werden. Die Wechselspannung kehrt aber ihre Polarität ständig um, d.h. der Zeiger müsste dann eigentlich immer hin und her schwanken. Bei den vom Generator erzeugten Tönen ist die Frequenz aber so hoch, dass der Instrumentenanzeiger dem schnellen Wechsel nicht mehr folgen kann. Er schlägt daher überhaupt nicht aus. Das Drehspulinstrument ist also zum unmittelbaren Messen als Wechselspannungs- bzw. Wechselstromanzeiger nicht brauchbar.

44





Gleichrichtung einer Wechselspannung mit der Diode

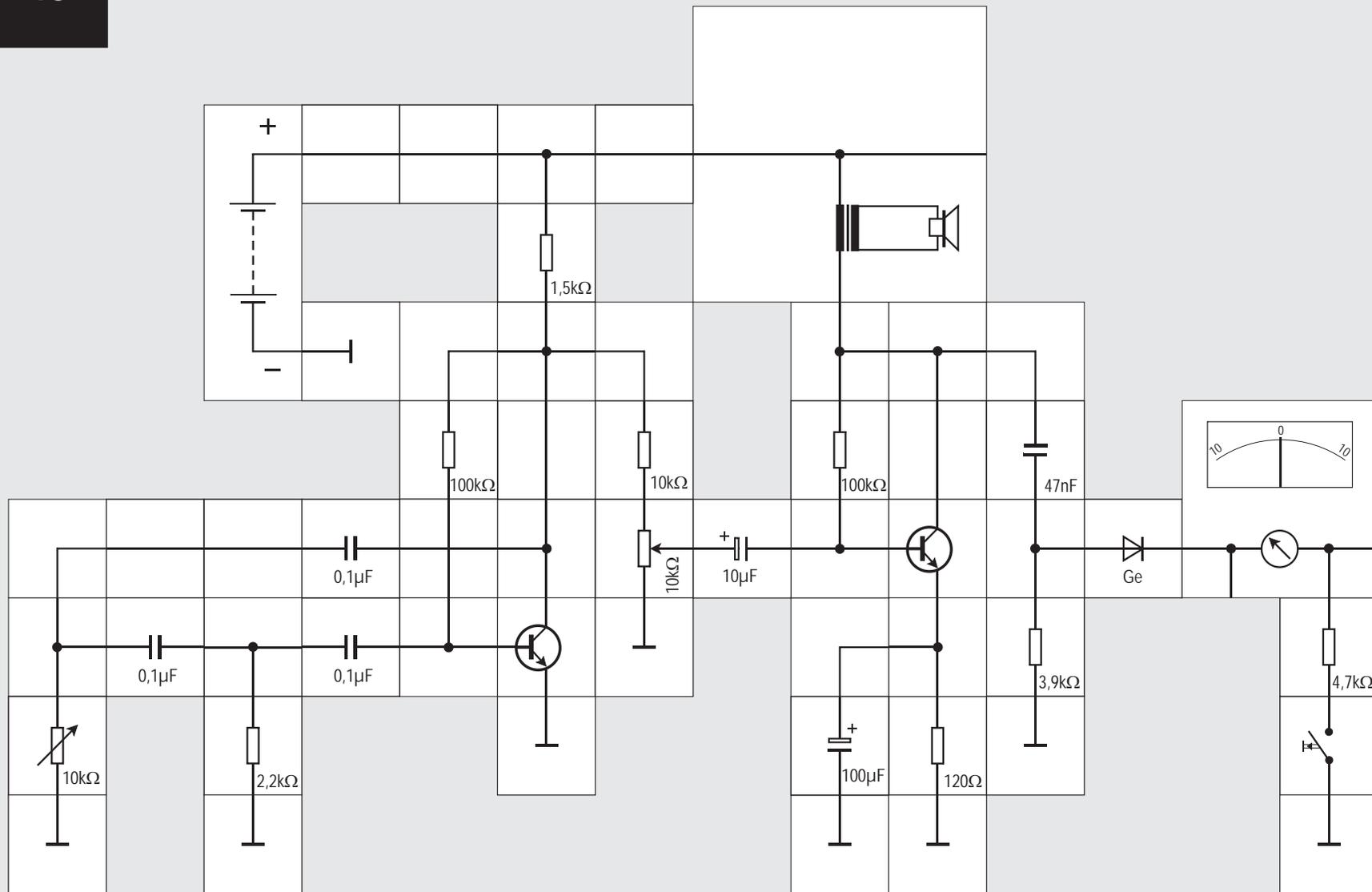
Auch für diesen Versuch kann man den gleichen Schaltungsaufbau des Tonfrequenzgenerators verwenden. Zum Einstellen der Ausgangs-Wechselspannung ist jedoch noch der Potentiometerbaustein vorgesehen. Zwischen den Widerstand von $3,9\text{k}\Omega$ und das Anzeigeinstrument ist hier die Diode geschaltet. Die Versuche 36 und 37 haben schon gezeigt, dass die Diode einen Strom nur in einer Richtung, der Durchlassrichtung, fließen lässt. Das Instrument erhält also in dieser Schaltung nur einen Strom in der gewünschten Polarität. Drückt man

jetzt bei arbeitendem Generator die Taste, dann schlägt das Instrument aus. Damit die Anzeige nicht zu hoch wird, ist am Instrument noch ein Vorwiderstand von $4,7\text{k}\Omega$ vorgesehen. Das Instrument zeigt nunmehr die gleichgerichtete Wechselspannung am Ausgang des Verstärkers an. Zum Beweis kann man die Lautstärke am Potentiometer ganz bis auf Null herunter drehen. Dann ist auch am Instrument keine Anzeige mehr vorhanden, obwohl die Batterie - Gleichspannung noch anliegt.

Schaltet man vor das Drehspulinstrument eine Diode, dann kann man also eine Wechselspannungs- bzw. Wechselstromanzeige erreichen.

Dass man über einen Kondensator eine Wechselspannung übertragen kann, ist bekannt. Es ist aber dabei nicht gleichgültig, welche Kapazität der Kondensator besitzt. Für Gleichstrom bildet er ohnehin in jedem Fall einen unendlich großen Widerstand. Aber auch für Wechselstrom stellt ein Kondensator einen Widerstand dar, den sogenannten Wechselstrom-Widerstand. Dieser ist abhängig von der Kapazität des Kondensators und der zu übertragenden Frequenz. Je größer die Kapazität eines Kondensators ist, um so kleiner ist sein Wechselstromwiderstand. Außerdem wird der Wechselstromwiderstand eines Kondensators um so kleiner, je höher die Frequenz ist.

45

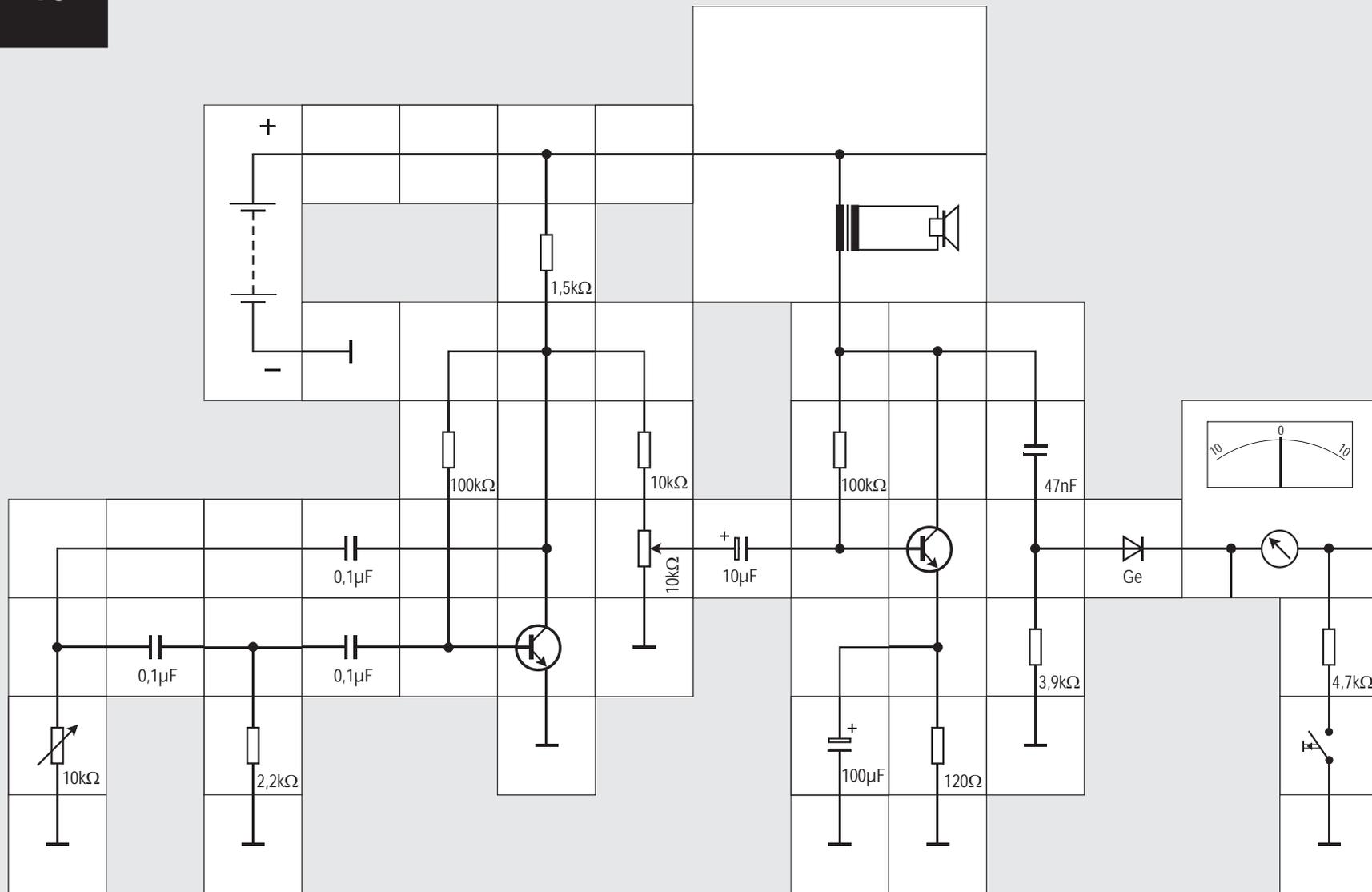




Einfluss der Kapazität eines Kondensators im Wechselstromkreis

Bei unveränderter Einstellung des Lautstärkereglers (Potentiometer) und des Frequenzreglers (Regelwiderstand) wird der $10\mu\text{F}$ Elko gegen einen Kondensator von 47 nF ausgetauscht. Setzt man den Generator wieder in Betrieb, dann schlägt das Instrument nicht mehr so weit aus, wie das bei Verwendung des $10\mu\text{F}$ Kondensators der Fall war. Der 47 nF Kondensator (mit kleinerer Kapazität) hat also einen größeren Wechselstromwiderstand als der $10\mu\text{F}$ Kondensator (mit größerer Kapazität).

46





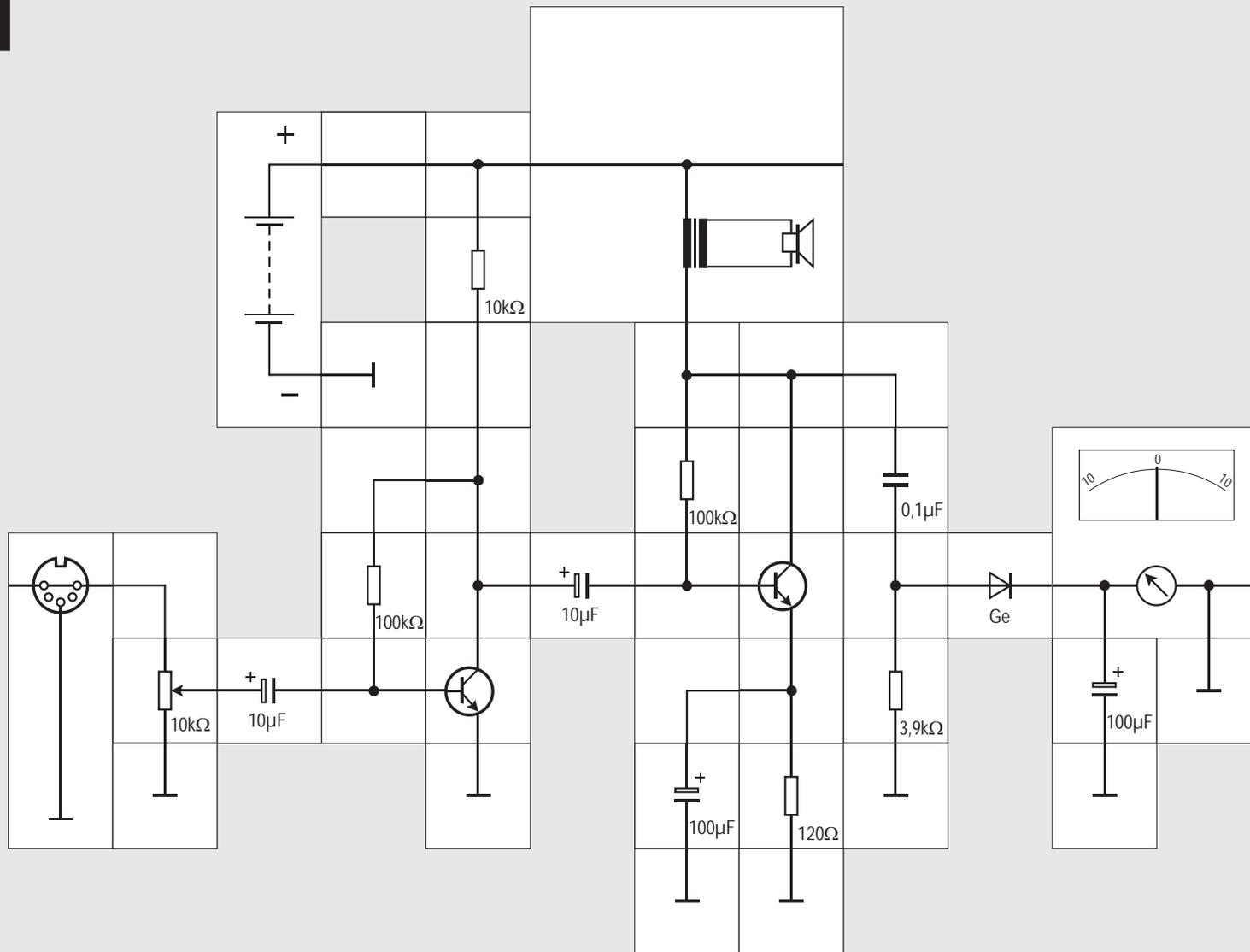
Frequenzabhängigkeit des Wechselstromwiderstandes beim Kondensator

Der Schaltungsaufbau für diesen Versuch entspricht vollkommen dem des Versuches 45. Der Lautstärkereglert wird wieder nicht verändert. Dagegen verstellt man jetzt am $10\text{ k}\Omega$ Regelwiderstand die Frequenz. In einem bestimmten Bereich wird die Lautstärke des Tones dabei ziemlich gleich bleiben. Am Anzeigeeinstrument sieht man aber ganz deut-

lich, dass bei höherer Frequenz – also höherem Ton – der Zeigerausschlag größer wird. Damit ist auch bewiesen, dass der Wechselstromwiderstand eines Kondensators bei höherer Frequenz abnimmt. Bei zu hoch eingestellter Frequenz nimmt bei dem einfachen Generator allerdings auch die Lautstärke ab, d. h. die Ausgangswechselspannung wird geringer. Dann wird natürlich auch der Ausschlag des Instrumentes wieder kleiner. Man darf daher, um nicht zu falschen Ergebnissen zu kommen, den Versuch nur in dem Frequenzbereich durchführen, bei dem die Lautstärke des Tones einigermaßen gleichbleibt.

Durch Drehspulinstrumente mit Gleichrichter lassen sich nicht nur gleichmäßige Wechselspannungen messen, wie sie mit dem Tonfrequenzgenerator erzeugt werden. Man kann sie vielmehr auch als sogenannte Aussteuerungsanzeiger in Verstärkern einsetzen, die zur Wiedergabe von Sprache oder Musik dienen. Ein großes Anwendungsgebiet finden solche Aussteuerungsanzeiger beispielsweise bei Aufnahmegegeräten. Hier kommt es darauf an, dass bei der Aufnahme eine bestimmte Höchstspannung nicht überschritten wird. Um die Wirkung einer solchen Einrichtung kennenzulernen, wird das Anzeige – Instrument im folgenden Versuch als Aussteuerungsanzeiger für den bereits früher aufgebauten Plattenspieler – Verstärker ver-

47





Das Anzeige - Instrument als Aussteuerungsanzeiger beim Plattenspieler - Verstärker

Der Schaltungsaufbau des Verstärkers entspricht dem des Versuches 41. In der Endstufe ist wieder ein Abzweigungsbaustein anzuordnen, an dem das Anzeigeinstrument angeschlossen wird. Zur gleichstrommäßigen Trennung wird hier ein Kondensator von $0,1\mu\text{F}$ benutzt. Das Instrument ist über die Diode angeschlossen. Parallel zum Instrument liegt ein Elko von $100\mu\text{F}$. Setzt man den Plattenspieler und den Verstärker in Betrieb, dann kann man am Instrument die jeweilige Lautstärke kontrollieren. Bei lauten Stellen wird der Zeiger sehr weit ausschlagen und unter Umständen sogar den Endausschlag erreichen. In den vorher erwähnten Aufnahmegeäten ist beispielsweise bei einem bestimmten Skalenwert eine rote Marke angebracht, die bei der Tonaufnahme nicht überschritten werden darf.



Die Ausbreitung des Wechselstromes im freien Raum

In der Beschreibung des Transformators (siehe Seite 86 des Buches) wurde bereits gezeigt, dass man eine Wechselspannung bzw. einen Wechselstrom übertragen kann, ohne dass eine direkte Verbindung zwischen Eingang und Ausgang besteht. Die Kopplung erfolgte vielmehr über den Eisenkern durch zwei darauf gewickelte Spulen. Bei dem erwähnten Klingeltransformator handelte es sich um die Übertragung von Wechselstrom mit einer Frequenz von 50 Hz. Der im Lautsprecherbaustein enthaltene Transformator arbeitet ebenfalls noch bei Wechselströmen im Niederfrequenz- (Tonfrequenz-) bereich. Auch hier sind die beiden Spulen

auf einen Eisenkern gewickelt. Würde man die beiden Spulen weit voneinander entfernt anordnen, dann würde man nicht mehr so gute Ergebnisse erzielen. Je höher aber die verwendete Frequenz ist, um so leichter lassen sich die Wechselströme auch über größere Entfernungen übertragen. Wechselspannungen bzw. -ströme mit hoher Frequenz breiten sich im freien Raum über sehr große Strecken aus. Auf dieser Tatsache beruht die gesamte Rundfunktechnik.

Auch zwischen dem «Sender», der das Rundfunkprogramm ausstrahlt, und dem «Empfänger» besteht keine direkte Verbindung über einen Draht. Daher stammt auch die Bezeichnung «Drahtlose Nachrichtentechnik» für diese Art von Übertragung. Wie schon erwähnt, muss man für eine drahtlose Übermittlung eine hohe Frequenz, eine HOCHFREQUENZ, verwenden. Bei den Sendern im sogenannten Mittelwellenbereich, die man mit jedem Rundfunkempfänger aufnehmen kann, handelt es sich um Wechselströme im Bereich von einigen hundert Kilohertz. Auf der Senderseite wird der Hochfrequenz-Wechselstrom einer Antenne zugeführt, von der die elektrischen Schwingungen in den Raum ausgestrahlt werden. Der Empfänger benötigt dann wieder eine Antenne, um die Schwingungen aufzu-



nehmen. Die Empfangsantenne kann bei modernen Geräten sehr klein sein und ist daher vielfach bereits eingebaut.

Natürlich kann man die hochfrequenten Schwingungen von mehreren hundert Kilohertz nicht einfach nach entsprechender Verstärkung im Lautsprecher hörbar machen, denn diese Frequenzen liegen ja weit außerhalb des Bereiches, den das menschliche Ohr wahrnehmen kann. Die Hochfrequenzschwingungen dienen vielmehr nur als »Träger« für das eigentliche Signal, das man übermitteln will, also zum Beispiel die Sprache oder Musik. Dabei werden die Hochfrequenzschwingungen im Takte der zu übertragenden Tonfrequenz beeinflusst, sie werden moduliert. Die Polarität der Spannung bzw. des Stromes wechselt ständig hin und her. Moduliert man nun die Hochfrequenz im Takte der Niederfrequenz in einer geeigneten Schaltung, dann ändert sich die Größe der Hochfrequenz – Wechselfspannung ständig, je nachdem, ob gerade viel oder wenig Niederfrequenzspannung zugeführt wird.

An der Antenne des Empfängers tritt dann ebenfalls eine ständig schwankende Hochfrequenzspannung auf. Im Empfänger selbst wird die sehr geringe Antennenspannung verstärkt. Außerdem muss man

die gewünschte Niederfrequenz wieder von ihrem »Träger«, der Hochfrequenz, trennen. Das geschieht z. B. mit einer Diode. Wie in den Versuchen 36 und 37 und später auch bei Versuch 44 mit einem Tonfrequenzgenerator nachgewiesen wurde, lässt die Diode einen Strom nur in der Durchlassrichtung fließen. Das gilt auch dann, wenn es sich um eine von der Antenne eines Rundfunkempfängers aufgenommene Hochfrequenzspannung handelt. Sie wird »gleichgerichtet«.

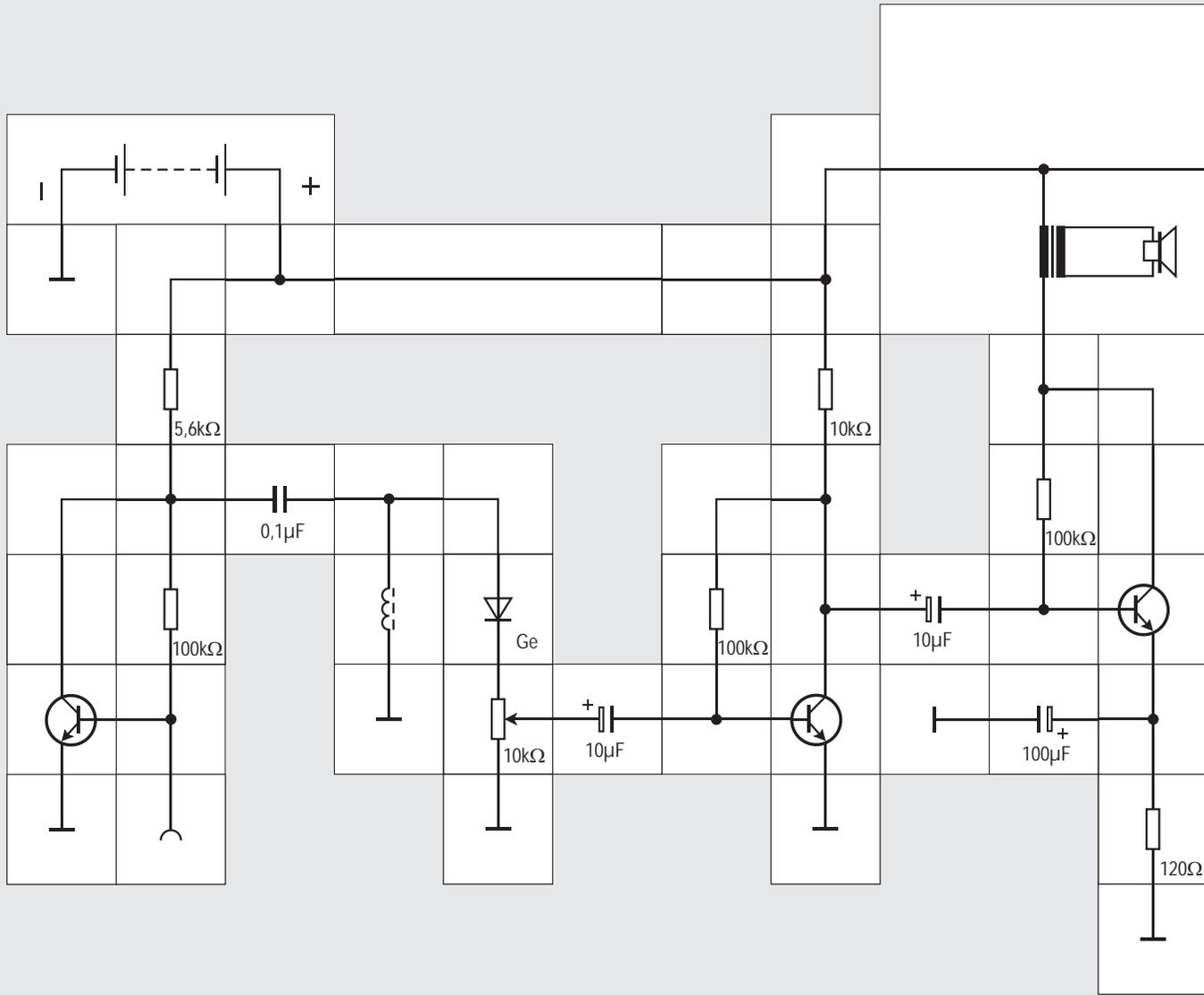
Was nach der Gleichrichtung übrig bleibt, ist die gewünschte Niederfrequenz (Tonfrequenz), die weiter verstärkt und im Lautsprecher hörbar gemacht werden kann.

Die Abstimmung im Rundfunkempfänger

Mit der Empfangsantenne des Rundfunkempfängers nimmt man nicht nur die Hochfrequenzspannung eines einzigen Senders auf. Vielmehr wird die Antenne von der ausgestrahlten Hochfrequenz sehr vieler Sender getroffen. Man würde daher zunächst alle Spannungen, die an die Antenne gelangen, gleichrichten und nach Verstärkung im Lautsprecher hören. Das ergäbe aber ein völliges Durcheinander. Um das zu vermeiden, arbeitet jeder Rundfunksender auf einer anderen Frequenz. Im Empfänger wird dann die jeweils gewünschte Frequenz

durch eine geeignete Schaltung ausgesucht. Dieses Aussuchen eines ganz bestimmten Senders nennt man abstimmen. Als Bauelemente hierzu werden eine Spule und ein Kondensator gebraucht. Schaltet man diese beiden Bauelemente parallel oder in Reihe, dann erhält man einen sogenannten Schwingkreis. Führt man einem solchen Kreis eine Wechselfspannung zu, dann verhalten sich die beiden Teile zunächst so, wie das die Versuche mit Kondensatoren und Spulen gezeigt haben. Bei einer ganz bestimmten Frequenz aber, die von der Induktivität der Spule und der Kapazität des Kondensators abhängig ist, unterstützt der Schwingkreis die zugeführte Wechselfspannung bzw. den Wechselstrom so stark, dass man an der Schaltung einen wesentlich höheren Spannungs- bzw. Stromwert abnehmen kann, als eigentlich angelegt wird. Besteht die zugeführte Wechselfspannung nun aus einem Gemisch vieler verschiedener Frequenzen, dann kann man durch geeignete Wahl der Kapazität und Induktivität eine spezielle Frequenz aussuchen, die dann im Rundfunkempfänger weiter verarbeitet wird. In den meisten Fällen verwendet man in Rundfunkempfängern eine feste Spule und einen veränderlichen Kondensator (Drehkondensator), um die gewünschte Senderfrequenz auszusuchen, d. h. den Empfänger »abzustimmen«.

48





Ein nicht abgestimmter Rundfunkempfänger

Um die grundsätzliche Wirkungsweise der drahtlosen Nachrichtentechnik kennenzulernen, soll zunächst ein ganz einfacher, nicht abgestimmter Empfänger aufgebaut werden. Da mit dem Gerät nur eine sehr geringe Empfindlichkeit zu erzielen ist, benötigt man eine besondere Antenne. Vollkommen ausreichend für diesen Zweck ist beispielsweise der Anschluss an die Zentralheizung oder die Wasserleitung über ein Stück Draht. Über den Baustein mit Einzelbuchse erfolgt die Zuführung zu den Bausteinen der Experimentierschaltung.

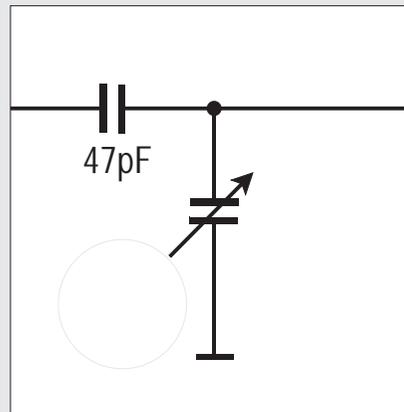
Das Schaltbild zeigt, dass die von der Antenne kommenden Hochfrequenz-Wechselspannungen unmittelbar dem Basisanschluss des ersten Transistors zugeführt werden. Dieser sogenannte Eingangstransistor soll die empfangene Hochfrequenzspannung verstärken. Über einen Widerstand von $5,6 \text{ k}\Omega$ ist der Transistor an die Batterie-

Gleichspannung angeschlossen. Diese ständig anliegende Gleichspannung würde ein einwandfreies Arbeiten der nachfolgenden Diode unmöglich machen, denn diese soll nur die Hochfrequenzspannung gleichrichten. Daher ist zwischen den Kollektor des ersten Transistors und die Diode ein Kondensator von $0,1 \mu\text{F}$ eingefügt, der die Batteriespannung sperrt. Als Arbeitswiderstand für die Hochfrequenzspannung wirkt dann auch nicht der $5,6 \text{ k}\Omega$ Widerstand, sondern der Spulenbaustein. In der Beschreibung des Spulenbausteines wurde schon gezeigt, dass eine Spule für Gleichstrom praktisch keinen Widerstand besitzt. Bei Wechselstrom hat sie jedoch, je nach Induktivität, einen sehr hohen Widerstand. Parallel zum Spulenbaustein erhält man die von der Antenne aufgenommene und im ersten Transistor verstärkte Hochfrequenz-Wechselspannung. Die Wechselspannung wird nun der Diode zugeleitet und von dieser gleichgerichtet. Nach der Diode, also am Potentiometerbaustein, steht dann die aus der modulierten Hochfrequenzspannung zurückgewonnene Niederfrequenzspannung (Tonfrequenz) wieder zur Verfügung. Je nach Lautstärkebedarf nimmt man am Potentiometer die gesamte Niederfrequenzspannung oder nur einen Teil davon ab und steuert damit den zweistufigen Niederfrequenzverstärker, der im wesentlichen den

bisher aufgebauten Verstärkern dieser Art entspricht.

Bei angeschlossener Antenne wird nun die Batterie eingeschaltet und zunächst am Potentiometer die volle Spannung abgegriffen. Im Lautsprecher wird man dann eine ganze Reihe von Rundfunksendern gleichzeitig hören können. Wohnt man in der Nähe eines starken Ortssenders, dann hört man diesen am lautesten und muss evtl. am Potentiometer die Lautstärke vermindern. Das Ausschuchen eines bestimmten Senders ist mit dieser Schaltung noch nicht möglich. Der Versuch zeigt nur, wie der Empfang eines drahtlosen Signals (Sprache oder Musik) erfolgen kann.

Mit der Schaltung 48 sind die mit dem Grundkasten möglichen Versuche abgeschlossen. Dieser Experimentierkasten hat einen Einblick in die wesentlichen Grundlagen der elektronischen Schaltungstechnik und in die Verstärker und Rundfunktechnik ermöglicht. Die Schaltungen 49 und 50 zeigen, wie man abstimmbare Rundfunkempfänger aufbauen kann. Man benötigt dazu Teile des Ausbaustens. Damit kennt man jedoch nur einen Teil der Möglichkeiten, die die Elektronik bietet. Genauso interessant ist aber die Anwendung elektronischer Schaltungen in der sogenannten Mess- und Regeltechnik, mit denen sich die dann folgenden über 40



Der Abstimmkondensator

Im Experimentierkasten besteht der Abstimmkreis aus zwei Bausteinen. Einer davon ist der Abstimmkondensator (Drehkondensator). Er hat wieder gegenüberliegende Metallplatten mit einer isolierenden Zwischenschicht, wie das auch schon bei dem früher beschriebenen Festkondensator der Fall war. Beim Drehkondensator lässt sich die eine Metallplatte (in der Praxis sind es allerdings mehrere parallel geschaltete Platten) gegen die andere verdrehen. Dadurch stehen sich je nach Drehwinkel mehr oder weniger große Metallflächen gegenüber. Damit ändert sich die Kapazität des Drehkondensators.

Der Drehkondensator im Experimentierkasten ist in einem Viererbaustein untergebracht. Ein Anschluss ist direkt an das Kontaktplättchen der Bodenfläche geführt. Der andere Anschluss des Drehkondensators ist einerseits direkt mit einem seitlichen Kontaktplättchen, zum anderen über einen 47 pF Festkondensator mit einem weiteren Kontaktplättchen verbunden. Über diesen Kondensator wird die Antenne angeschlossen, wodurch sich eine bessere Anpassung des Schwingkreises an die Antenne erzielen lässt.

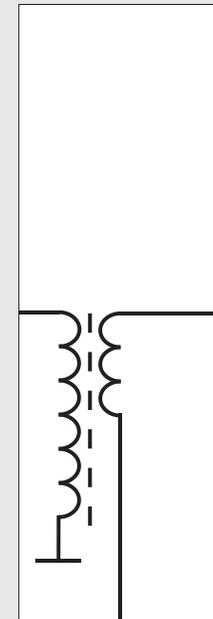


sondern um zwei. Zum Abstimmkreis gehört jedoch nur eine davon. Über die zweite Spule (Koppelspule) wird die vom Schwingkreis herausgesuchte Hochfrequenzspannung ausgekoppelt. Das ist notwendig, um den Schwingkreis an den nachfolgenden Transistoreingang besser anpassen zu können. Damit bildet dieser Baustein also wiederum einen Transformator.

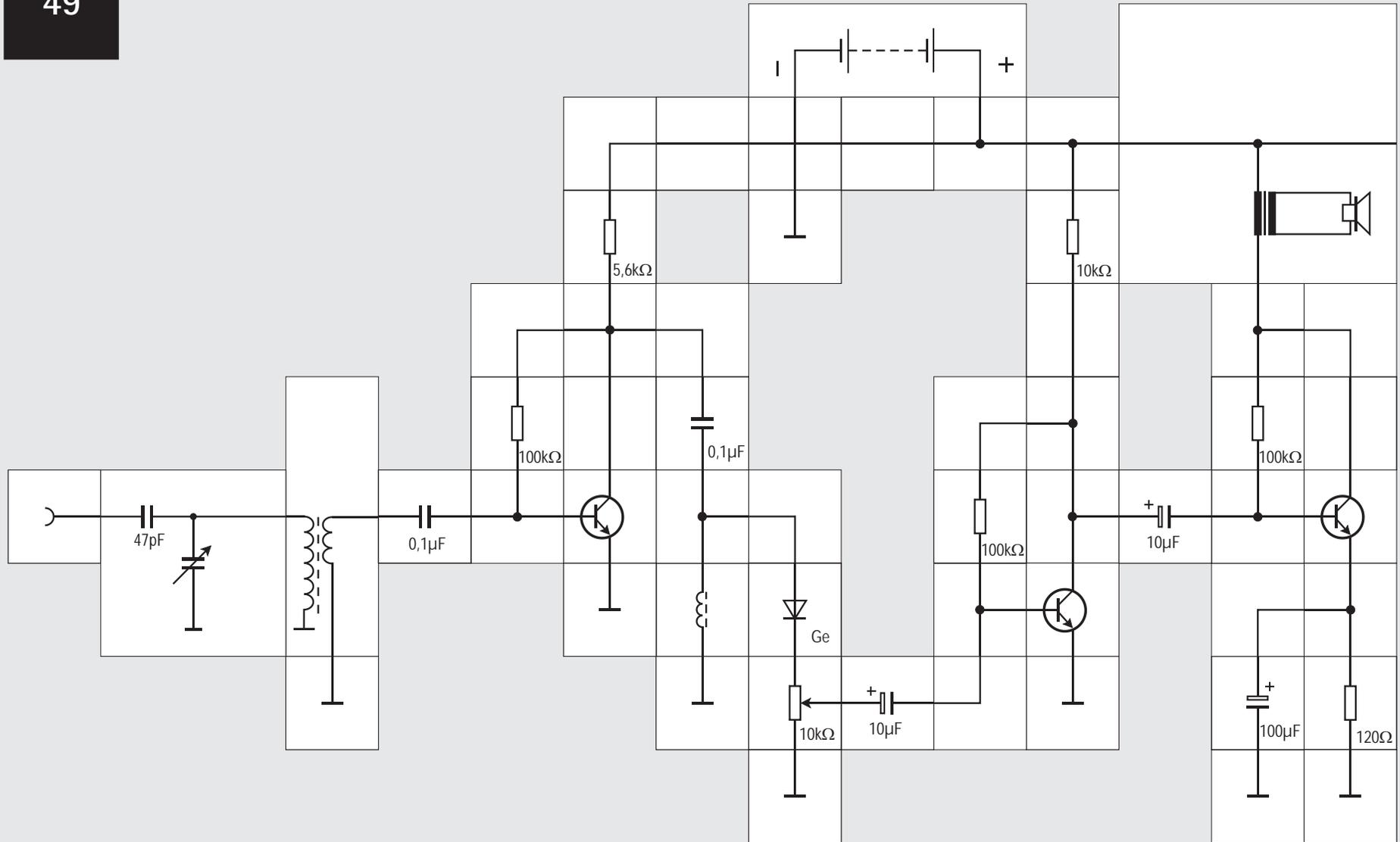
Beide Spulen sind gemeinsam auf einen stabförmigen Kern aus einem besonderen Material – einen sogenannten FERRITSTAB – gewickelt. Bei einem empfindlichen Rundfunkempfänger, wie er beispielsweise später im Versuch 50 aufgebaut wird, genügt bereits dieser Ferritstab als Antenne, und man kann auf den Anschluss einer zusätzlichen Antenne verzichten. Dabei ist allerdings zu beachten, dass eine solche Anordnung richtungsempfindlich ist. Die größte Lautstärke im Empfänger erzielt man dann, wenn der Ferritstab quer zu der Richtung liegt, aus der der jeweilige Sender empfangen wird. Auf diese Weise lassen sich gegebenenfalls auch Sender besser trennen, deren Frequenzen nahe beieinander liegen und die daher durch die Abstimmwirkung des Schwingkreises allein nicht einwandfrei getrennt werden können. Moderne Rundfunkempfänger sind dafür mit einer drehbaren Ferritantenne ausgerüstet.

Die Schwingkreisspule

Neben dem Drehkondensator gehört zum Abstimmkreis die Schwingkreisspule, die in einem Dreierbaustein eingebaut ist. Wie das Schaltbild zeigt, handelt es sich eigentlich nicht nur um eine Spule,



49





Ein abgestimmter Rundfunkempfänger

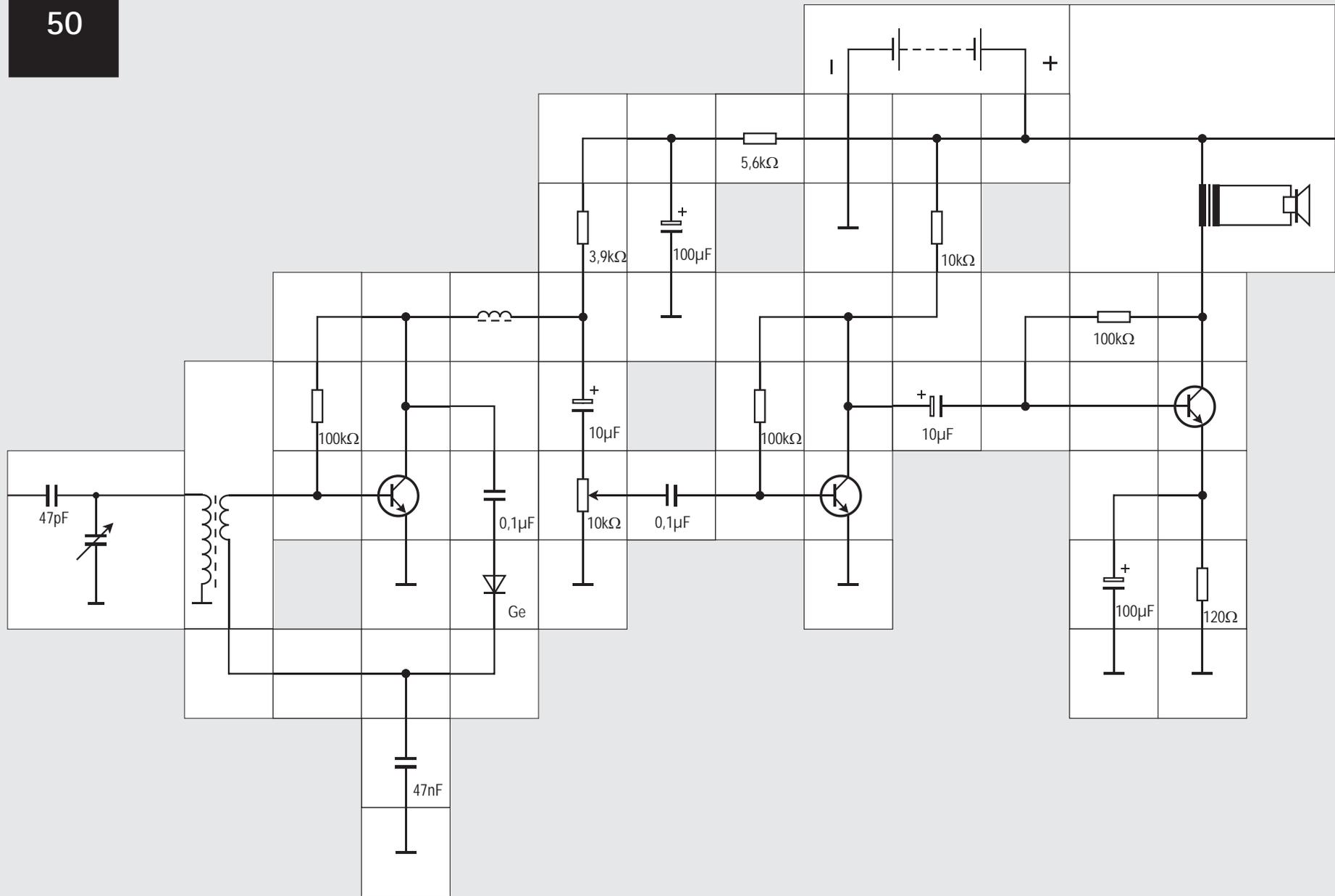
Der Aufbau der Verstärkerstufen und die Gleichrichtung der Hochfrequenzspannung entspricht bei dieser Schaltung dem vorigen Versuch. Lediglich die Ankopplung der Antenne wird über die Abstimmbausteine vorgenommen. Die Antenne wird wieder über den Baustein mit Einzelbuchse angeschlossen. Sie ist auch bei dieser Schaltung noch notwendig. Die Antennenspannung gelangt über den 47pF Kondensator an den Schwingkreis. Über die Koppelspule wird die Hochfrequenzspannung der Basis des Eingangstransistors zugeführt. Würde man die Koppelspule unmittelbar zwischen die Basis des Transistors und Masse legen, so würde sich wieder die Basisgleichspannung unzulässig verschieben. Aus diesem Grunde ist auch hier ein Kondensator von 0,1µF vorgesehen.

Mit der Schaltung 49 lassen sich durch Drehen am

Abstimmkondensator einzelne Sender heraussuchen. Man kann das Gerät abstimmen. Da hier nur ein einziger Abstimmkreis vorhanden ist, erreicht man allerdings noch keine sehr große Trennschärfe. Moderne Rundfunkempfänger arbeiten mit mehreren Abstimmkreisen und ergeben damit eine wesentlich bessere Trennschärfe. Mit dem Versuchsaufbau 49 können - vor allem abends - mehrere starke Sender einwandfrei empfangen werden. Sollten die Sender verzerrt empfangen werden, kann man in die Emitterleitung des mittleren Transistors einen Widerstand bis 1,5 kΩ einfügen.

Durch einen besonderen Kunstgriff kann man einen Rundfunkempfänger mit drei Transistoren, wie er in den beiden letzten Schaltungen aufgebaut wurde, noch wesentlich empfindlicher machen, wenn man einen Transistor doppelt - zur Hochfrequenz- und zur Niederfrequenzverstärkung - ausnutzt. Man erhält eine Hochfrequenz- und drei Niederfrequenzverstärkerstufen. Bei einer solchen Vielzahl von Verstärkerstufen kann es vorkommen, dass zwischen den einzelnen Stufen über die Stromquelle (Batterie) eine unerwünschte Rückkopplung erfolgt. Die Schaltung beginnt zu pfeifen. Um das zu vermeiden, müssen die Verstärkerstufen gegenseitig mit einem RC - Glied (5,6 kΩ / 100µF) entkoppelt werden.

50





Ein abgestimmter Rundfunkempfänger mit doppelter Ausnutzung eines Transistors

Wie beim letzten Versuch erfolgt auch hier mit dem Schwingkreis eine Abstimmung auf den gewünschten Sender. Die Hochfrequenzspannung gelangt über die Koppelspule zur Basis des ersten Transistors. Hier kann auf die Zwischenschaltung eines

Kondensators verzichtet werden, da der andere Anschluss der Koppelspule über einen 47 nF Kondensator an Masse gelegt ist. Im Kollektorkreis dieses Transistors liegt zunächst der Spulenbaustein als Arbeitswiderstand. Für die Hochfrequenz - Wechselspannung stellt er einen sehr großen Widerstand dar. Über den Spulenbaustein kann daher praktisch kein Hochfrequenzstrom fließen. Die vom Schwingkreis ausgesuchte und im Transistor verstärkte Hochfrequenzspannung steht daher in voller Größe an seinem Kollektor zur Verfügung. Über einen 0,1µF Kondensator erreicht sie die Diode und wird von ihr gleichgerichtet. An dem zwischen der Diode und Masse liegenden 47 nF Kondensator entsteht die gleichgerichtete Hochfrequenzspannung, also die Niederfrequenz- (Tonfrequenz-) Spannung. Über die Koppelspule wird diese Niederfrequenz wieder der Basis des ersten Transistors zugeführt. Da die Induktivität der Koppelspule gering und die Frequenz niedrig ist, stellt die Spule keinen Widerstand für die Niederfrequenz dar. Auch die Niederfrequenz wird jetzt im ersten Transistor verstärkt. Für diese Frequenz bedeutet der vom Kollektor zur Diode führende 0,1µF Kondensator einen großen Widerstand, daher wird in diesem Stromkreis praktisch kein Niederfrequenz-Wechselstrom fließen. Dagegen bildet der Spulenbaustein im Kollektor-

kreis für die Niederfrequenz einen geringen Widerstand. Als Arbeitswiderstand für die Niederfrequenz ist daher der in Reihe zum Spulenbaustein liegende 3,9 kΩ Widerstand anzusehen. Die verstärkte Niederfrequenz kann somit an diesem Widerstand abgenommen werden und gelangt über einen weiteren Kondensator von 10µF zum Potentiometer. Von dort aus erfolgt die weitere Verstärkung der Niederfrequenzspannung wie in den beiden vorhergehenden Versuchsschaltungen.

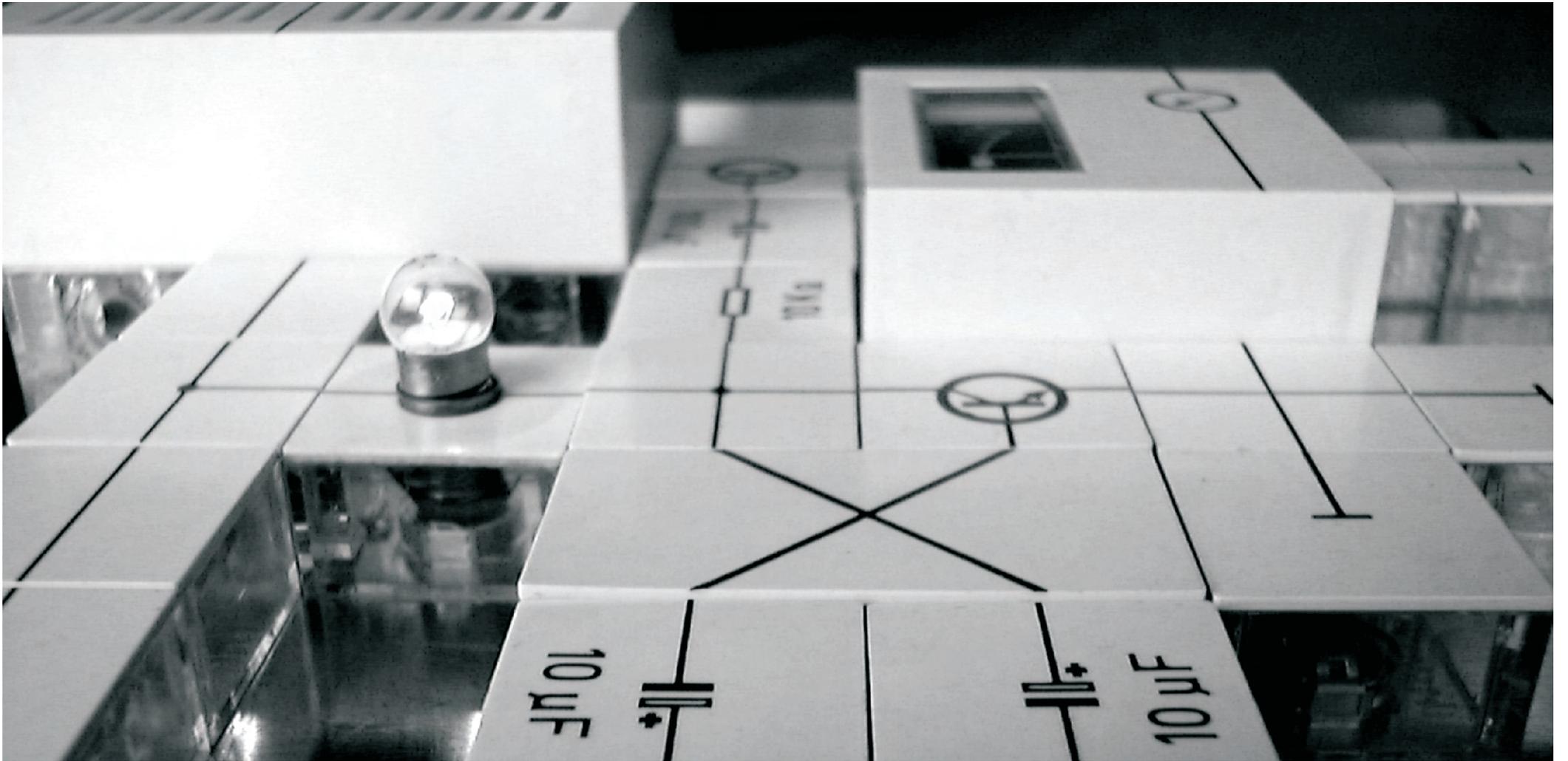
In die Stromzuführungsleitung des ersten Transistors ist das Entkopplungsglied 5,6 kΩ / 100µF eingefügt, um eine unerwünschte Rückkopplung zu vermeiden.

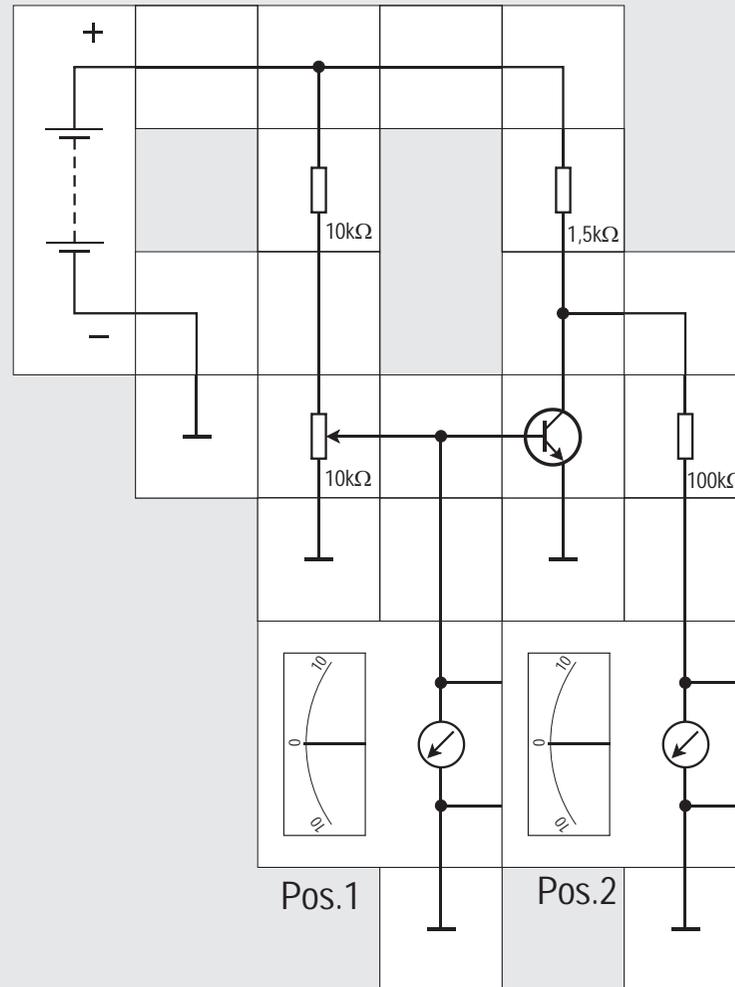
Da in dieser Schaltung gegenüber dem Versuch 49 eine nochmalige Verstärkung der Niederfrequenz stattfindet, ist eine erheblich größere Empfindlichkeit zu erreichen. Man kann daher auf den Anschluss einer zusätzlichen Antenne verzichten und den eingebauten Ferritstab als Antenne verwenden. In der Beschreibung der Abstimmspule wurde schon auf die Richtungsempfindlichkeit einer solchen Ferritstab-Antenne hingewiesen. Um eine gute Empfangsleistung zu erzielen, muss man daher den Versuchsaufbau mit der Grundplatte so drehen, bis die größte Lautstärke des eingestellten Senders auftritt.



Elektronik-Schaltungen für die Mess- und Regeltechnik

Die Versuche 1 -50 haben die Grundlagen der elektronischen Schaltungstechnik gezeigt und den Aufbau elektroakustischer Geräte ermöglicht. Daneben lassen sich mit Transistoren aber auch interessante Mess- und Regelaufgaben lösen. Die jetzt folgenden Versuche sollen einen Einblick in dieses Gebiet erlauben. Damit die Arbeitsweise dieser Schaltungen verständlicher wird, muss zunächst noch einmal das Verhalten des Transistors näher untersucht werden.







Spannungsverstärkung eines Transistors in Emitterschaltung

Um die verstärkende Wirkung des Transistors festzustellen, wird das Anzeigeelement benötigt. Der Eingangskreis in der neuen Schaltung ist ähnlich aufgebaut wie im grundlegenden Transistorversuch 38. Im Ausgangskreis ist an Stelle der Glühlampe ein Festwiderstand von $1,5\text{ k}\Omega$ als Arbeitswiderstand vorgesehen. Für die Versuchsdurchführung wird das Anzeigeelement wechselweise direkt 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 nach 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 Null, 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.

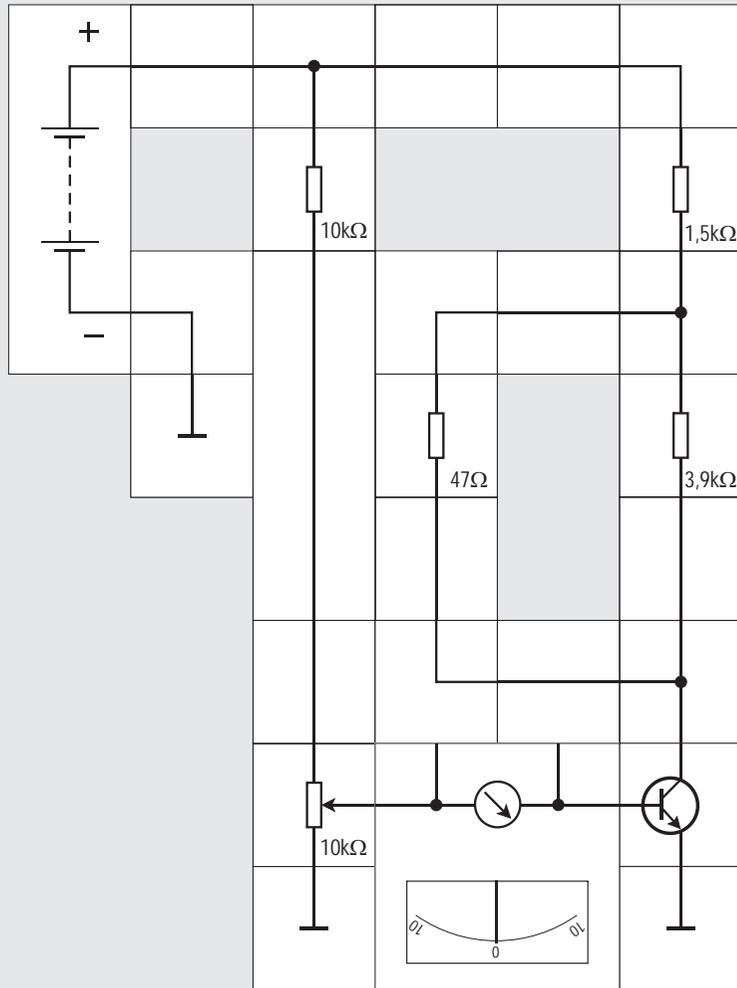
Nun wird das Instrument wieder in Position 1 eingesetzt und der Potentiometerknopf so weit gedreht, bis der Instrumentenzeiger zum Skalenwert 3 ausschlägt. Das bedeutet eine Spannung von etwa 100 mV . In Position 2 zeigt das Instrument dann nicht mehr so viel an wie bei der letzten Messung der Kollektorspannung. Der Transistor ist nicht mehr so hochohmig, er ist »leitend« geworden. Der genaue Spannungswert kann hier nicht angegeben werden, da Transistoren – auch des gleichen Typs – unterschiedliche Eigenschaften haben und der ge-

messene Wert daher von Fall zu Fall verschieden ist. Jetzt misst man wieder in Position 1 die Basisspannung und stellt das Potentiometer so ein, dass der Zeiger bis zum Skalenwert 4 ausschlägt. Das entspricht einer Spannung von etwa 135 mV . Schließlich wird das Instrument noch einmal in Position 2 angeordnet und die Kollektorspannung gemessen. Man stellt fest, dass der Zeiger jetzt nur etwa bis 7 ausschlägt.

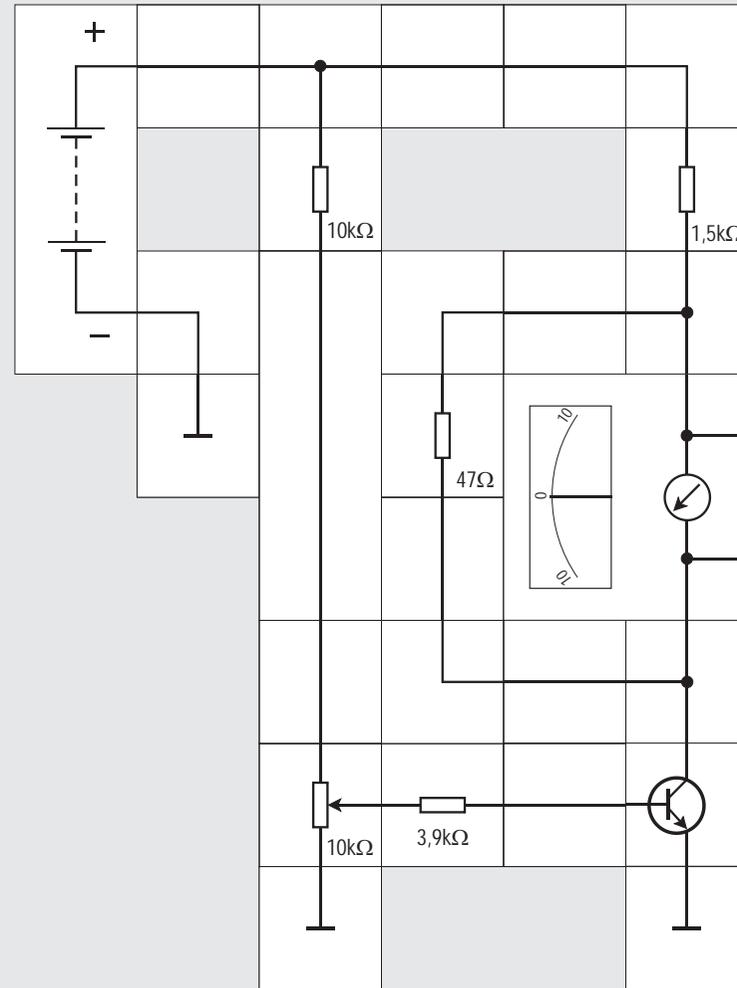
Man vergleicht nun die Änderung der Basisspannung und die der Kollektorspannung. Zwischen den Potentiometerstellungen 2 und 3 wurde die Basisspannung von 100 mV auf 135 mV geändert, das sind 35 mV Unterschied. Die Kollektorspannung änderte sich dabei aber um einen wesentlich größeren Betrag.

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. Diese Erkenntnis ist für spätere Versuche sehr wichtig.



Pos.1



Pos.2



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. Das Anzeigeeinstrument ist dann natürlich als Strommesser zu schalten, wie es die beiden Versuchsschaltbilder zeigen. Das Messwerk ist nicht mehr parallel zum Eingang bzw. Ausgang des Transistors angeordnet, sondern in die Basisleitung bzw. Kollektorleitung eingefügt. Der Widerstand $3,9\text{ k}\Omega$ samt Geradenbaustein wird in Position 2 gegen das Messinstrument ausgetauscht. Der $47\ \Omega$ Widerstand bleibt in der Schaltung und dient bei dieser Messung wieder zur Messbereichserweiterung.

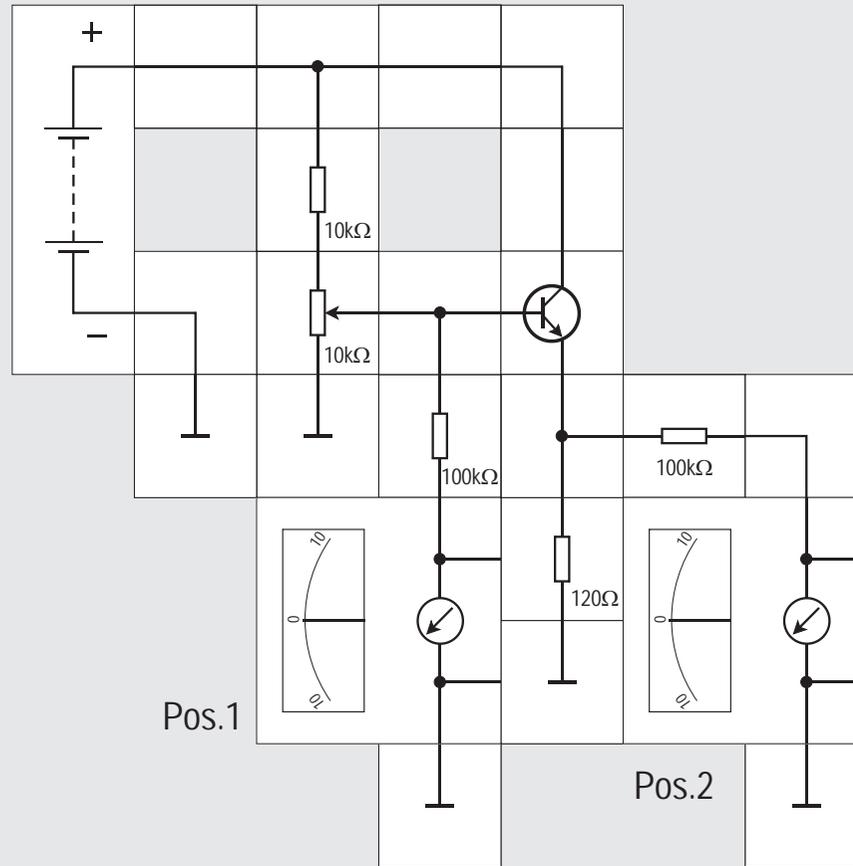
Der Versuch beginnt wieder mit Position 1 und ganz nach links gedrehtem Potentiometerknopf. Bei eingeschalteter Batterie wird sich kein Basisstrom fest-

stellen 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 $2,5\text{ mA}$.

Bei der Instrumentenanordnung in Position 1 dreht man sodann das Potentiometer, bis ein Zeigerausschlag von 2 entsprechend einem Basisstrom von $20\ \mu\text{A}$ erfolgt. Der Kollektorstrom 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.

Für eine ganze Reihe von Anwendungsfällen verwendet man den Transistor auch in der KOLLEKTORSCHALTUNG. Das wesentliche Merkmal dieser Grundschaltung ist es, dass der Arbeitswiderstand, an dem die Ausgangsleistung abgenommen wird, hier zwischen Emitter und Masse liegt.

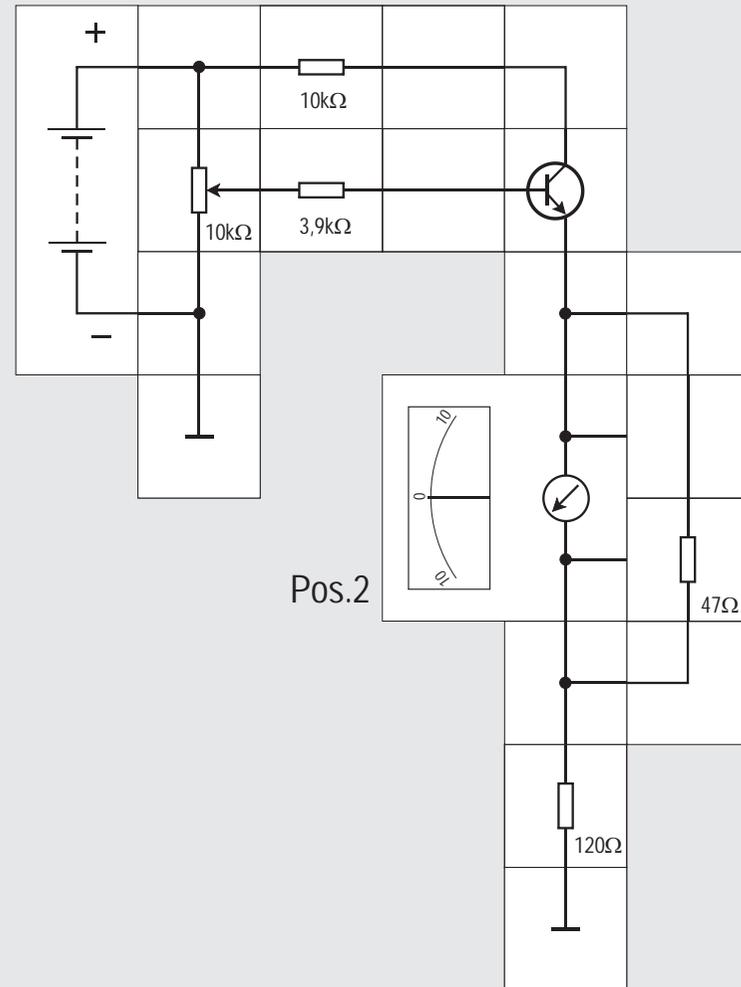
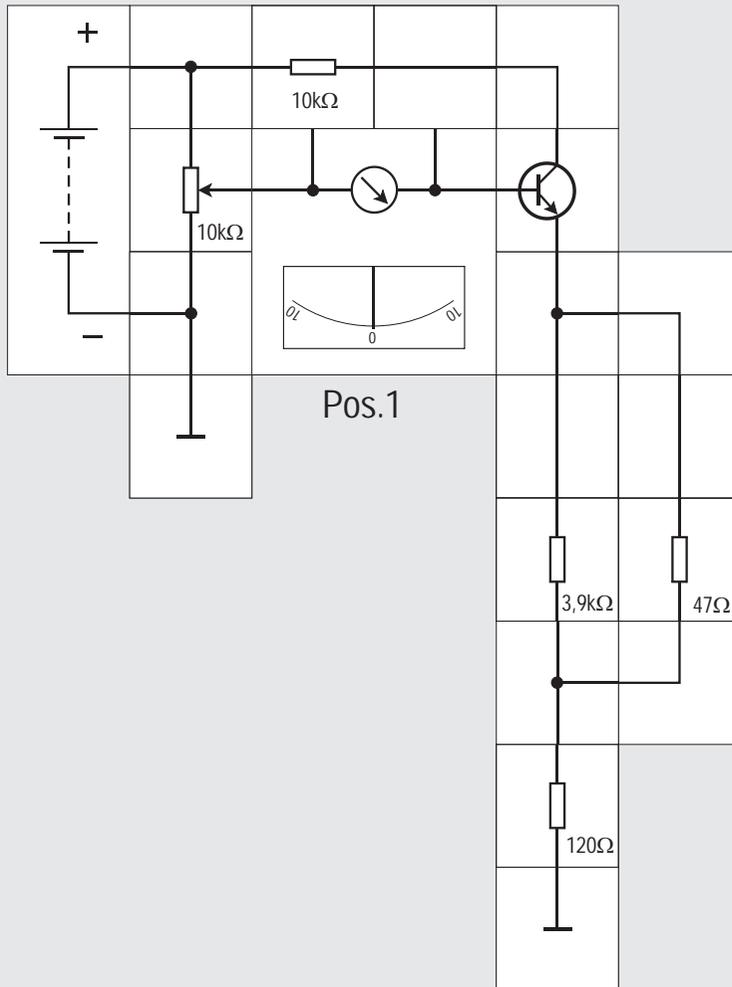




Spannungsverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung

Mit diesem Versuchsaufbau, der wieder aus zwei wechselweise zu verwendenden Schaltungen besteht, soll der Transistor auf eine mögliche Spannungsverstärkung in Kollektorschaltung geprüft werden. Die Versuchsdurchführung ähnelt den beiden letzten Experimenten. Wenn der Schleifer des Potentiometers ganz nach links gedreht wird, zeigt das Instrument in beiden Positionen keinen Ausschlag. Erzeugt man durch Potentiometerdrehung in Position 1 einen Zeigerausschlag bis zum Skalenwert von 2 - das ist eine Spannung von etwa 2 V -, dann erhält man in Position 2 einen etwas geringeren Ausschlag. Für die Skalenwerte der Ausgangsspannung gelten die gleichen Beträge, da in beiden Fällen der gleiche Vorwiderstand zum Instrument benutzt wird. Auch bei diesem Versuch folgt eine dritte Einstellung des Potentiometers, bis das Instrument in Position 1 den Skalenwert 3 (3 V) erreicht. In Position 2 ergibt sich dann erneut ein geringerer Ausschlag, also eine geringere Ausgangsspannung. Die Zahlenwerte dieser Versuchsreihe zeigen, dass eine Spannungsverstärkung bei Kollektorschaltungen des Transistors nicht zu erreichen ist. Die Änderung der Ausgangsspannung ist sogar etwas geringer als die der Eingangsspannung.

54





Stromverstärkung eines Transistors in Kollektorschaltung

Ordnet man das Instrument nicht parallel zu Ein- und Ausgang des Transistors, sondern direkt im jeweiligen Stromkreis nach den Schaltbildern 54 an, dann ermöglicht das die Messung der Stromverstärkung in KOLLEKTORSCHALTUNG. Für den richtigen Strommessbereich sorgt der Parallelwiderstand von 47Ω , der beim Wechseln des Instrumentes von der Eingangs- auf die Ausgangsseite wie bei Versuch 52

im Stromkreis bleibt. Der Versuch wird wie die vorhergehenden durchgeführt, d. h. bei verschiedenen Stellungen des Potentiometers. Die Basisströme (in Position 1) sind mit Null (bei ganz nach links gedrehtem Potentiometerknopf), $10\mu\text{A}$ und $20\mu\text{A}$ zu wählen und dabei in Position 2 des Instrumentes die zugehörigen Emitterströme zu messen. Aus den festgestellten Werten ersieht man, dass der Transistor in Kollektorschaltung eine kräftige Stromverstärkung hat.

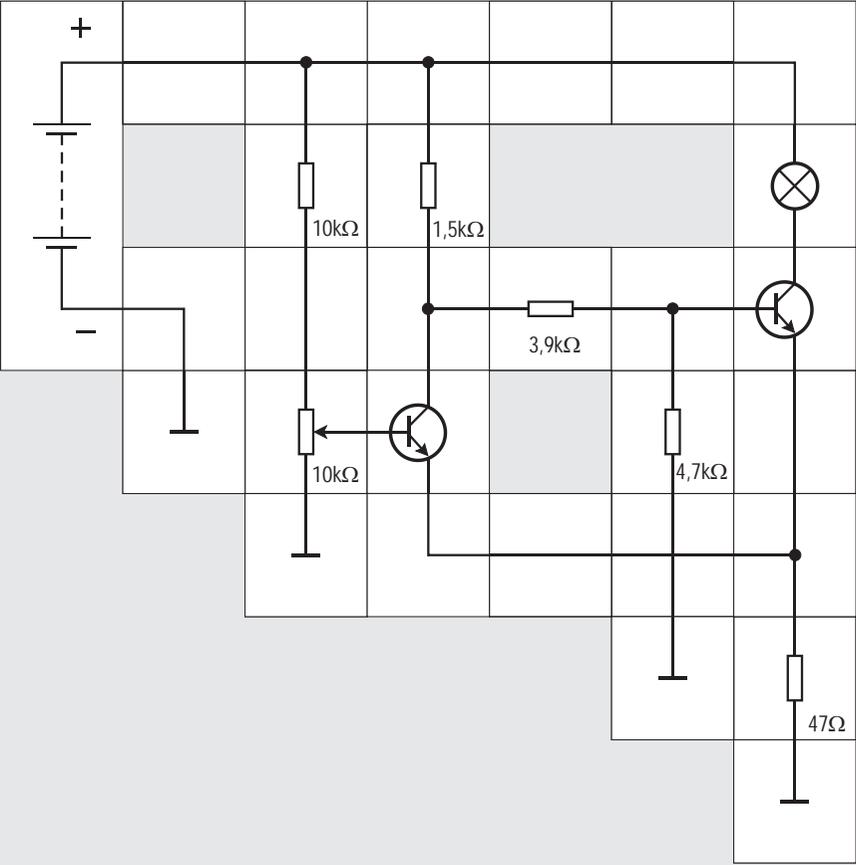
Die dritte Grundsaltung des Transistors, die BASISCHALTUNG, wird bei den Versuchen des Experimentierkastens nicht benötigt. Die Ergebnisse der Versuche 51 bis 54 haben folgendes erkennen lassen:

Der Transistor ist ein verstärkendes Bauelement. Er kann eine kleine elektrische Eingangsgröße (Spannung oder Strom) in eine höhere Ausgangsgröße umwandeln. Dazu kann man den Transistor in verschiedenen Grundsaltungen betreiben. In der Emitterschaltung erhält man sowohl eine Spannungs- als auch eine Stromverstärkung, in der Kollektorschaltung nur eine Stromverstärkung. Ist die Basisspannung des Transistors Null, dann fließt auch im Ausgangskreis kein Strom. Der Transistor ist dann gesperrt. Erst wenn die Basisspannung ansteigt, beginnt ein Strom zu fließen.

Eine sehr wichtige Rolle spielen neben den reinen Verstärkerschaltungen in der Regeltechnik die sogenannten Kippschaltungen. Sie bestehen im allgemeinen aus zwei Transistoren und den dazugehörigen Bauelementen. Einer der beiden Transistoren ist bei betriebsfertiger Schaltung immer leitend, während der andere gesperrt ist. Führt man dem Eingang einer solchen Schaltung eine stetig ansteigende oder auch eine stoßartige (impulsförmige) Spannung zu, dann kippt sie beim Erreichen einer bestimmten Eingangsspannung von dem einen in den anderen Zustand um, d. h. der vorher leitende Transistor wird schlagartig gesperrt und umgekehrt.

In Regelschaltungen wird häufig der sogenannte SCHMITT-TRIGGER verwendet. Die Bezeichnung «Trigger» stammt aus dem Englischen und bedeutet so viel wie «Auslöser». Beim Erreichen einer bestimmten positiven Spannung am Eingang «kippt» die Schaltung um und kehrt beim Abnehmen der Eingangsspannung wieder in den Ruhezustand zurück. Die Grundsaltung dieses Schmitt-Triggers zeigt der nächste Versuch.

55





Grundschtaltung eines Schmitt-Triggers

Die beiden Transistoren sind hier im Gegensatz zu den bisher bekannten Verstärkerschaltungen gleichstrommäßig gekoppelt. Zwischen dem Kollektor des ersten Transistors und der Basis des zweiten Transistors ist kein Kondensator vorgesehen. Vielmehr erfolgt die Ankopplung des zweiten Transistors über einen Spannungsteiler aus den beiden Widerständen $3,9\text{ k}\Omega$ und $4,7\text{ k}\Omega$. Beide Transistoren haben einen gemeinsamen $47\ \Omega$ Widerstand in der Emitterleitung. Als Arbeitswiderstand für die Eingangsstufe wurden $1,5\text{ k}\Omega$ gewählt, für die zweite Stufe ist die Glühlampe als Arbeitswiderstand vorgesehen. Die Basis der Eingangsstufe erhält über den Potentiometerbaustein, dem zur Begrenzung noch ein $10\text{ k}\Omega$ Festwiderstand vorgeschaltet ist, eine einstellbare positive Spannung zugeführt.

Beim Versuchsbeginn wird der Schleifer des Potentiometers zunächst ganz nach links gedreht und die Batterie eingeschaltet. Die Spannung an der Basis ist dann Null. Wie die letzten Versuche nachgewiesen haben, fließt auch kein Kollektorstrom. Der Eingangstransistor ist also gesperrt. Am Kollektor dieses Transistors ist daher bei Versuchsbeginn praktisch die volle Batteriespannung vorhanden, die über den Spannungsteiler $3,9\text{ k}\Omega / 4,7\text{ k}\Omega$ an die

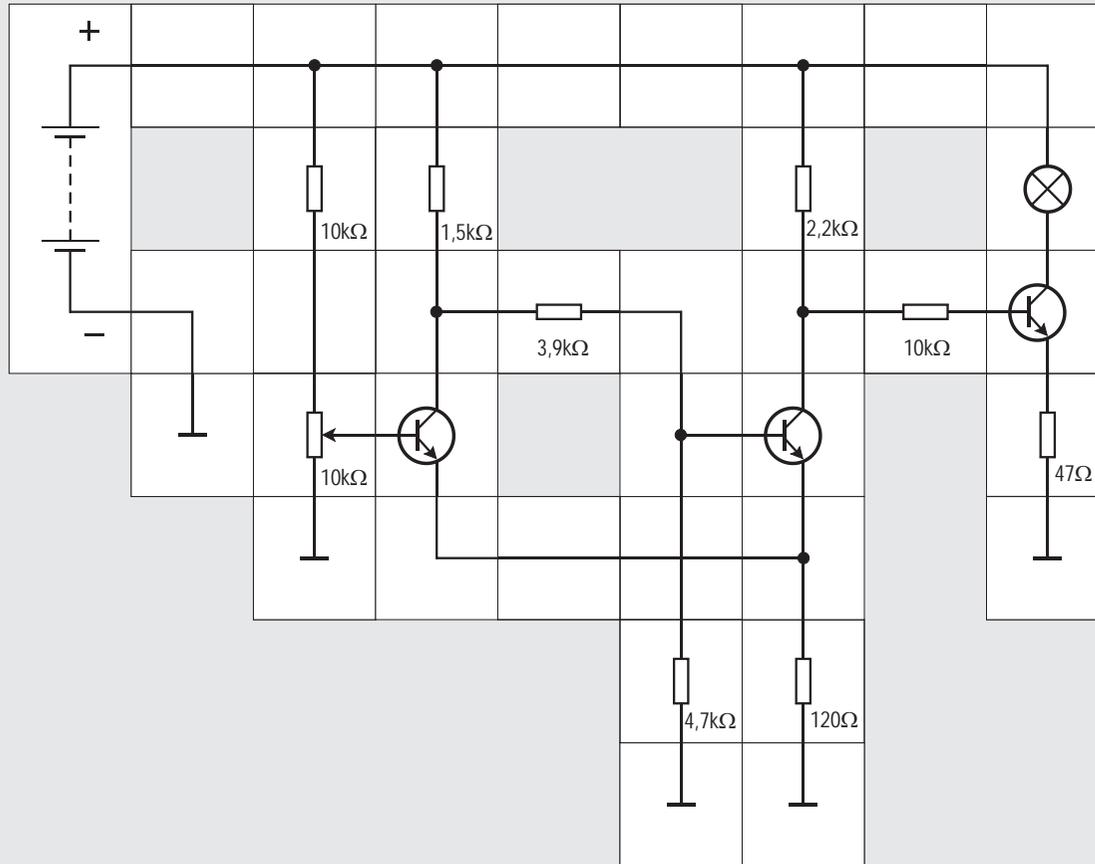
Basis des zweiten Transistors gelangt. Die verbleibende positive Spannung an dieser Stelle ist groß genug, um den Transistor voll auszusteuern, d. h. der Transistor ist leitend. Die Glühlampe brennt daher.

Jetzt wird der Schleifer des Potentiometers langsam zum positiven Ende hin bewegt. Zunächst wird sich dabei am bisherigen Zustand nichts ändern. Bei einer bestimmten Potentiometerstellung wird aber die Glühlampe schlagartig verlöschen. Wenn an der Basis des ersten Transistors eine Spannung erreicht wird, bei der auch dieser leitend wird, dann ändert sich dessen Kollektorspannung, und zwar um einen erheblich größeren Betrag, da der Transistor eine Spannungsverstärkung hat. Diese Änderung überträgt sich über den Spannungsteiler auf die Basis des zweiten Transistors, der dadurch weniger leitend wird. Zusätzlich erfolgt über den gemeinsamen Emitterwiderstand von $47\ \Omega$ wieder eine »Rückkopplung«. Dadurch beeinflussen sich die beiden Transistoren gegenseitig, und zwar so kräftig und so schnell, dass der sprunghafte Wechsel von dem einen in den anderen Zustand der Schaltung auftritt. Wenn die kritische Spannung an der Basis des einen Transistors erreicht ist, »kippt« die Schaltung um. Der erste Transistor ist dann voll leitend und der zweite Transistor gesperrt. Die Glühlampe

kann nicht mehr brennen. Dreht man jetzt den Potentiometerknopf wieder zurück, dann wird bei einer bestimmten Stellung der umgekehrte Fall eintreten, die Glühlampe wird wieder schlagartig aufleuchten und der erste Transistor sperren.

Beim Erreichen einer bestimmten Eingangsspannung (Schwellspannung) lässt sich mit der beschriebenen Schaltung also ein Schaltvorgang auslösen, der in der Regeltechnik oft gefordert wird. Bei dem Versuch fällt auf, dass zwischen dem Umschalten bei steigender und bei wieder abfallender Spannung verschiedene Stellungen des Potentiometers notwendig sind. Die Schaltung hat einen sogenannten »Ziehbereich«. Meist ist es erwünscht, dass bei der kritischen »Schwellspannung« das Umkippen in der einen Richtung erfolgt und dass das Zurückkippen in den ursprünglichen Zustand auftritt, sobald die Eingangsspannung nur um einen sehr geringen Betrag zurückgeht. Bei der Versuchsschaltung 55 ist es deshalb nicht möglich, weil die sehr niederohmige Glühlampe als Arbeitswiderstand des zweiten Transistors ungünstige Betriebsbedingungen ergibt. Weit bessere Ergebnisse erzielt man, wenn man für den zweiten Transistor einen hochohmigen Arbeitswiderstand verwendet und zum Betrieb der Glühlampe eine Verstärkerstufe mit einem dritten Transistor nachschaltet.

56



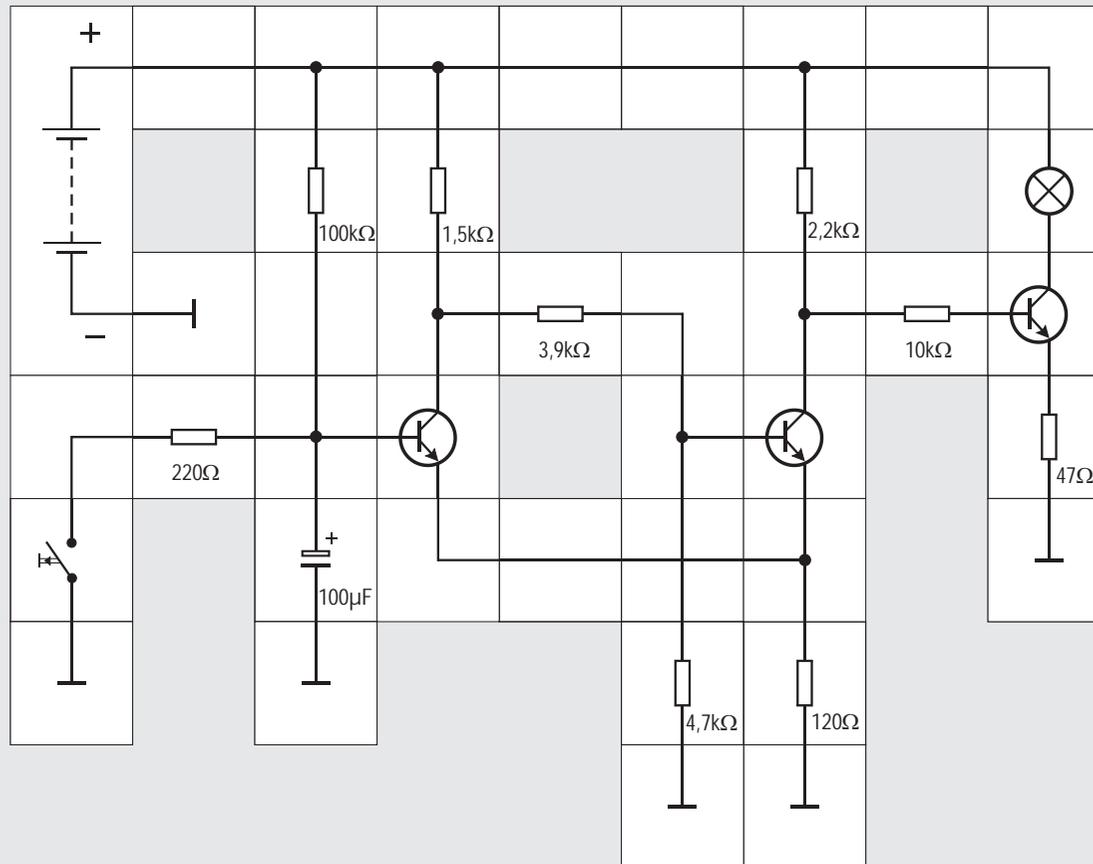


Ein Schmitt-Trigger mit Verstärkerstufe

Die Schaltung des eigentlichen Schmitt-Triggers entspricht im Prinzip der des Versuches 55. Als Arbeitswiderstand für die zweite Stufe sind $2,2\text{ k}\Omega$ vorgesehen, der gemeinsame Emitterwiderstand wurde auf $120\ \Omega$ erhöht. Über einen Widerstand

von $10\text{ k}\Omega$ ist die Basis des dritten Transistors an den Trigger angekoppelt. Die Glühlampe liegt jetzt in der Kollektorleitung dieses Transistors, in dessen Emitterleitung noch ein Widerstand von $47\ \Omega$ eingefügt ist. Führt man jetzt den Versuch in der gleichen Weise durch, wie das bei dem letzten Aufbau erfolgte, dann wird man feststellen, dass die Umschaltunkte beim Ein- und Ausschalten der Glühlampe wesentlich enger beieinander liegen. Wenn man den Schleifer des Potentiometers langsam zum positiven Ende hin dreht, wird die Glühlampe beim Erreichen der Schwellspannung einschalten. Im Gegensatz zum Versuch 55 wird sie aber schon bei ganz geringfügigem Zurückdrehen des Schleifers wieder verlöschen. Der »Ziehbereich« dieser Schaltung ist also wesentlich geringer. In der Schaltung 56 verhält sich die Glühlampe allerdings umgekehrt wie bei dem vorhergehenden Versuch. Sie schaltet ein, wenn die positive Spannung am Eingang des ersten Transistors ansteigt, und verlöscht, wenn die Spannung wieder kleiner wird. Die grundlegenden Transistorversuche haben schon gezeigt, woran das liegt: Die Ausgangsspannung eines Transistors in Emitterschaltung verhält sich umgekehrt wie die Eingangsspannung. Ein zusätzlicher Transistor kehrt daher auch die Betriebsweise der Glühlampe um.

57



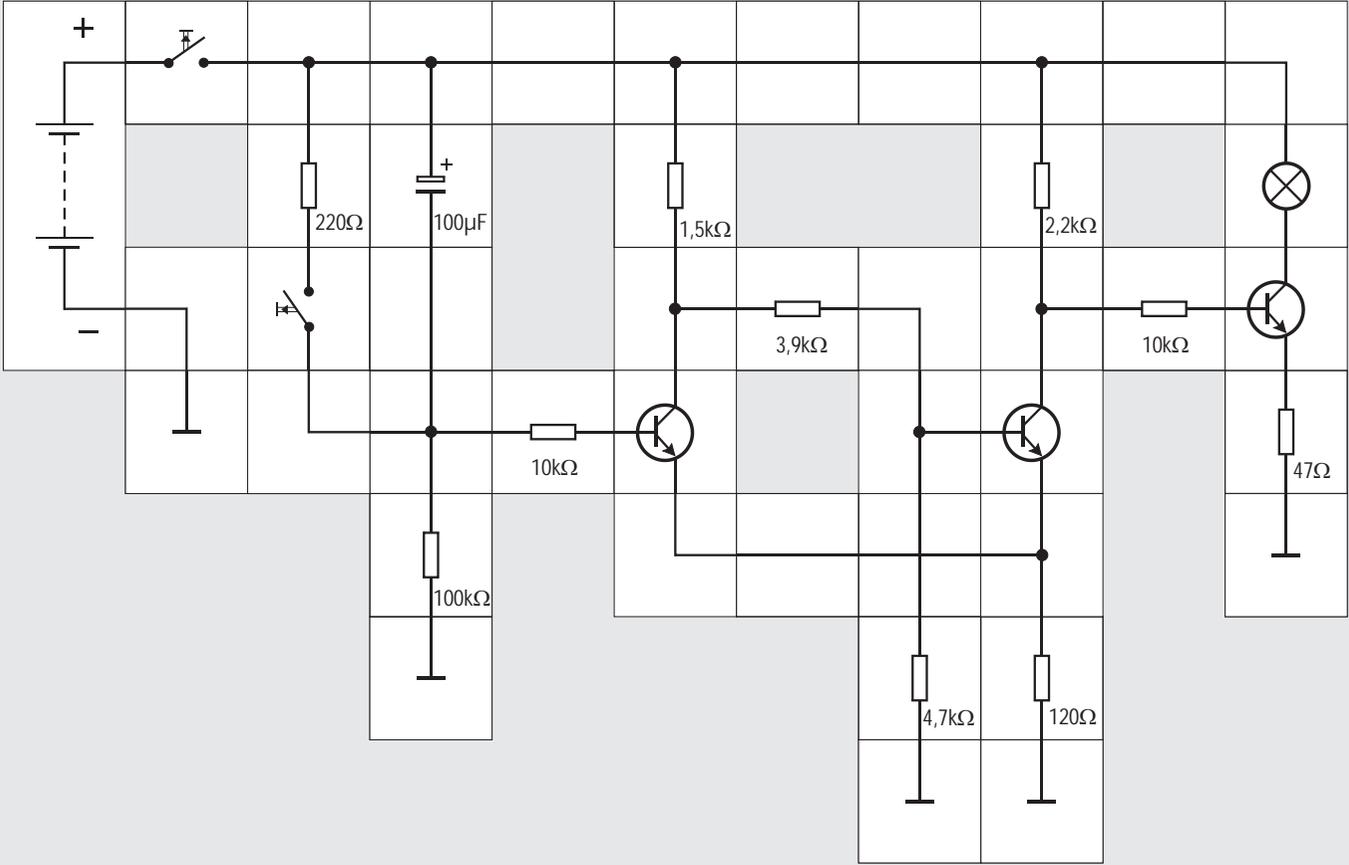


Ein Schmitt-Trigger als Zeitgeber

Die praktische Anwendung eines Schmitt-Triggers als Zeitgeber erfolgt im Versuch 57. Am Eingang des ersten Transistors ist ein $100\mu\text{F}$ Kondensator angeordnet, der über den Tastenschalter und einen 220Ω Widerstand entladen werden kann. Aufgeladen wird der Kondensator über einen $100\text{ k}\Omega$ Widerstand vom positiven Pol der Batterie her.

Bei ausgeschalteter Batterie wird zunächst der Tastenschalter gedrückt, damit der $100\mu\text{F}$ Elko entladen wird. Legt man die Batterie an, dann wird die Glühlampe zunächst nicht aufleuchten. Über den $100\text{ k}\Omega$ Widerstand lädt sich der Elko langsam auf, und die positive Spannung an der Basis des ersten Transistors wächst. Ist die Schwellspannung des Schmitt-Triggers erreicht, dann leuchtet die Glühlampe auf. Drückt man jetzt die Taste, so verlöscht die Lampe und benötigt nach dem Loslassen des Tastenschalters wieder die gleiche Zeit bis zum erneuten Aufleuchten. Man hat also auf diese Weise einen einfachen Zeitschalter aufgebaut, dessen Schaltzeit man durch Verändern des Ladekondensators von $100\mu\text{F}$ (beispielsweise durch Parallelschalten eines zweiten $100\mu\text{F}$ Elkos) oder durch die Wahl des Ladewiderstandes (hier $100\text{ k}\Omega$) weitgehend bestimmen kann.

58

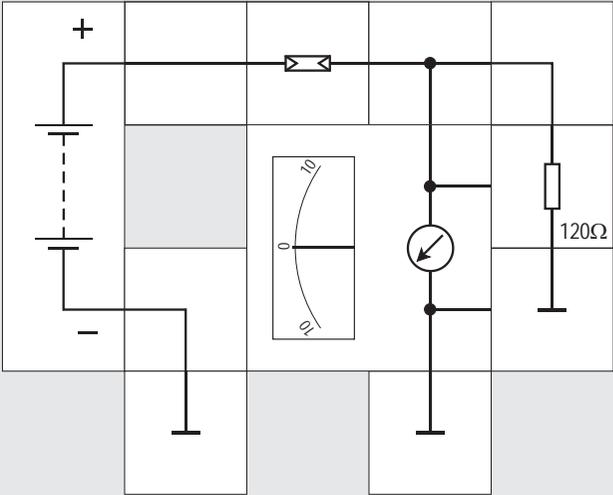


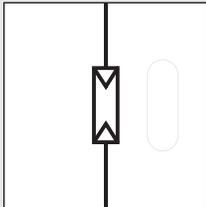


Ein einfacher Belichtungszeitgeber

Ladewiderstand und Ladekondensator sind bei dieser Schaltung gegenüber dem letzten Versuch vertauscht. In die Basisleitung des Eingangstransistors ist ein Schutzwiderstand eingefügt, damit beim Auf- und Entladen des $100\mu\text{F}$ Elkos kein zu hoher Basisstrom fließen und den Transistor zerstören kann. Entlädt man bei ausgeschalteter Batterie durch Tastendruck den Kondensator und schaltet danach die Batterie ein (Taster gedrückt halten), so wird die Lampe sofort aufleuchten. Die Basisspannung am ersten Transistor steigt aber jetzt nicht an, sondern sie wird infolge der Aufladung des Elkos geringer. Beim Unterschreiten der Schwellspannung kippt die Schaltung um und die Lampe verlöscht. Man kann dieses Schaltungsprinzip beispielsweise verwenden, wenn für photographische Vergrößerungen bestimmte Belichtungszeiten benötigt werden. Die Belichtung beginnt dann beim Einschalten des Netzschalters - hier durch den Batterieschalter dargestellt - und endet automatisch durch die Kondensatoraufladung und das Umkippen der Schaltung.

59





Der Photowiderstands-Baustein

Neben den bereits bekannten Festwiderständen und den von Hand einstellbaren Widerständen (Potentiometer, Regelwiderstand) kennt man noch verschiedene andere Widerstände, die ihre elektrischen Werte durch äußere Einflüsse selbsttätig verändern. Einer davon ist der PHOTOWIDERSTAND. Er besteht allgemein aus einer Trägerplatte, auf der eine dünne Schicht eines lichtempfindlichen Materials

aufgebracht ist. Dieses Material ändert seinen elektrischen Widerstand in Abhängigkeit vom auftretenden Licht. Wird das lichtempfindliche Material stark beleuchtet, dann hat es nur einen geringen Widerstand. Bei schwächerer Beleuchtung steigt der Widerstand entsprechend an. Der Experimentierkasten enthält einen Photowiderstand, bei dem Cadmium-Sulfid als lichtempfindliches Material dient. Er ist in einem schwarzen Baustein der Grundgröße eingebaut. In der Deckplatte des Bausteines befindet sich ein Loch, durch das Licht auf den Photowiderstand treffen kann. Hält man das Loch zu, dann wird der eingebaute Photowiderstand verdunkelt. Der folgende Versuch soll die Wirkungsweise des Photowiderstandes zeigen.

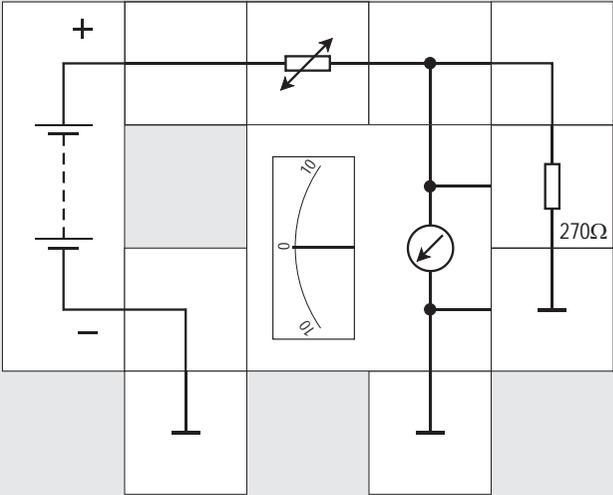
Die Arbeitsweise eines Photowiderstandes

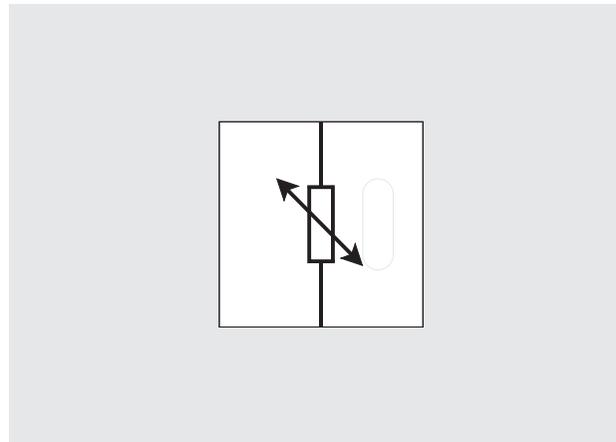
Die Batterie, der Photowiderstand und das Anzeige-Instrument sind in Reihe geschaltet. Parallel zum Instrument liegt ein Nebenwiderstand von 120Ω , da der zu erwartende Strom für das Instrument allein zu groß wäre. Schaltet man die Batterie ein, dann wird der Zeiger des Instrumentes je nach Raumhelligkeit bis zu einem bestimmten Skalenwert ausschlagen. Hält man jetzt das Loch in der Deckplatte des Photowiderstands-Bausteines mit dem Finger zu, dann geht der Zeigerausschlag zu-

rück. Beleuchtet man den Photowiderstand dagegen sehr stark, indem man beispielsweise mit einer Taschenlampe direkt in das Loch hineinleuchtet, dann wird der Zeigerausschlag größer als zuvor. Die Abhängigkeit des Photowiderstandes von der Beleuchtung ist somit erwiesen.

Diese Eigenschaft des Photowiderstandes wird zum Beispiel bei hochempfindlichen elektrischen Belichtungsmessern ausgenutzt, mit denen man die richtige Belichtungszeit und Blende beim Photographieren feststellen kann. Im Prinzip besitzt man daher mit der Versuchsschaltung 59 schon einen solchen Belichtungsmesser. Die Schaltungen von handelsüblichen Geräten dieser Art entsprechen in ihren Grundzügen dem Versuchsschaltbild 59. Man kann durch Belichtungsmesser mit Photowiderständen bereits Belichtungszeiten bestimmen, die bei der geringen Lichtstärke eines brennenden Streichholzes in einem Zimmer notwendig sind. Einfachere Belichtungsmesser, wie sie für normale Tageslichtaufnahmen genügen, enthielten allerdings keinen Photowiderstand, sondern ein Selen Photoelement. Dieses gibt beim Auftreffen von Licht selbst eine Spannung ab, so dass keine zusätzliche Batterie zum Betrieb erforderlich wird. Die erreichbare Empfindlichkeit ist aber bei dem Photoelement erheblich geringer.

60





Der Heißleiter-Baustein

Als weiteren von äußeren Einflüssen abhängigen Widerstand findet man im Experimentierkasten einen HEIßLEITER. Bei diesem Bauteil ändert sich der elektrische Wert in Abhängigkeit von der Temperatur. Wie der Name schon sagt, »leitet« der Heißleiter besser, wenn er »heiß« ist, d. h. sein elektrischer Widerstand wird um so geringer, je höher die umgebende Temperatur ist. Damit man diese Eigenschaft durch einen Versuch feststellen kann, ragt der Heiß-

leiter aus der Deckplatte des betreffenden Bausteines heraus. Man kann ihn auf diese Weise leicht erwärmen.

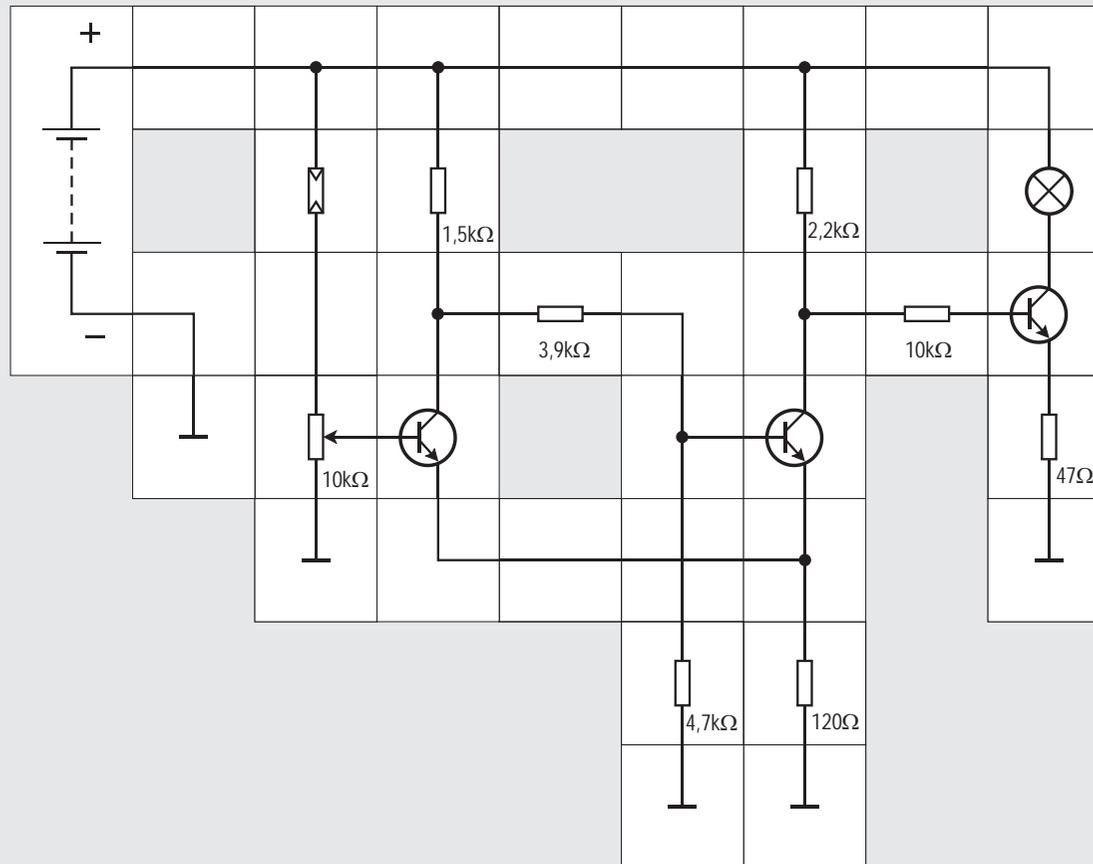
Im Gegensatz zu diesem Bauelement gibt es auch sogenannte KALTLEITER, bei denen der Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt, d. h. sie leiten dann weniger gut.

Die Arbeitsweise eines Heißleiters

Die Batterie, der Heißleiter und das Anzeigeelement sind in Reihe geschaltet. Das Instrument erhält wieder einen Parallelwiderstand, diesmal von 270Ω . Beim Einschalten der Batterie und normaler Raumtemperatur von 20°C wird der Zeiger etwa bis zum Skalenwert 6 ausschlagen. Berührt man den Heißleiter mit dem Finger, so wird sein Widerstand – da die Körpertemperatur höher als die normale Raumtemperatur ist – geringer, und der Zeigerausschlag wird entsprechend ansteigen. Lässt man den Heißleiter los, dann kühlt er sich wieder ab, und der Zeigerausschlag geht zurück.

Infolge der Wärmeträgheit des Heißleiters dauert die Abkühlung etwas länger, so dass auch der Zeigerausschlag nur langsam zurückgeht. Durch Anblasen des Heißleiters lässt sich der Vorgang etwas beschleunigen. Mit der Versuchsschaltung 60 besitzt man ein einfaches Temperaturmessgerät.

61

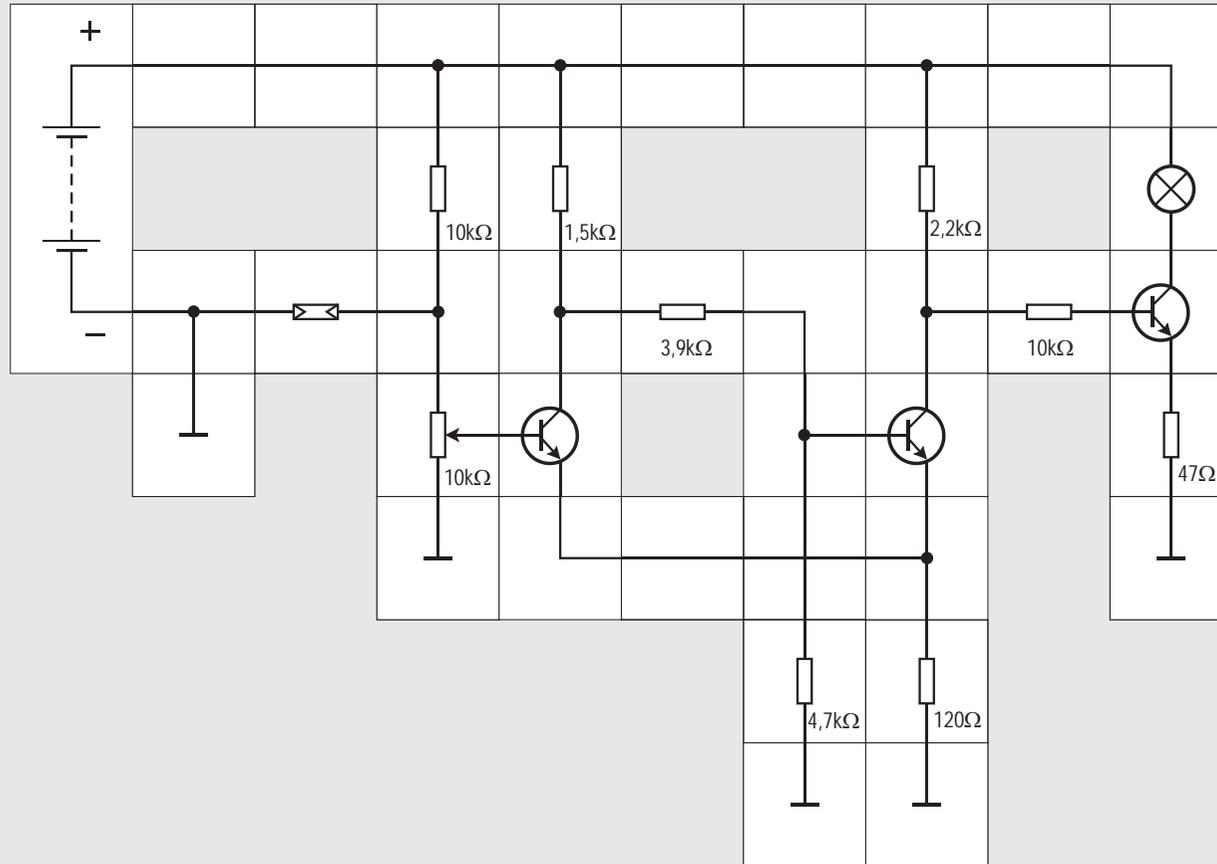




Der Photowiderstand als Steuerglied in einem Schmitt-Trigger

Die Grundsaltung dieses Versuches entspricht wieder dem bereits im Versuch 56 untersuchten Schmitt-Trigger mit nachfolgender Verstärkerstufe. Der Spannungsteiler am Eingang des Triggers besteht hier aus dem $10\text{ k}\Omega$ Potentiometer-Baustein und dem Photowiderstand. Bei eingeschalteter Batterie wird das Potentiometer so eingestellt, dass die Glühlampe gerade leuchtet, das heißt, man wählt den Arbeitspunkt knapp oberhalb der »Schwellspannung«. Verdunkelt man den Photowiderstand durch Zuhalten des Loches in der Deckplatte, so wird die am Trigger-Eingang auftretende Spannung geringer, da der Photowiderstand hochohmiger wird. Als Folge davon verlöscht die Lampe. Gibt man die Öffnung frei, dann steigt die Eingangsspannung wieder an, und die Lampe leuchtet erneut auf. Die Schaltung ist sehr empfindlich. Man muss das Loch in der Deckplatte nicht völlig abdecken. Es genügt zum Beispiel schon, wenn die Hand in einiger Entfernung von der Lichteintrittsöffnung hin und her bewegt oder wenn die Raumbeleuchtung verändert wird.

62



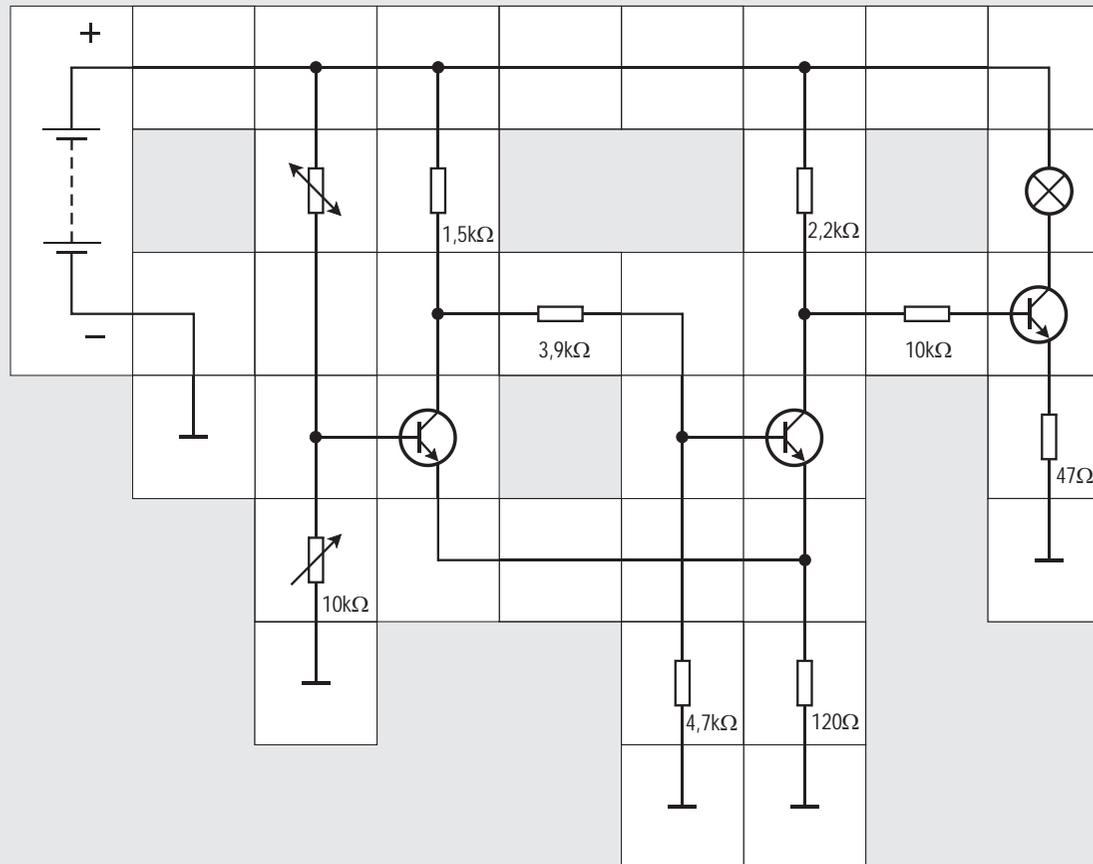


Ein einfacher Dämmerungsschalter

Auch hier findet man die gleiche Grundschaltung des Schmitt-Triggers. In dieser Schaltung arbeitet

der Photowiderstand jedoch umgekehrt. Bei normaler Raumbeleuchtung soll die Glühlampe gerade noch nicht brennen. Nimmt die Beleuchtung ab, dann schaltet die Glühlampe ein; bei steigender Beleuchtung schaltet sie wieder aus. Der Arbeitspunkt wird wieder mit dem Potentiometer eingestellt, das hier parallel zum Photowiderstand liegt. Man greift so nur einen Teil der am Photowiderstand verbleibenden Spannung ab. In Reihe dazu liegt ein $10\text{ k}\Omega$ Festwiderstand. Das Potentiometer wird so eingestellt, dass die Eingangsspannung im Ruhezustand etwas unterhalb der »Schwellspannung« ist. Die Versuchsschaltung 62 entspricht in ihrer Wirkungsweise dem elektronischen Dämmerungsschalter, wie er beispielsweise bei der Straßenbeleuchtung angewendet wird. Unterschreitet das Tageslicht am Abend einen bestimmten Betrag, dann wird die elektrische Straßenbeleuchtung - hier durch den Glühlampenbaustein dargestellt - eingeschaltet. Nimmt das Tageslicht am Morgen wieder zu, dann schaltet der Dämmerungsschalter die Straßenbeleuchtung automatisch wieder ab. Auch in Kraftfahrzeugen kann man einen solchen Dämmerungsschalter einbauen, um das Standlicht bzw. Parklicht beim Einbruch der Dunkelheit automatisch einzuschalten.

63

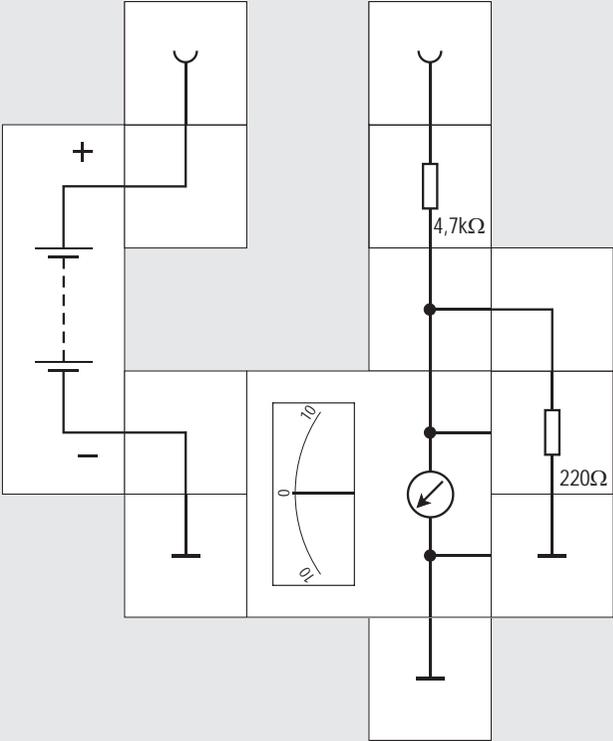




Eine Regelschaltung für Temperaturen

Der Eingangsspannungsteiler der bekannten Schmitt-Trigger-Schaltung besteht hier aus dem Heißleiter und dem $10\text{ k}\Omega$ Potentiometer. Mit dem Potentiometer stellt man wieder den Arbeitspunkt ein, und zwar soll hier bei kaltem Heißleiter die Glühlampe gerade noch nicht aufleuchten. Berührt man den Heißleiter mit dem Finger oder erwärmt ihn vorsichtig, dann leuchtet die Lampe auf. Eine solche Einrichtung wird benötigt, wenn beispielsweise beim Erreichen einer bestimmten Temperatur eine Alarmanlage ausgelöst werden soll. Auch bei industriellen Heizöfen, die auf eine ganz bestimmte Temperatur aufgeheizt werden müssen, kann man dieses Schaltungsprinzip zur Regelung verwenden. Als Temperaturfühler im Ofen – wobei allerdings nur verhältnismäßig geringe Temperaturen auftreten dürfen – dient dort ein Heißleiter. Ist die gewünschte Temperatur erreicht, dann spricht der Schmitt-Trigger an, ein Schaltvorgang wird ausgelöst und die Heizung schaltet ab. Unterschreitet die Ofentemperatur einen bestimmten Wert, dann wird die Heizung wieder eingeschaltet.

64





tens zwei isolierte Drahtstücke und ein Gefäß aus Glas oder Porzellan. An den Drähten ist jeweils an einem Ende die Isolierung ca. 5 mm zu entfernen, und am anderen Ende werden etwa 50 mm des Drahtes freigelegt.

Die kurzen freien Enden der Drähte werden in die beiden Buchsenbausteine des Experimentierkastens gesteckt; die langen Enden hängt man in das mit normalem Leitungswasser gefüllte Gefäß. Die Drahtenden sollen etwa 15 mm voneinander entfernt in die Flüssigkeit eintauchen. Die Schaltung zeigt, dass nunmehr die Batterie, die beiden Drähte im Wasserglas, ein Widerstand von 4,7 k Ω und das Instrument in Reihe liegen. Parallel zum Instrument ist zur Strombegrenzung noch ein Nebenwiderstand von 220 Ω angeordnet. Bei eingeschalteter Batterie wird das Instrument bis zu einem bestimmten Skalenwert ausschlagen. Man kann nun die beiden Drähte bei eingeschalteter Spannung mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit eintauchen. Der Ausschlag des Instrumentes wird sich dabei deutlich ändern, und zwar wird er um so größer, je tiefer die Drähte («Elektroden») in die Flüssigkeit getaucht werden. Das Leitungswasser stellt somit auch einen elektrischen Leiter dar. Sein Widerstand ist abhängig von der Eintauchtiefe der Elektroden, deren Abstand und der Zusammensetzung

der Flüssigkeit. Taucht man die Elektroden bis zu einer gewissen Tiefe ein und lässt sie in dieser Stellung, dann kann man durch Hinzufügen von etwas Kochsalz in das Wasser ebenfalls einen größeren Ausschlag des Zeigers erreichen.

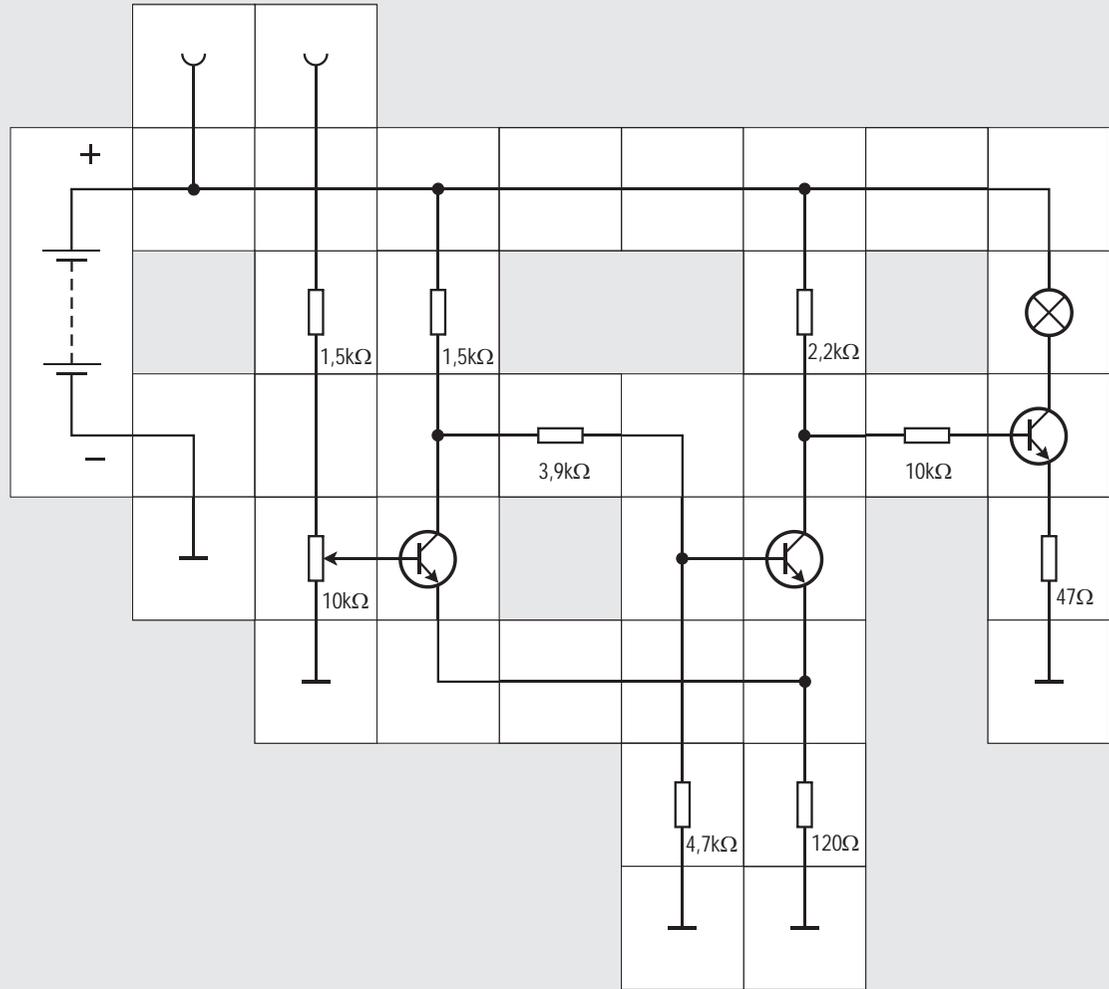
Derartige Feuchtigkeitsmessgeräte lassen sich vielfältig verwenden. So kann man das Prinzip beispielsweise für einen Regenfühler benutzen. Legt man die beiden Elektroden – die man dann zweckmäßig größer gestaltet – ins Freie und führt die Anschlüsse an die dargestellte Schaltung, so kann man einen beginnenden Regen am Instrumentenausschlag im Zimmer erkennen. Ebenfalls sehr nützlich ist ein Feuchtigkeits – Messgerät bei der Pflege von Zimmerpflanzen. Die beiden Elektroden werden in diesem Falle in die Topferde gesteckt und über entsprechend lange Anschlusskabel mit der Schaltung verbunden. Je nach der Feuchtigkeit der Blumenerde erzielt man wiederum einen mehr oder weniger starken Zeigerausschlag des Anzeige – Instrumentes.

Zweckmäßig ist es jedoch in solchen Fällen, wenn man auf die stufenlose Anzeige verzichtet und statt dessen eine Anlage verwendet, die beim Erreichen bzw. Unterschreiten einer gewünschten Feuchtigkeit schlagartig ein Signal (Licht, Hupe oder dergleichen) abgibt.

Nachweis der Leitfähigkeit von Wasser

Für die beiden folgenden Versuche benötigt man zusätzlich zu den Bausteinen des Experimentierkastens

65

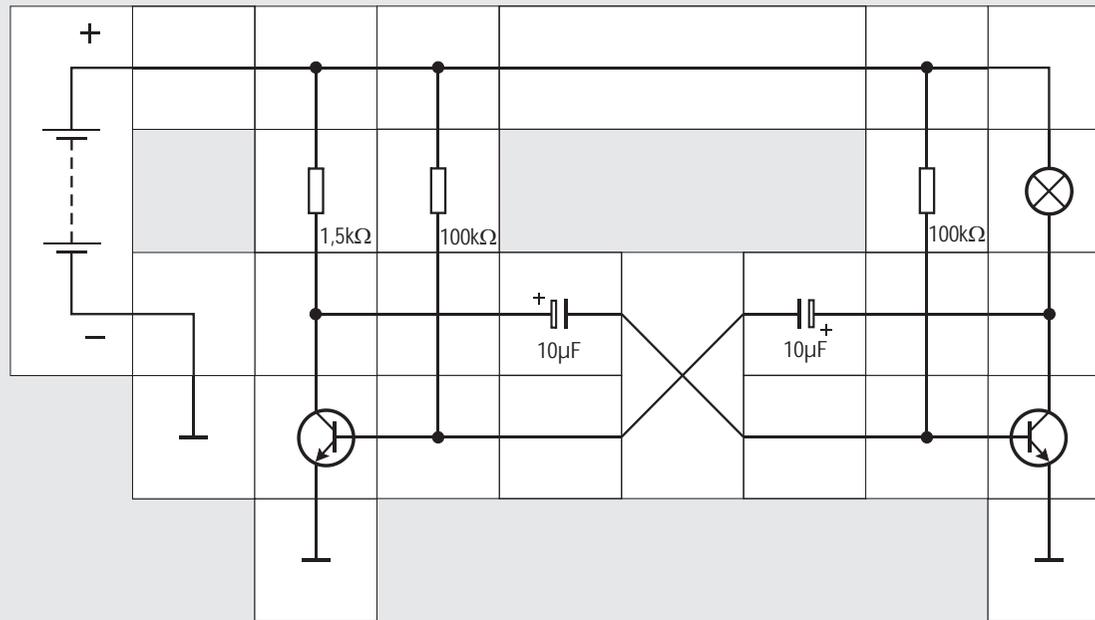




Der Schmitt-Trigger als Feuchtigkeitsanzeiger

Die erwähnte Signalabgabe bei einer ganz bestimmten Feuchtigkeitsgrenze ermöglicht die Versuchsschaltung 65. Es handelt sich wieder um den aus bisherigen Versuchen bekannten Schmitt-Trigger. Über die beiden Buchsenbausteine verbindet man die Anschlussdrähte der Elektroden mit der Schaltung. Als Elektroden für die Überwachung der Feuchtigkeit von Blumenerde kann man beispielsweise zwei kurze Stricknadeln benutzen. Hat man noch eine zweipolige Lüsterklemme zur Hand (in jedem Elektro- und Radiogeschäft zu haben), dann kann man die beiden Nadeln auf der einen Seite der Lüsterklemme und die Zuführungsdrähte auf der anderen Seite anklemmen. Man besitzt so eine zuverlässige und genügend starre Elektroden - Anordnung. Die beiden Stricknadeln werden für den Versuch in einen Topf mit zunächst ziemlich trockener Erde gesteckt und über die Anschlussdrähte an die Versuchsschaltung 65 geführt. Das Potentiometer ist jetzt so einzustellen, dass die Glühlampe gerade noch nicht brennt, also knapp unterhalb der Schwellspannung. Gießt man jetzt langsam Wasser in die Blumenerde, dann schaltet die Lampe bei einer bestimmten Feuchtigkeit ein.

66





Ein astabiler (nicht stabiler) Multivibrator als Blinkanlage

Die Versuchsschaltung 66 zeigt das Prinzip des sogenannten astabilen Multivibrators. Aus der Bezeichnung »astabil« geht hervor, dass diese Schaltung keinen stabilen Betriebszustand besitzt, sondern immer zwischen den beiden möglichen Betriebszuständen hin und her kippt. Als Arbeitswiderstand für den linken Transistor wurde $1,5\text{ k}\Omega$ gewählt; für den rechten Transistor dient die Glühlampe als Arbeitswiderstand. Der Kollektor des einen Transistors ist jeweils mit der Basis des anderen über einen Elko von $10\mu\text{F}$ verbunden. Auf die richtige Polung der Elkos ist zu achten. Der negative Anschluss des Elkos liegt immer an der Basis des Transistors. Bis auf die unterschiedlichen Arbeitswiderstände im Kollektorkreis ist die Schaltung vollkommen symmetrisch.

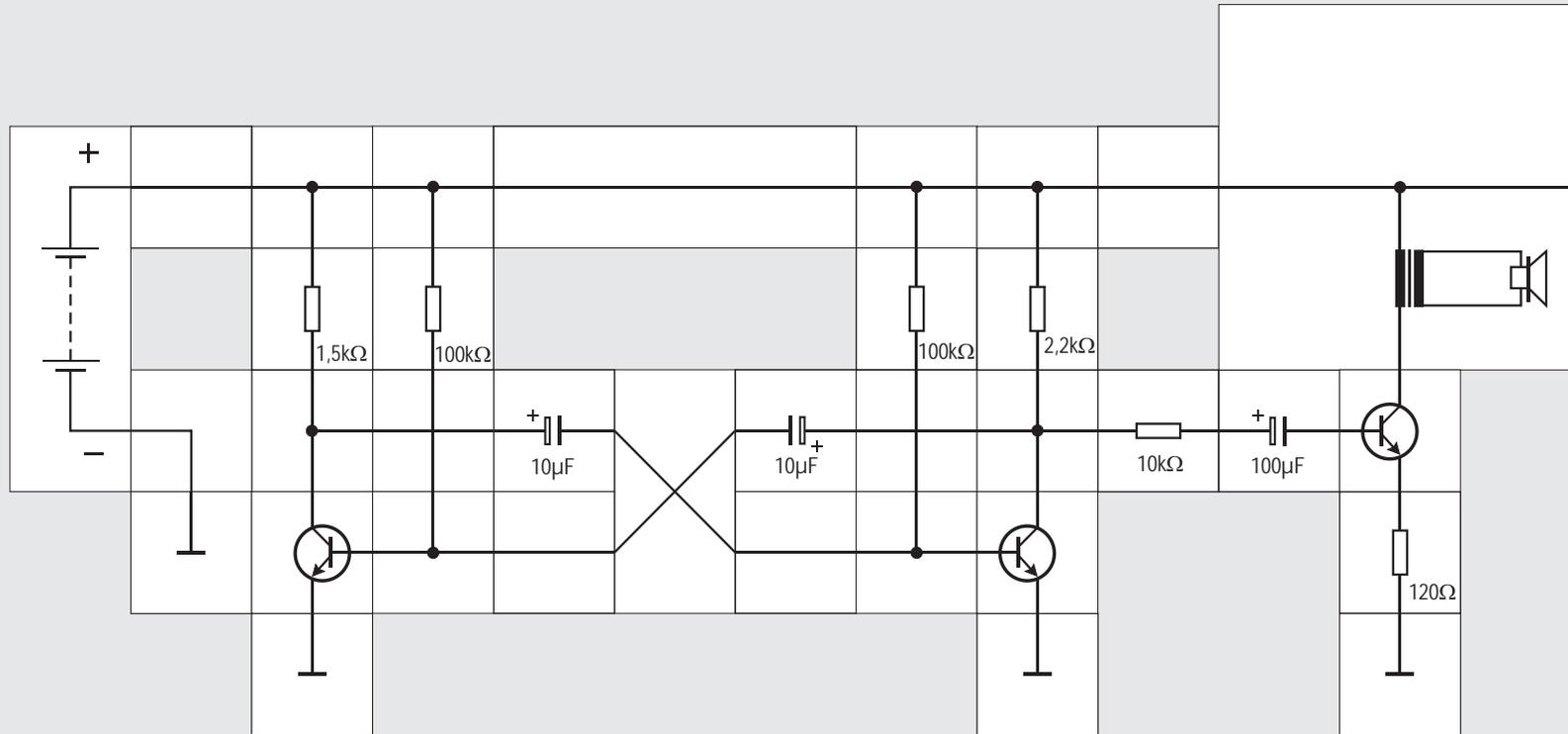
Schaltet man die Batterie ein, dann müssten an sich beide Transistoren zugleich leitend sein. In der Praxis wird jedoch immer einer der beiden Transistoren zuerst einschalten, da die verwendeten Einzelteile niemals völlig gleich sind. Das kann zum Beispiel der linke Transistor sein. Über den Koppelkondensator wird der andere Transistor dann gesperrt.

Die Koppelkondensatoren laden sich nun je nach Betriebszustand der Schaltung auf. Wenn ein bestimmter Ladezustand und damit eine bestimmte Spannung an der Basis des jeweiligen Transistors erreicht ist, kippt die Schaltung schlagartig in den anderen Betriebszustand um, d. h. hier würde dann der rechte Transistor leitend und der linke gesperrt. Da die Schaltung symmetrisch ist, bleibt auch dieser Zustand für Dauer der Ladezeit des anderen Elkos bestehen. Die beiden Transistoren wechseln sich in ihren Betriebszuständen ununterbrochen gegenseitig ab. Dabei leuchtet die Glühlampe jedesmal im Takte der Kippfrequenz auf, wenn der rechte Transistor leitend ist und verlischt wieder, wenn der linke Transistor leitet. Die Geschwindigkeit des Wechsels, also die Kippfrequenz, ist von den verwendeten Widerständen und Kondensatoren abhängig. Tauscht man einen der beiden $10\mu\text{F}$ Elkos oder auch beide gegen solche mit $100\mu\text{F}$ aus, dann wird die Ein- bzw. Ausschaltzeit der Glühlampe oder beide entsprechend länger.

Der Versuchsaufbau 66 ist somit als Blinkschaltung, für die es in der Praxis viele Anwendungsmöglichkeiten gibt, zu gebrauchen. Derartige Blinkschaltungen lassen sich beispielsweise für die Richtungsanzeige in Kraftfahrzeugen verwenden

Zu den elektronischen Kippschaltungen gehören auch die sogenannten MULTIVIBRATOREN. »Vibrieren« ist ein anderer Ausdruck für »schwingen«, »multi« bedeutet »vielfach«. Wörtlich übersetzt würde »Multivibrator« also etwa »Vielfachschwinger« heißen. Wie der zuvor ausführlich untersuchte Schmitt-Trigger, so haben auch diese Schaltungen zwei Betriebszustände. Man unterscheidet zwischen dem MONOSTABILEN, dem BISTABILEN und dem ASTABILEN MULTIVIBRATOR. Was diese einzelnen Begriffe bedeuten, wird in den nachfolgenden Versuchen erläutert. Zunächst soll ein astabiler Multivibrator aufgebaut werden.

67



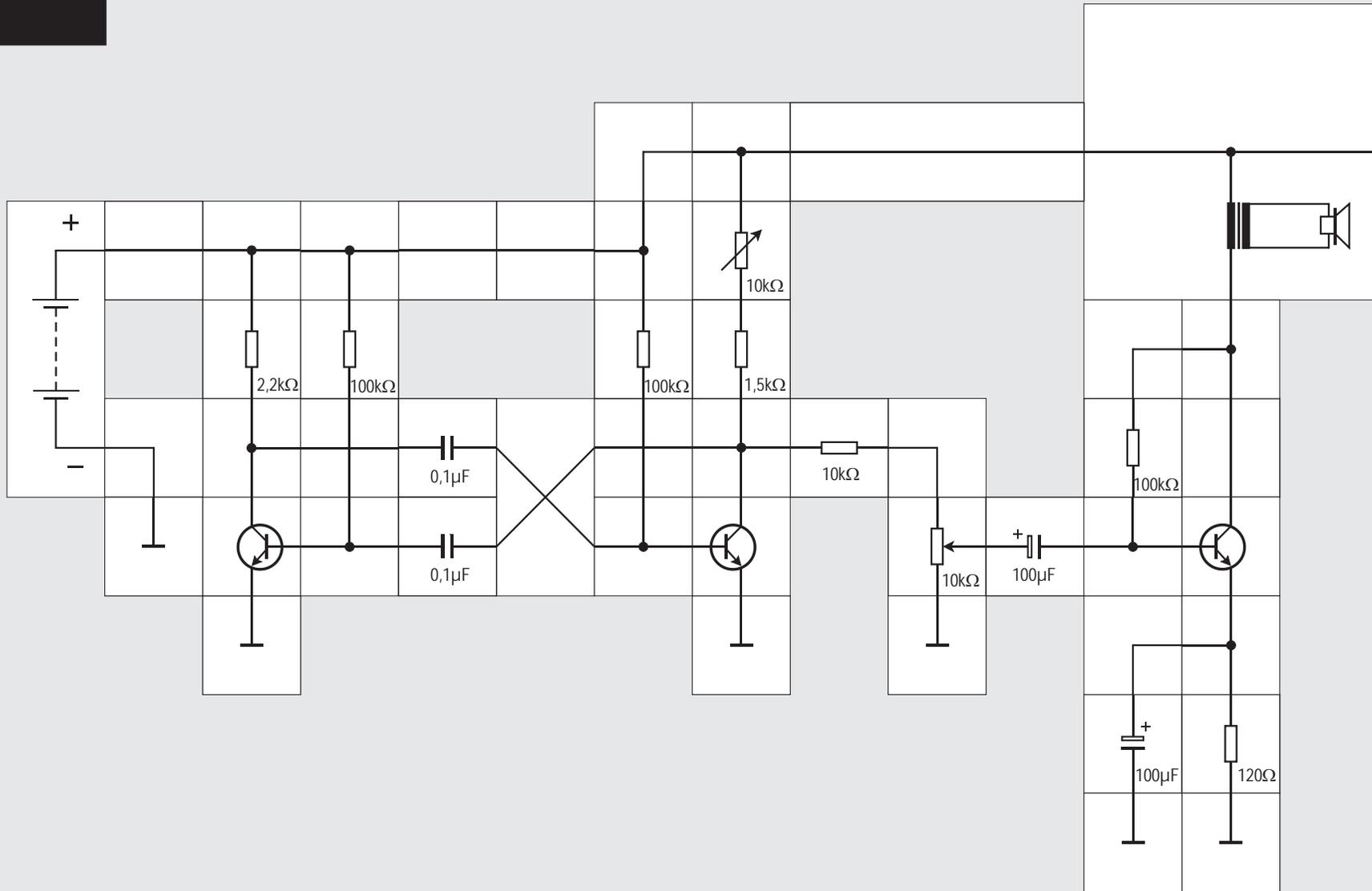


Ein astabiler Multivibrator als elektronischer Taktgeber

Der linke Teil der neuen Schaltung entspricht im Prinzip dem vorigen Versuch. Als Arbeitswiderstände sind hier $1,5\text{ k}\Omega$ und $2,2\text{ k}\Omega$ eingesetzt. Über einen Widerstand von $10\text{ k}\Omega$ und einen Elko von $100\mu\text{F}$ ist der Kollektor des einen zum Multivibrator gehörenden Transistors mit der Basis einer einfachen Verstärkerstufe verbunden, in deren Kollektorkreis der Lautsprecher liegt. Im Emitterkreis dieser Verstärkerstufe ist zur Strombegrenzung ein 120Ω Widerstand eingefügt.

Bei eingeschalteter Batterie arbeitet der astabile Multivibrator wie im Versuch 66. Beim Umkippen von dem einen in den anderen Betriebszustand entsteht am Kollektor des zweiten Transistors ein Spannungsstoß (ein Impuls), der über den $10\text{ k}\Omega$ Widerstand und den $100\mu\text{F}$ Elko auf die Basis des dritten Transistors gelangt und im Lautsprecher schließlich durch ein deutliches Knacken wahrgenommen werden kann. Die Einrichtung lässt sich als Taktgeber (Metronom) für die verschiedensten Zwecke, so zum Beispiel beim Üben im Musikunterricht, einsetzen. Die Taktfrequenz, also der zeitliche Abstand der Knackgeräusche, ist dabei wieder vom elektrischen Wert der verwendeten Kondensatoren und Widerstände abhängig.

68

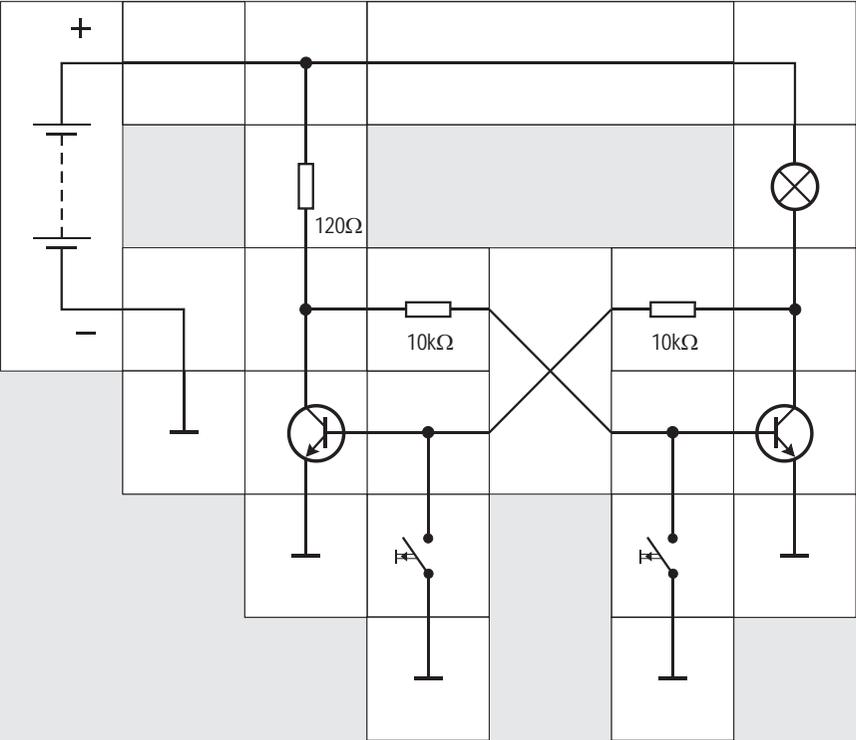




Ein astabiler Multivibrator als Tongenerator

In den beiden vorigen Versuchen wurde gezeigt, dass die Kippfrequenz des astabilen Multivibrators von der elektrischen Größe der Bauteile abhängt. Bei diesen Schaltungen wurden Elkos von $10\mu\text{F}$ bzw. $100\mu\text{F}$ als zeitbestimmende Kondensatoren verwendet. Die Kippfrequenz war dabei verhältnismäßig gering, so dass man jeden einzelnen Kippvorgang an der Glühlampe sehen bzw. als Knackgeräusch im Lautsprecher hören konnte. Nun kann man aber die Kippfrequenz wesentlich höher wählen, und zwar so, dass sie in den Tonfrequenzbereich kommt. Man kann diesen schnellen Wechsel im Betriebszustand der beiden Transistoren nach entsprechender Verstärkung dann im Lautsprecher als Dauerton wahrnehmen. Im Schaltbild 68 sind die bisher im Multivibratorteil enthaltenen Elkos gegen Kondensatoren von je $0,1\mu\text{F}$ ausgetauscht. Im Kollektorkreis des einen Transistors ist zudem noch der $10\text{k}\Omega$ Regelwiderstands-Baustein angeordnet. Zur

Lautstärkeregelung dient hier wieder das $10\text{k}\Omega$ Potentiometer, das zwischen dem Ausgang des Multivibrators und dem Eingang der Verstärkerstufe liegt. Bei eingeschalteter Batterie beginnt der Multivibrator, zu arbeiten. Die erzeugte Kippfrequenz ist bei aufgedrehtem Lautstärkereglern als Ton zu hören. Die Tonhöhe lässt sich dabei durch Verdrehen des Regelwiderstandes im Kollektorkreis in gewissen Grenzen verändern. Auch durch Austauschen des einen $0,1\mu\text{F}$ Kondensators gegen den mit 47nF kann man eine Änderung der Tonhöhe - also der Kippfrequenz - erreichen. Nachdem im Versuch 42 bereits ein Tonfrequenzgenerator aufgebaut wurde, besitzt man jetzt mit dem Versuchsaufbau 68 ein zweites Gerät dieser Art mit einem ganz anderen Schaltungsprinzip. Bei genauer Beobachtung wird man feststellen (notfalls durch nochmaligen Aufbau der Schaltung 42 zum Vergleich), dass bei der Schaltung 68 der Klang des Tones gegenüber der Schaltung 42 auch bei gleicher Tonhöhe und Lautstärke ganz anders ist. Die Schaltung 42 erzeugte nämlich nur die reine Grundfrequenz. Bei der Schaltung 68 dagegen werden durch das schlagartige Umschalten der beiden Transistoren neben der Grundfrequenz auch noch zusätzlich sogenannte Oberwellen gebildet, wodurch die Klangfarbe des Tones eine ganz andere wird.



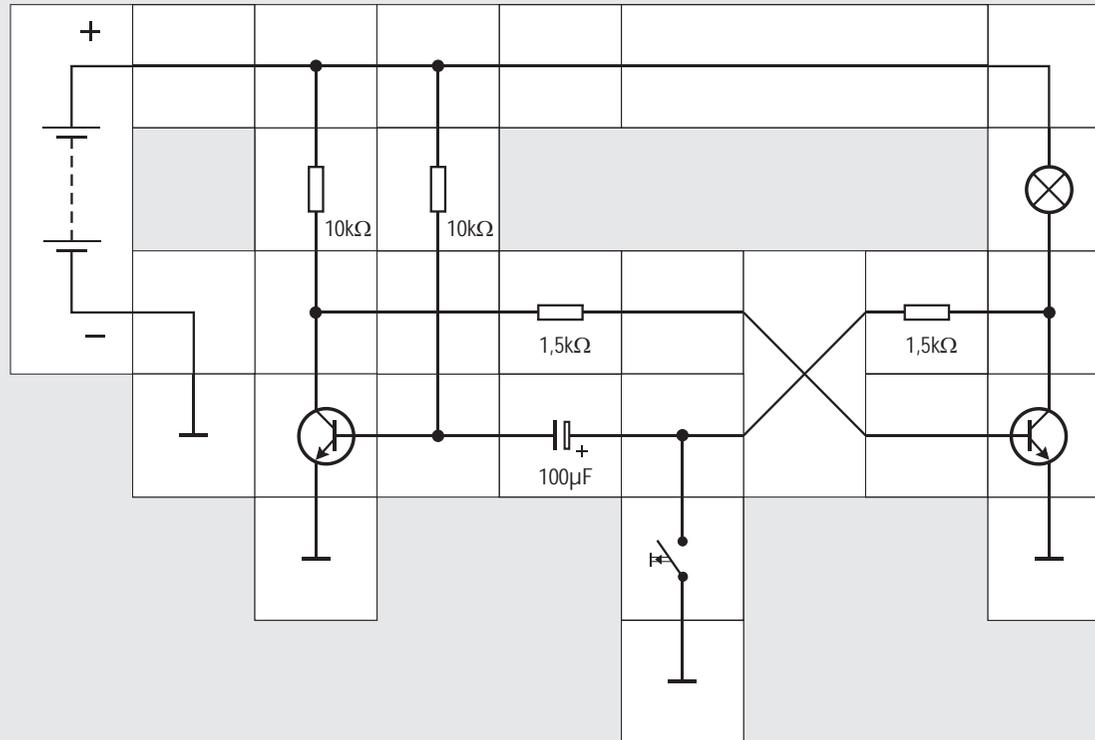


Der bistabile Multivibrator

Die Schaltung 69 stellt das Prinzip eines bistabilen Multivibrators dar. Bei dieser Anordnung gibt es zwei (bi = zwei) Betriebszustände, die hier über die beiden Tastenschalter eingeschaltet werden können. Bis auf die unterschiedlichen Arbeitswiderstände im Kollektorkreis (120 Ω Widerstand und Glühlampe) ist die Schaltung vollkommen symmetrisch aufgebaut. Beim Einschalten der Batterie wird einer der beiden Transistoren leitend, der andere ist dann gesperrt. Man hat zwei Möglichkeiten, die Schaltung in einen definierten Zustand zu brin-

gen: Entweder man bringt durch Tastendruck einen Transistor in den leitenden Zustand oder in den gesperrten Zustand. Die erste Möglichkeit ergibt eine Schaltung, bei jeweils die Basis über einen niederohmigen Widerstand (z. B. 220 Ω) und eine Taste an die Versorgungsspannung gelegt werden kann. Die zweite Möglichkeit ist einfacher: Die Basis wird jeweils über eine Taste an Masse gelegt, was den entsprechenden Transistor sperrt. Drückt man abwechselnd die linke und die rechte Taste, so kippt der bistabile Multivibrator jedesmal von dem einen in den anderen Betriebszustand um und verbleibt dort so lange, bis die andere Taste gedrückt wird. Dabei leuchtet die Lampe auf, wenn man die linke Taste betätigt und verlöscht wieder beim Drücken der rechten.

In der Praxis wird durch geeignete Verriegelungsschaltungen zumeist dafür gesorgt, dass man nicht zwei getrennte Eingänge, wie hier zwei Tasten, sondern nur einen gemeinsamen Eingang – im einfachsten Falle also eine Taste – benötigt. Drückt man in einer solchen Schaltung die Taste, so wird bei jeder Betätigung der gleichen Taste die Schaltung immer von dem einen in den anderen Zustand gekippt. Weit verbreitet sind bistabile Multivibratoren, zum Beispiel in Zählschaltungen bei Computern.





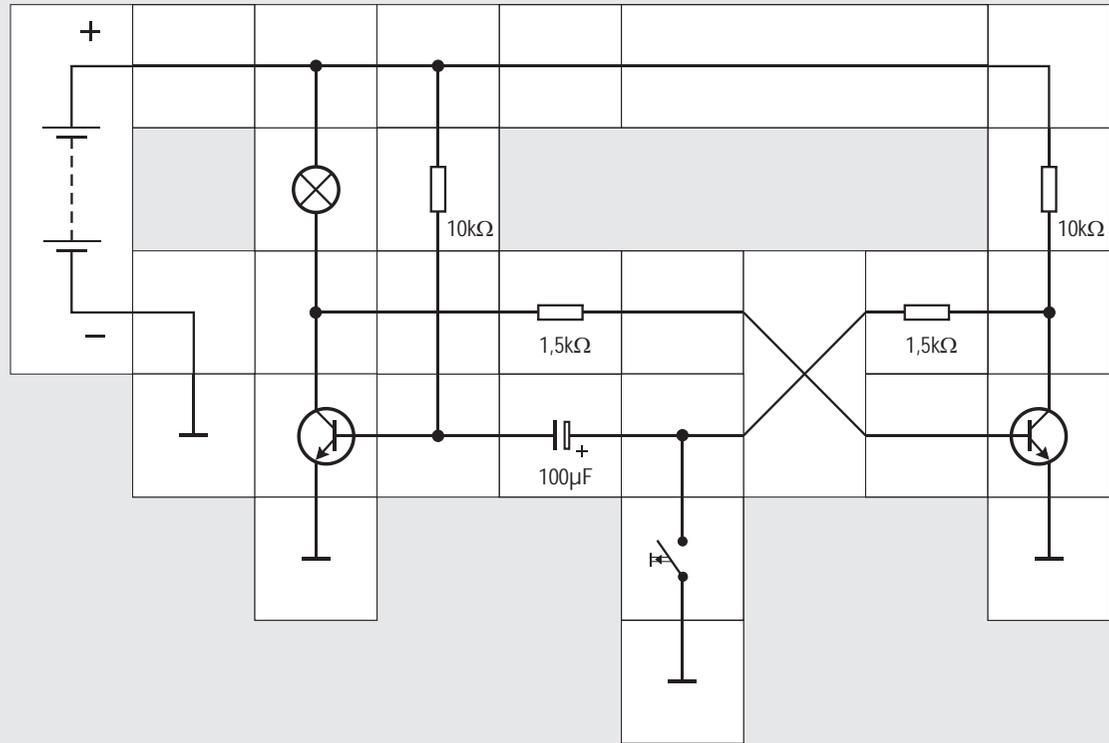
Der monostabile Multivibrator

Einen monostabilen Multivibrator erhält man schließlich, wenn man die Versuchsschaltung 70 aufbaut. Dabei handelt es sich um eine Kippschaltung, die nur einen (mono = eins) Betriebszustand hat. Durch einen Impuls am Eingang wird sie aus diesem stabilen Zustand herausgelöst und kippt nach Ablauf einer bestimmten Zeit, die durch Widerstände und Kondensatoren gegeben ist, in den Ruhezustand zurück.

Das Schaltbild zeigt als Arbeitswiderstand für den rechten Transistor die Glühlampe. Im Kollektorkreis des linken Transistors sind $10\text{ k}\Omega$ als Arbeitswiderstand vorgesehen. Der Kollektor des linken Transistors ist mit der Basis des rechten über einen $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand verbunden; der Kollektor des rechten ist ebenfalls mit einem $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand mit der Basis des linken verbunden. Allerdings liegt in dieser Leitung noch ein $100\mu\text{F}$ Kondensator und weiter ist die Basis des linken Transistors über einen $10\text{ k}\Omega$ Widerstand an Versorgungsspannung gelegt. Dieser bestimmt zusammen mit dem $100\mu\text{F}$ Kondensator die Kippzeit. Der Auslöseimpuls wird schließlich über den Tastenschalter zugeführt. Bei fertig aufgebauter Schaltung und eingeschalteter Batterie brennt die Glühlampe zunächst nicht. Die Basis des linken Transistors erhält über den $10\text{ k}\Omega$ Wider-

stand einen genügend hohen Strom, so dass dieser Transistor leitend wird. Durch die Rückkopplung über den $1,5\text{ k}\Omega$ Widerstand wird der rechte Transistor gesperrt, da am Kollektor des linken und damit erst recht an der Basis des rechten Transistors keine ausreichend hohe positive Spannung anliegt. Der Kondensator ist auf nahezu Versorgungsspannung aufgeladen. Drückt man die Taste, dann gelangt dieser Spannungssprung von 9V auf 0V über den Kondensator an die Basis des linken Transistors, der sofort sperrt und damit den rechten in den leitenden Zustand bringt, die Glühlampe leuchtet. Unabhängig davon, ob die Taste gedrückt gehalten oder losgelassen wird, steigt das Potential des linken Kondensatoranschlusses von negativen Werten wieder auf die Durchlassspannung von ca. $0,7\text{V}$, wodurch der linke Transistor wieder in den leitenden Zustand kommt und den rechten sperrt. Dieser Spannungsanstieg - und damit die Kippzeit - ist im Wesentlichen durch die Kombination $100\mu\text{F} / 10\text{ k}\Omega$ bestimmt. Um die Lampe nach dem Verlöschen erneut zu zünden, muss man den Tastenschalter auf jeden Fall zwischendurch loslassen und dann wieder niederdrücken.

Eine Verkürzung der Kippzeit erreicht man, wenn man den $100\mu\text{F}$ Elko gegen einen solchen mit $10\mu\text{F}$ austauscht. Die Lampe leuchtet dann jeweils nur noch ganz kurz auf.

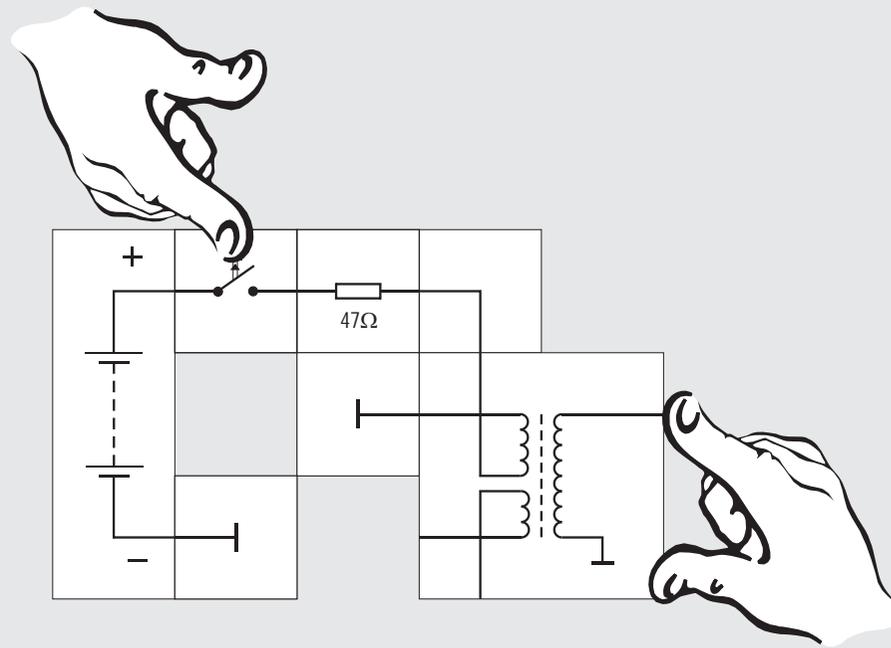




Der monostabile Multivibrator mit umgekehrter Arbeitsweise

Um noch einmal deutlich zu zeigen, dass sich die beiden Transistoren in einer Multivibratorschaltung umgekehrt zueinander verhalten, kann man die beiden Kollektorwiderstände also die Glühlampe und den $10\text{ k}\Omega$ Widerstand vertauschen. Die Glühlampe befindet sich dann im Kollektorkreis des linken Transistors, der $10\text{ k}\Omega$ Widerstand dient als Arbeitswiderstand des rechten Transistors. Schaltet man die Batterie ein, dann brennt die Glühlampe. Durch Tastendruck kann man sie nunmehr für eine bestimmte Zeit zum Verlöschen bringen; nach Ablauf der Kippzeit leuchtet sie wieder auf. In der Schaltung 71 verhält sich die Lampe somit genau umgekehrt wie beim Versuch 70. Damit ist erwiesen, dass sich die beiden Transistoren entgegengesetzt verhalten. Monostabile Multivibratoren finden in der Praxis vielfach Verwendung als Zeitgeber und in Verzögerungsschaltungen.

72





Die Hochspannungserzeugung mit einem Transistor

In einer ganzen Reihe von Versuchen wurde schon gezeigt, dass man mit einer Transistorschaltung eine Wechselspannung erzeugen kann. Außerdem wurde bei der Beschreibung des Transformators darauf hingewiesen, dass man durch geeignete Wahl der Windungszahlen eine hohe Spannung in eine geringere und umgekehrt verwandeln kann. In den folgenden Versuchen soll von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht werden. Dazu enthält der Experimentierkasten einen Transformator - Baustein, der auf Grund seiner Funktion als Hochspannungstransformator bezeichnet werden soll.

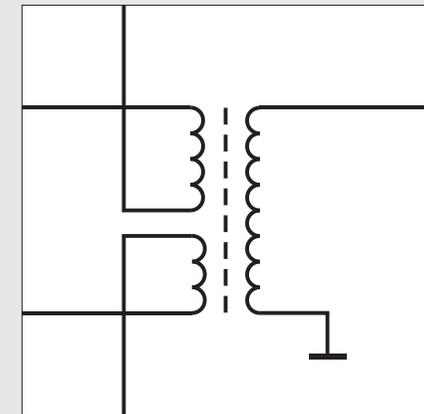
Der Hochspannungstransformator

Der neue Baustein mit vierfacher Grundgröße enthält einen Transformator mit Eisenkern und drei Wicklungen. Über die eine Wicklung wird der Kollektorstrom des Transistors geführt. Eine zweite Wicklung dient zur »Rückkopplung«, damit die Schaltung schwingt und eine Wechselspannung erzeugen kann. In der dritten Wicklung, die erheblich mehr Windungen als die beiden anderen hat, entsteht die Hochspannung. Der eine Anschluss der Hochspannungswicklung ist direkt an Masse geführt. Die übrigen Anschlüsse liegen getrennt an seitlichen Kontaktplättchen.

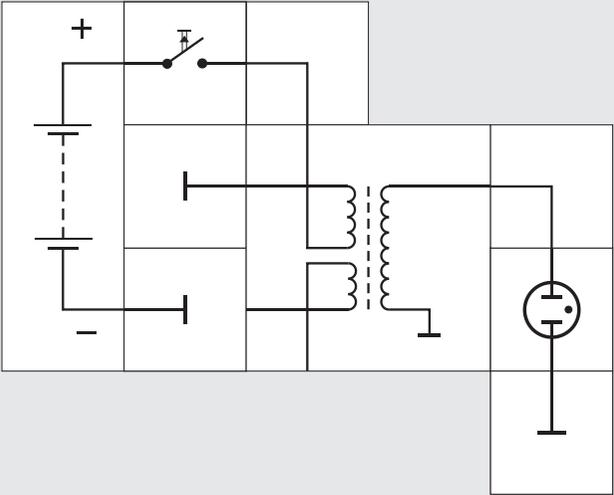
Grundversuch zur Hochspannungserzeugung

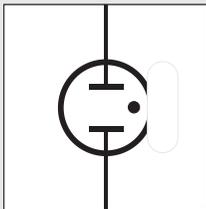
Es wurde schon erwähnt, dass über einen Transformator nur Wechselspannungen übertragen werden können. Eine dauernd anliegende Gleichspannung lässt sich mit einem Transformator nicht umformen. Im Augenblick des Ein- und Ausschaltens einer Gleichspannung, die einen Stromkreis mit Transformator betreibt, entsteht jedoch ein kurzer Impuls, der ebenfalls vom Transformator übertragen wird. Dieser Ein- bzw. Ausschaltimpuls wird durch den Transformator in genau der gleichen Weise in höhere oder niedrigere Spannungswerte umgeformt, wie das bei Wechselspannung der Fall ist. Im Versuch 72 ist die Primärwicklung - über einen $47\ \Omega$ Widerstand und eine Arbeitstaste - an die Batterie angeschlossen. Man schaltet die Batterie zunächst ein und berührt mit den Fingern einer Hand gleichzeitig den freien Anschluss der Hochspannungswicklung (Sekundärwicklung) und die Grundplatte. Mit der anderen Hand kann man jetzt die Taste drücken. Dabei verspürt man ein kräftiges Prickeln, das jedoch infolge der geringen zur Verfügung stehenden Leistung völlig ungefährlich ist. Auch beim Loslassen der Taste ist der entstehende Hochspannungsimpuls wieder wahrzunehmen. Der $47\ \Omega$ Widerstand dient zur Begrenzung, damit der

Schlag nicht zu heftig und außerdem die Batterie geschont wird.



73





Die Glimmlampe

Mit der jetzt vorhandenen hohen Spannung lässt sich ein weiteres neues Bauelement betreiben: die GLIMMLAMPE. Im Gegensatz zu der schon bekannten Glühlampe enthält dieses Bauteil keinen Glühfaden, der durch den Stromfluss zum Aufleuchten gebracht wird. Die Glimmlampe besitzt vielmehr zwei in einem bestimmten Abstand angeordnete Elektroden, die keine Verbindung miteinander ha-

ben. Der Glaskolben ist mit dem Edelgas Neon gefüllt. Legt man die Elektroden der Glimmlampe an eine genügend hohe ZÜNDSPANNUNG (circa 70 V), wird das Gas zum Glimmen angeregt. Auch dabei fließt ein Strom. Die Versuche mit der Glimmlampe an Gleichspannung werden zeigen, dass dabei immer nur eine Elektrode, nämlich die mit dem negativeren Potential, mit dem Glimmlicht bedeckt ist. Betreibt man die Glimmlampe mit Wechselspannung, dann glimmen beide Elektroden.

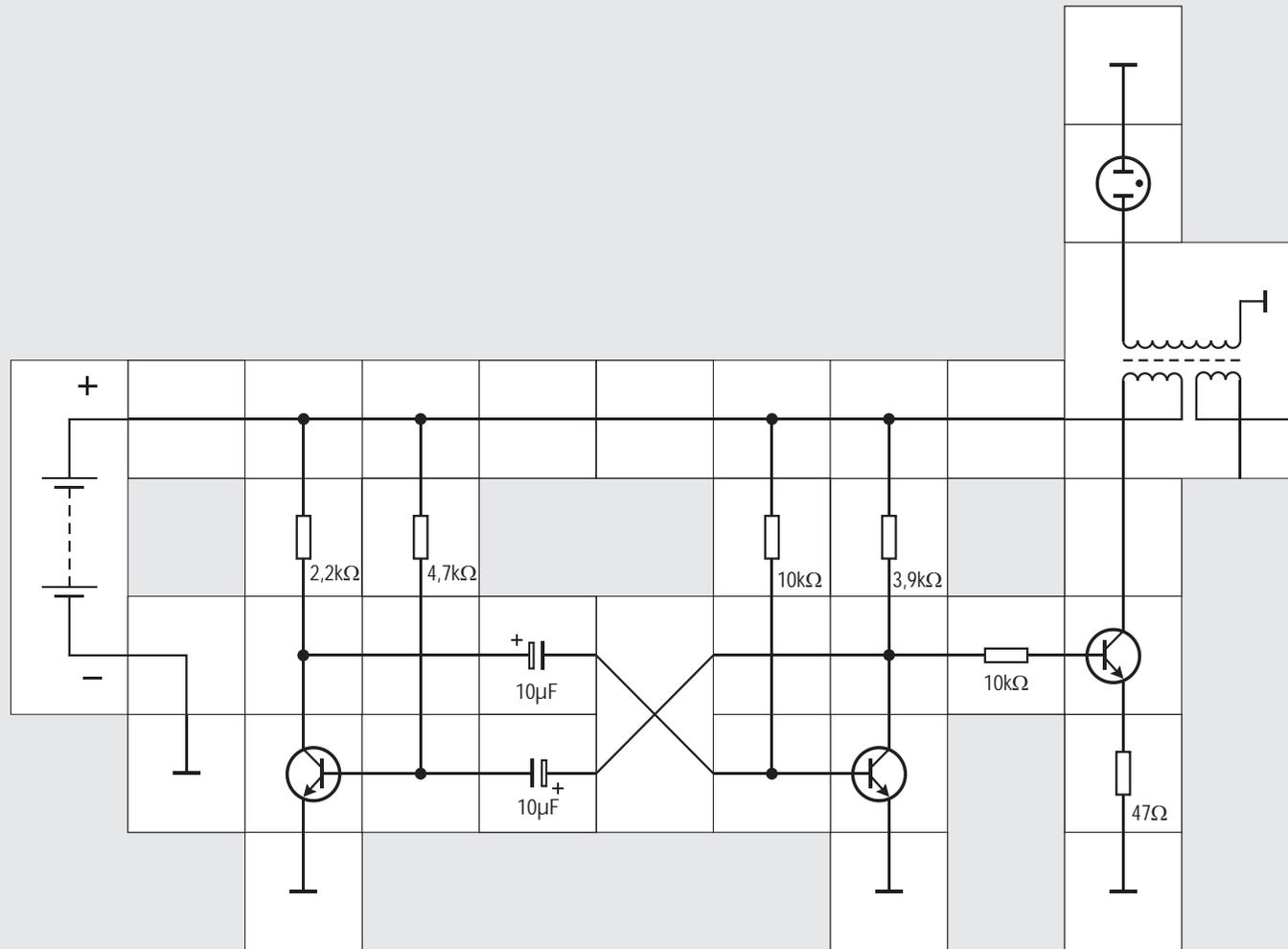
Wichtig ist beim Betrieb einer Glimmlampe die Anordnung eines genügend großen Vorwiderstands im Stromkreis. Schließt man die Glimmlampe direkt an eine niederohmige Spannungsquelle an, so wird der entstehende Stromfluss sehr groß, da die Glimmlampe selbst keine strombegrenzende Wirkung hat und die BRENNSPANNUNG deutlich kleiner als die Zündspannung ist. Die Entladung wird dann zu einem regelrechten Lichtbogen, wodurch die Glimmlampe sofort zerstört wird. Ein Vorwiderstand dagegen begrenzt den möglichen Strom auf den zulässigen Wert. Glimmlampen werden z. B. als Anzeigelampen in Schalttafeln und Geräten verwendet. Dabei ist häufig der erforderliche Vorwiderstand gleich in den Sockel der Lampe eingebaut, so dass dann auf die Anordnung eines zusätzlichen Widerstandes verzichtet werden kann. Die im Expe-

rimentierkasten vorhandene Glimmlampe - in einem Baustein mit der Grundgröße eingebaut - besitzt jedoch keinen Vorwiderstand. Er muss in der Schaltung vorgesehen werden.

Anzeige von Hochspannungsimpulsen mit der Glimmlampe

Gegenüber der Schaltung 72 ist bei diesem Versuch nur noch der Glimmlampenbaustein an die Hochspannungswicklung des Transformators angeschlossen. Die andere Elektrode der Glimmlampe ist mit Masse verbunden. Beim Drücken der Taste blitzt die Glimmlampe kurz auf, beim Loslassen ebenfalls. Da die Zündspannung der Glimmlampe über 70 V liegt, muss also die erzeugte Hochspannung mindestens diesen Betrag erreichen. Man kann auch erkennen, dass beim Drücken der Taste die eine Elektrode der Glimmlampe aufleuchtet, beim Loslassen aber die andere. Ein- und Ausschalten der Primärwicklung des Transformators haben also entgegengesetzte Polaritäten an der Sekundärwicklung zur Folge. Auf einen Vorwiderstand zwischen der Spannungsquelle (Hochspannungswicklung) und Glimmlampe kann in diesem Falle ausnahmsweise verzichtet werden, da der erzeugte Spannungsimpuls nur sehr kurz ist und zu wenig Energie enthält, um die Glimmlampe zu zerstören.

74



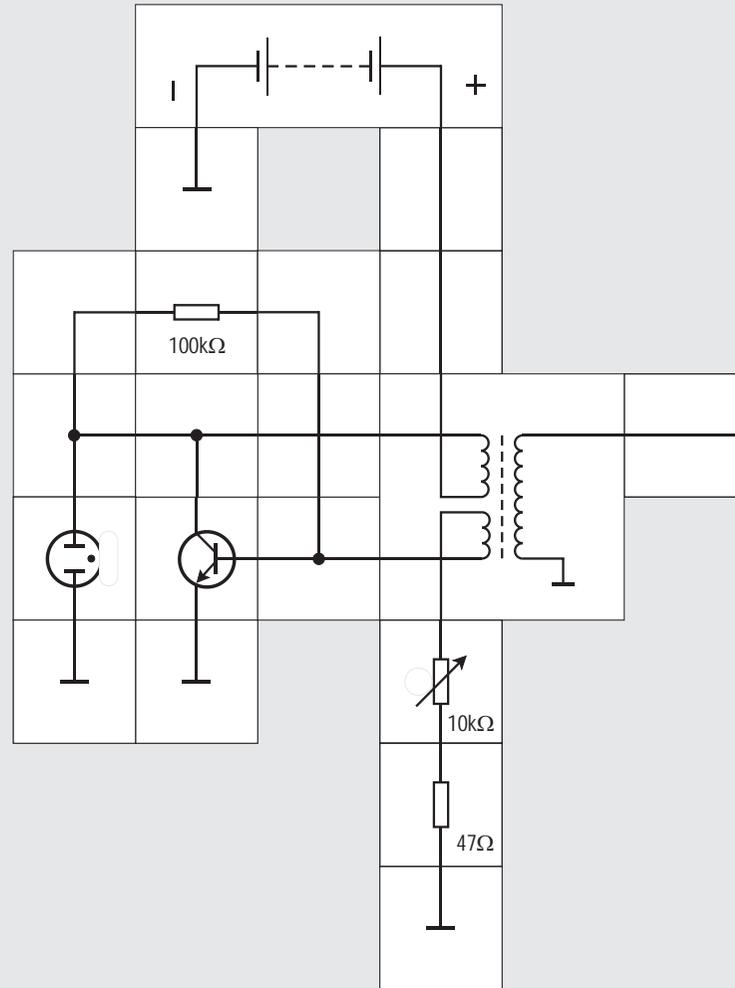


Ein elektronisches Weidezaungerät

An Stelle der früher üblichen Stacheldrahtzäune werden in der Landwirtschaft immer mehr sogenannte elektrische Weidezäune verwendet. Man vermeidet dadurch, dass sich die Tiere beim Berühren eines Stacheldrahtzaunes verletzen. Der elektrische Weidezaun besteht aus einem blanken, iso-

liert angebrachten Draht. Ihm werden in regelmäßigen Abständen kurzzeitige Hochspannungsimpulse zugeführt, wobei als Gegenelektrode das Erdreich dient. Eine mögliche Schaltung zur Erzeugung der Hochspannungsimpulse zeigt der Versuch 74. Man erkennt hier wieder die Grundsaltung des schon im Versuch 66 aufgebauten astabilen Multivibrators. Die Widerstandswerte wurden etwas geändert; über eine weitere Transistorstufe ist die Primärwicklung des Hochspannungstransformators mit dem Multivibrator verbunden. Bei jedem Umschaltvorgang des Multivibrators erhält der Transformator einen Ein- bzw. Ausschaltimpuls, der sich auf der Sekundärwicklung als Hochspannungsimpuls auswirkt. Man kann das Arbeiten der Schaltung wieder feststellen, indem man den freien Anschluss der Hochspannungswicklung und die Grundplatte mit den Fingern berührt. Dabei spürt man im Takte der Multivibratorfrequenz deutliche elektrische Schläge. Durch Anschluss der Glimmlampe an das freie Kontaktplättchen der Hochspannungswicklung lassen sich die Hochspannungsimpulse sichtbar machen. Ersetzt man die $10\mu\text{F}$ Kondensatoren durch $0,1\mu\text{F}$ Kondensatoren kommen die Impulse in so rascher Folge, dass die Glimmlampe ständig leuchtet. Auch bei diesem Versuch ist kein Vorwiderstand erforderlich.

75





Ein Spannungswandler mit Transistor

Der Versuch 75 bildet die Grundschialtung eines Transistor-Spannungswandlers. Im Kollektorkreis des Transistors liegt die »Primärspule« des Hochspannungstransformators. Jeder noch so geringe Stromstoß im Kollektorkreis (beispielsweise durch das Einschalten der Batterie) wird infolge der Transformatoreigenschaften auch auf die »Rückkopplungsspule« im Basiskreis des Transistors übertragen. An der Basis tritt ebenfalls eine Spannungsänderung auf, die im Transistor verstärkt wird und wieder eine entsprechende Stromänderung im Kollektorkreis zur Folge hat. Auf diese Weise schaukelt sich die Schaltung in ähnlicher Form auf, wie das bereits beim Versuch 42 der Fall war. Die Anordnung beginnt zu schwingen. **Kurzzeitiges** Entfernen des Massebausteins am 47Ω Widerstand oder Unterbrechen der Versorgungsspannung hilft oft bei Anschwingsschwierigkeiten.

Dabei ist die Frequenz der erzeugten Wechselspannung von den Abmessungen und den Wickeldaten des Hochspannungstransformators abhängig. Das einwandfreie Arbeiten der Versuchsschaltung erkennt man daran, dass bei eingeschalteter Batterie ein hoher Pfeifton auftritt.

Den optimalen Schwingbetrieb kann man erreichen, indem man in die Basisleitung einen einstellbaren Wi-

derstand in Reihe zum 47Ω Widerstand einbaut. Solange an die Sekundärwicklung des Hochspannungstrafos nichts angeschlossen ist, treten am Kollektor des Transistors sehr hohe Spannungen auf. Sie rühren daher, dass im Schwingbetrieb der Strom im Hochspannungstrafo ständig ein- und ausgeschaltet wird. Nun ist es generell ein Problem, wenn eine Induktivität abgeschaltet wird: Das zuvor beim Stromfluss entstandene magnetische Feld trägt Energie, die bei seinem Abbau wegen des abgeschalteten Stroms irgendwo bleiben muss. Die Anordnung »wehrt« sich sozusagen gegen die Veränderung des Stroms und erzeugt eine Induktionsspannung, die so groß und so gerichtet ist, dass der Strom zunächst in gleicher Höhe weiter fließt. (Die Stärke eines Stroms durch eine Induktivität kann nicht springen). Bei mechanischen Schaltern, mit denen eine Induktivität abgeschaltet wird, sieht man häufig am öffnenden Kontakt einen Abschaltfunken, der durch diese Induktionsspannung erzeugt wird und auf Dauer schädlich für die Kontakte ist. Bei elektronischen Schaltern, wie Transistoren, müssen normalerweise Zusatzschaltungen vorgesehen werden, die sie vor zu hohen zerstörerischen Spannungen schützen.

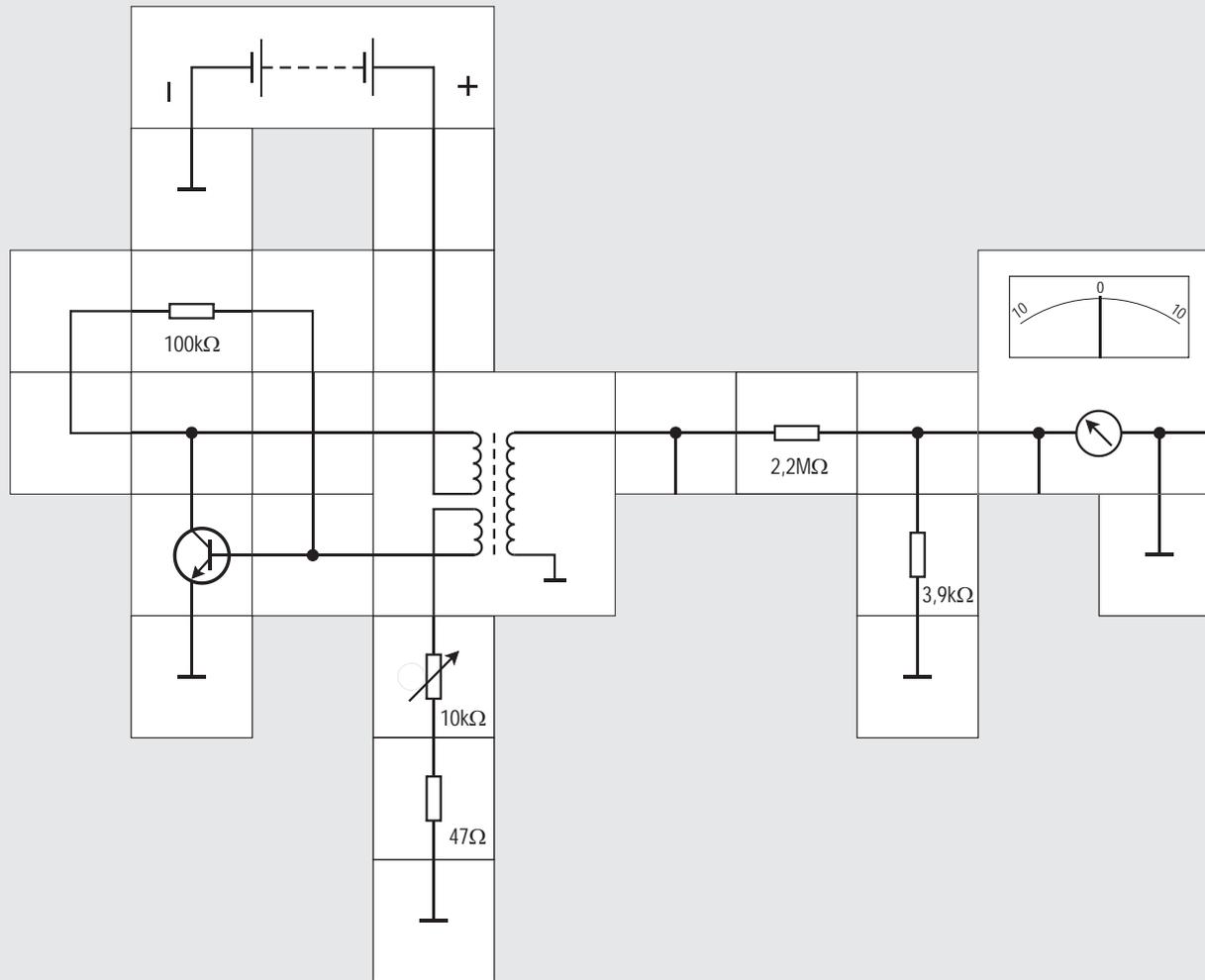
Auch am Kollektor des Transistors in der vorliegenden Schaltung sind diese hohen Spannungen mit der Glimmlampe nachzuweisen: Im optimalen Betrieb

sollte sie leuchten. Die aus dem Magnetfeld freigesetzte Energie ist allerdings so klein, dass der Transistor das Überschreiten seiner Sperrspannung verkraftet und nicht zerstört wird. Ein zusätzlicher Schutz ist deswegen nicht nötig.

In der dritten Wicklung des Transformators entsteht die hohe Wechselspannung von etwa 250 V. Sie ist auch hier wieder völlig ungefährlich, da die zur Verfügung stehende Leistung nur sehr gering ist. Damit der vorliegende Versuchsaufbau in dieser Form für die nachfolgenden Versuche erhalten bleiben kann, wurde der Anschluss der Hochspannungswicklung an einen Abzweigungsbaustein geführt, bei dem vorläufig noch zwei Anschlüsse freibleiben.

Berührt man bei eingeschalteter Batterie und entfernter Glimmlampe mit den Fingern gleichzeitig eines der freien Kontaktplättchen beim Abzweigungsbaustein und die Grundplatte, dann verspürt man wieder das bekannte Prickeln, ein Zeichen für hohe Spannung. Das Prickeln ist im Gegensatz zu den vorhergehenden Schaltungen aber ständig zu spüren, da es sich jetzt um eine gleichmäßig erzeugte Wechselspannung und nicht mehr um Ein- oder Ausschaltimpulse handelt. In ähnlicher Form sind auch handelsübliche Elektrisierapparate aufgebaut, die früher in der Medizin für die verschiedensten Heilzwecke angeboten wurden.

76





Zünden einer Glimmlampe mit Blitzlicht

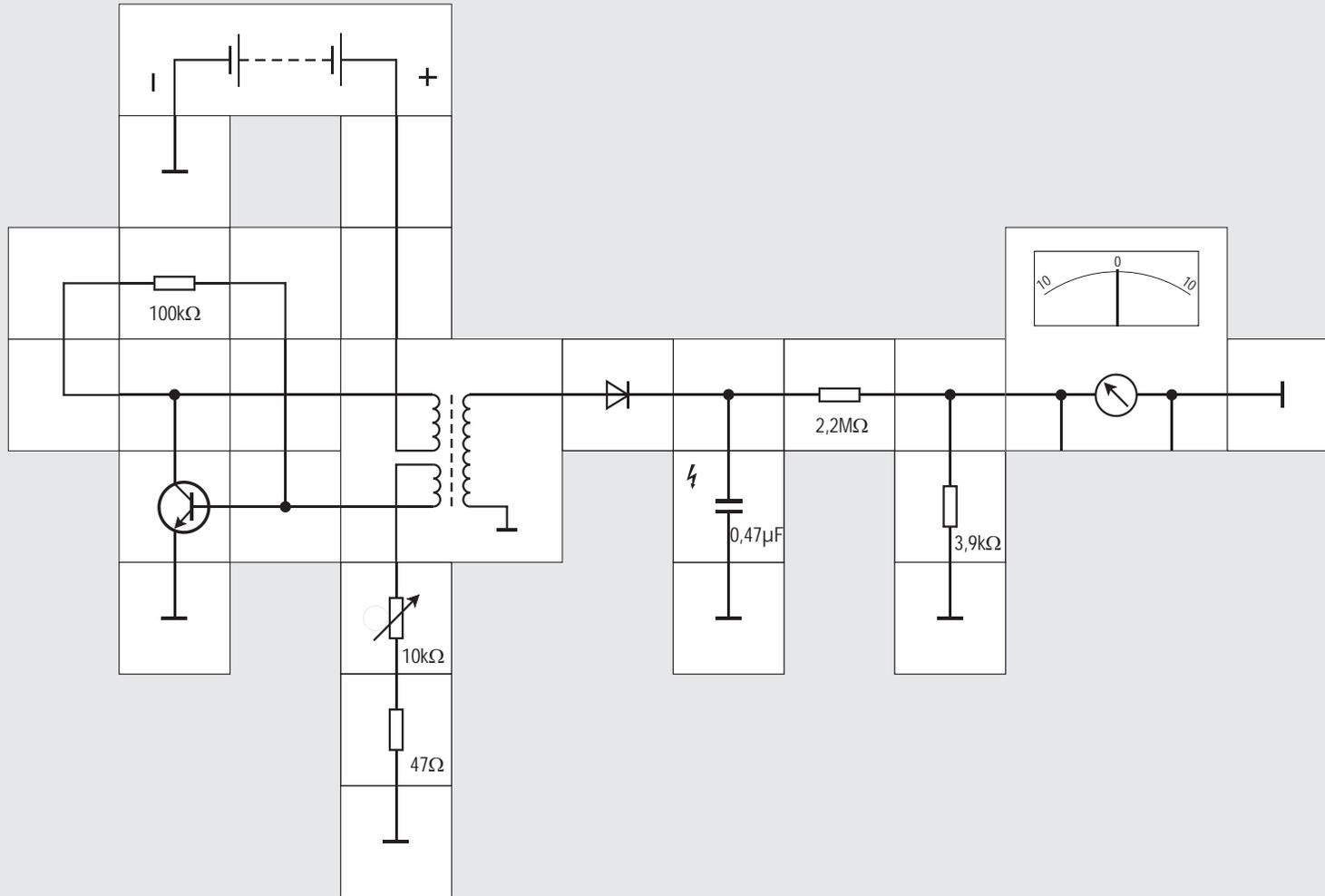
Mit dem Aufbau des Versuchs 75 kann man gut zeigen, dass eine Glimmlampe, die an einer Spannung liegt, die niedriger als ihre ZÜNDSPANNUNG aber höher als ihre BRENNSPANNUNG ist, mit Hilfe einer externen Energiezuführung gezündet werden kann. Dazu stellt man den Einstellwiderstand zunächst so ein, dass die Glimmlampe leuchtet. Durch Drehen des Einstellknopfes im Gegenuhrzeigersinn wird das Leuchten schwächer und hört schließlich beim Unterschreiten der LÖSCHSPANNUNG ganz auf.

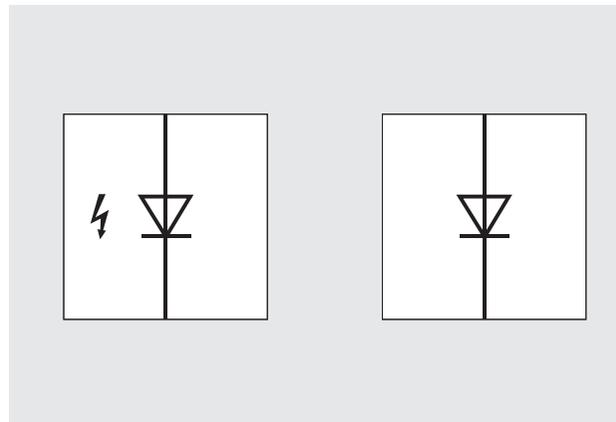
Dreht man jetzt vorsichtig den Einstellknopf im Uhrzeigersinn in eine Stellung, dass die Glimmlampe gerade noch nicht zündet, und blitzt sie dann mit einem herkömmlichen Blitzgerät aus kurzer Entfernung an, so wird sie anschließend leuchten. Die zum Zünden erforderliche Energie stammt aus dem Blitzgerät

Anschluss des Messinstrumentes an den Spannungswandler

Es soll jetzt versucht werden, die erzeugte Wechselspannung mit dem Anzeigeelement zu erfassen. Hierzu wird das Instrument, da es sich um eine Hochspannung handelt, über einen sehr hochohmigen Widerstand von $2,2 \text{ M}\Omega$ an die Sekundärwicklung des Transformators angeschlossen. Es wird jedoch bei schwingendem Spannungswandler keinen Ausschlag zeigen. Bereits frühere Versuche haben nachgewiesen, dass eine Wechselspannungsanzeige mit dem Drehspulinstrument nicht möglich ist. Es ist daher eine Gleichrichtung erforderlich.

77





Die Hochspannungs - Diode

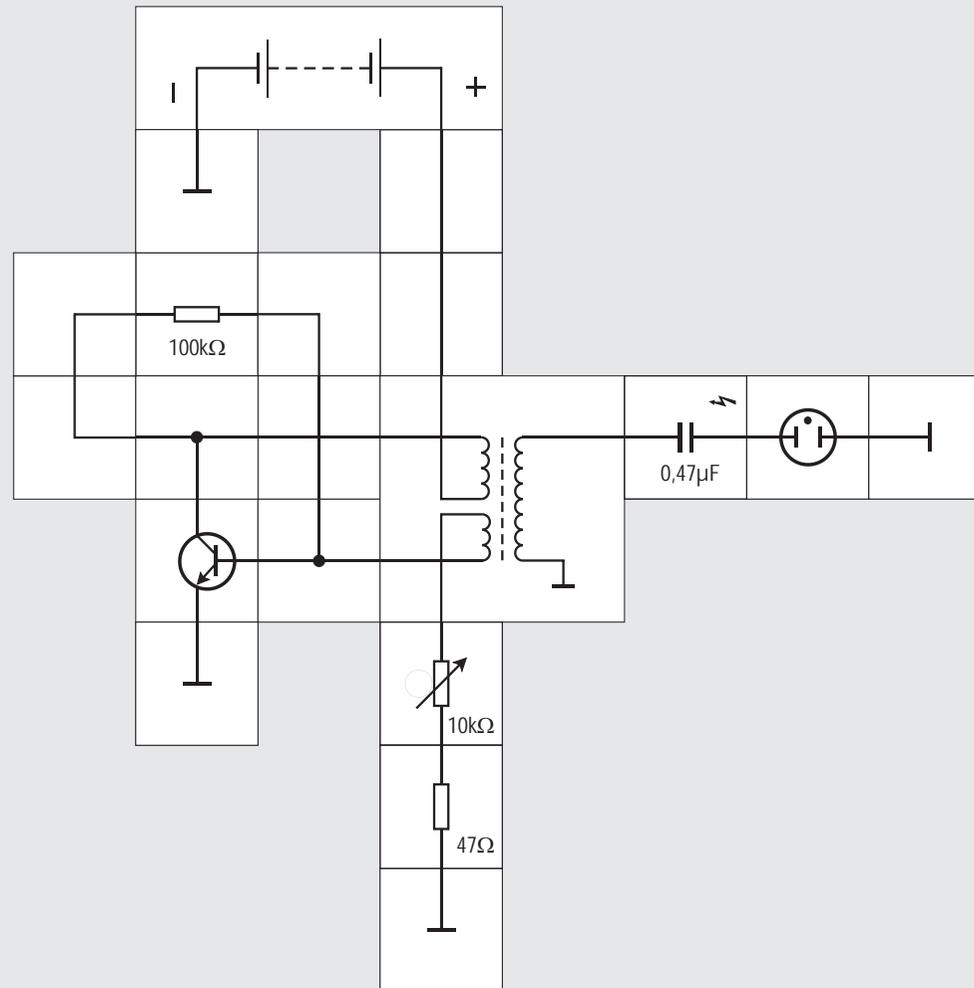
Die Gleichrichtung der mit dem Spannungswandler erzeugten Hochspannung ist mit der schon früher verwendeten Germaniumdiode nicht möglich. Sie würde bei der hohen Spannung durchschlagen und wäre dann unbrauchbar. Bei den folgenden Versuchen wird daher ein neues Bauteil verwendet: Eine Diode, die als Ausgangsmaterial Silizium enthält. Mit dieser Diode lassen sich Wechselspannungen bis zu 400 V gleichrichten. Die beiden Dioden dürfen in den Versuchen auf keinen Fall verwechselt werden. In einer älteren Ausführung ist zusätzlich ein Hochspannungspfeil auf dem Deckelbild.

Messung einer gleichgerichteten Hochspannung

In dieser Schaltung ist in Reihe mit der Hochspannungswicklung die Siliziumdiode angeordnet. Außerdem ist im Stromkreis ein Kondensator von $0,47\mu\text{F}$ vorgesehen. Die durch die Diode gleichgerichtete Wechselspannung ist keine vollkommen gleichmäßige Spannung, wie sie beispielsweise von der Batterie geliefert wird, sondern sie setzt sich aus den von der Diode durchgelassenen Halbwellen mit gleicher Polarität zusammen. Der Kondensator gleicht nun die Unterschiede weitgehend aus, er »glättet« die hin- und her schwankende Gleichspannung. Man darf an Stelle des $0,47\mu\text{F}$ Kondensators keinen anderen im Experimentierkasten enthaltenen Kondensator benutzen, da die übrigen Kondensatoren nicht für die auftretende hohe Spannung geeignet sind und durchschlagen würden. Der $0,47\mu\text{F}$ Kondensator ist durch einen Hochspannungspfeil gekennzeichnet.

Mit der Versuchsschaltung 77 erreicht man nun eine Anzeige der erzeugten Hochspannung durch das Instrument.

78

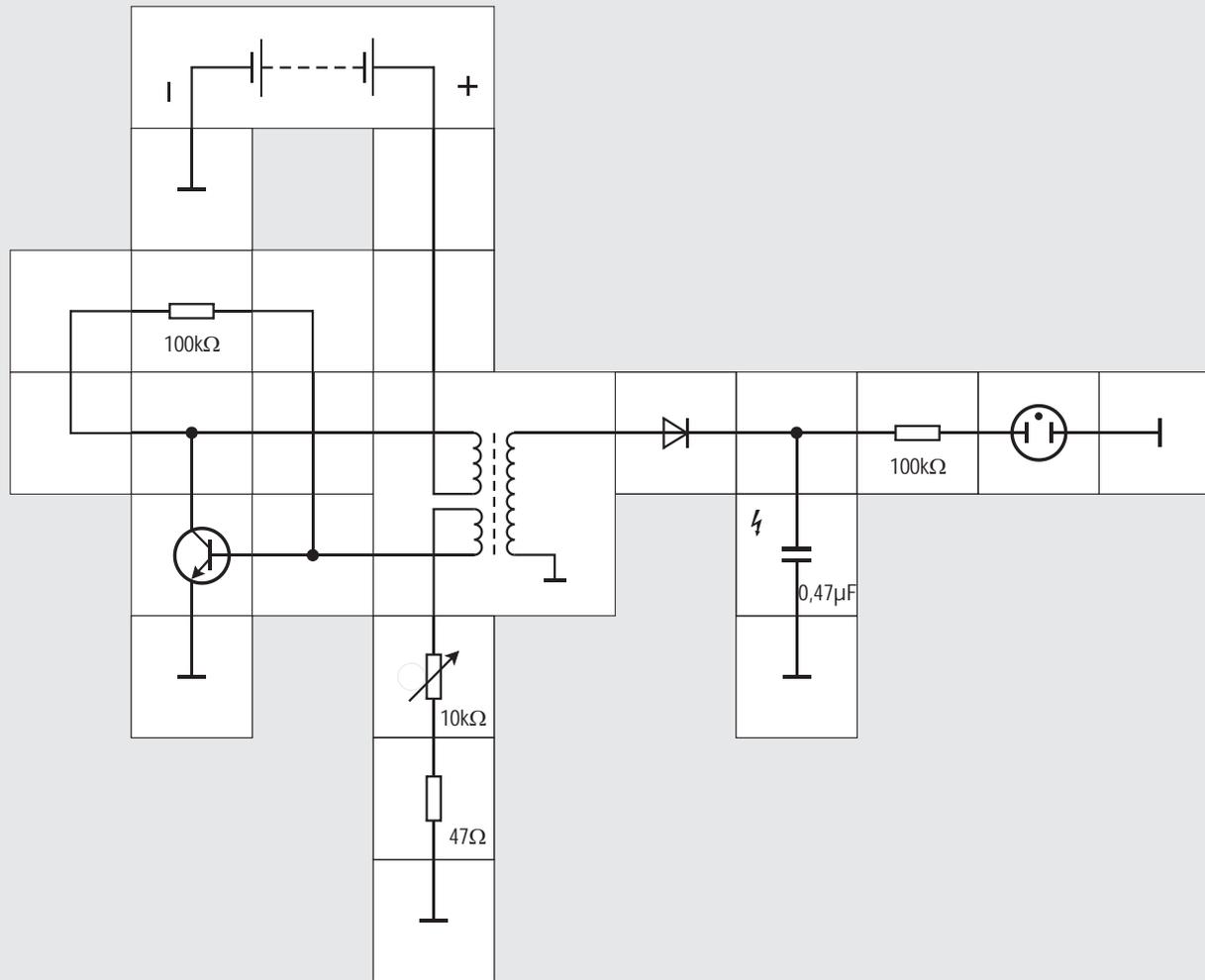




Betrieb einer Glimmlampe mit hoher Wechselspannung

An der Schaltung des Spannungswandlers hat sich gegenüber den beiden vorigen Versuchen nichts geändert. An Stelle des Messinstrumentes tritt hier die Glimmlampe, die über den Kondensator von $0,47\mu\text{F}$ betrieben wird. Da in diesem Falle eine Wechselspannung anliegt, werden bei der Glimmlampe beide Elektroden leuchten.

79

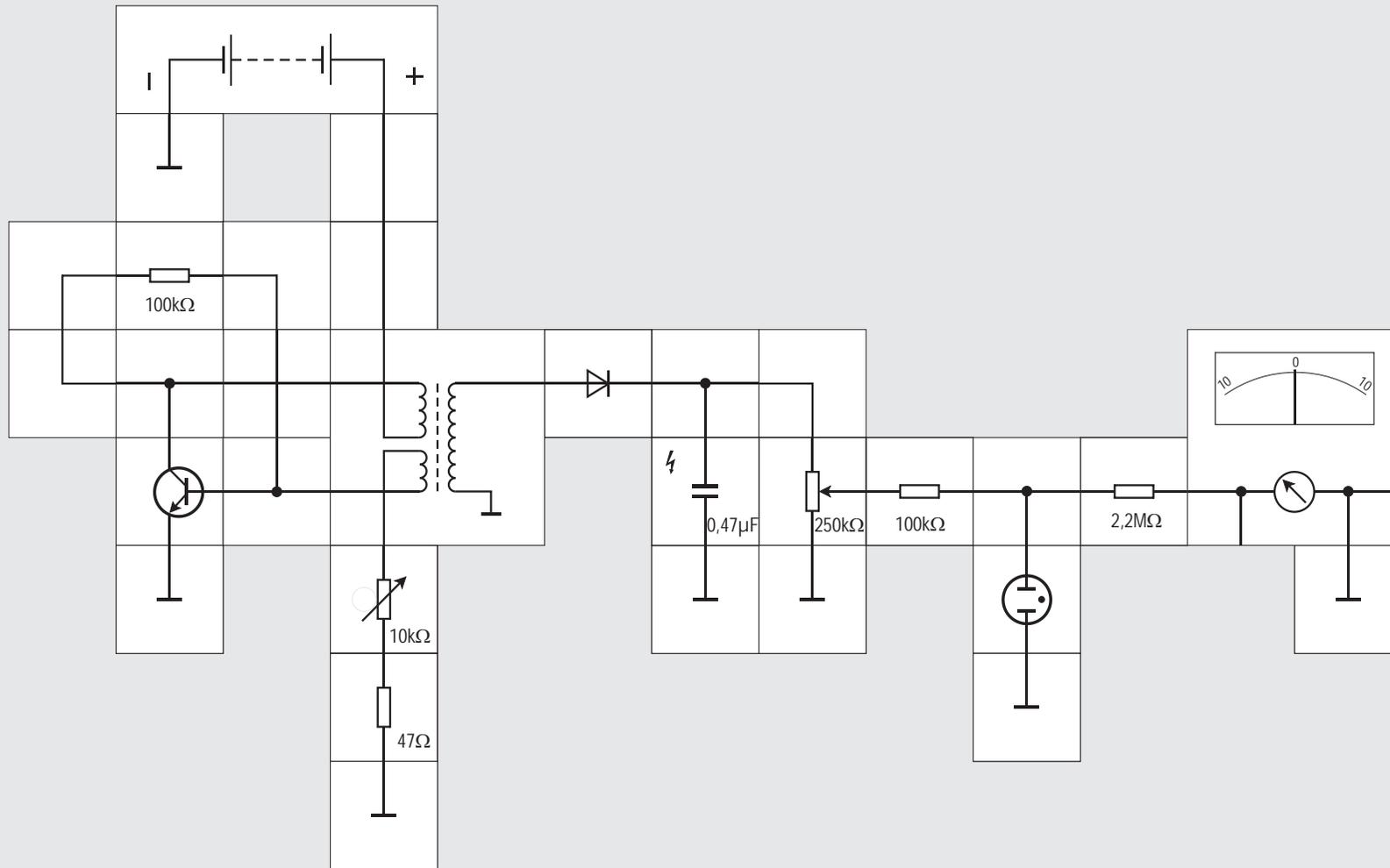




Betrieb einer Glimmlampe mit gleichgerichteter Hochspannung

Zusätzlich zu den Bauteilen des Versuches 78 sind hier die Siliziumdiode und der Vorwiderstand von $100\text{ k}\Omega$ für die Glimmlampe vorgesehen. Damit wird der Glimmlampe jetzt eine Gleichspannung zugeführt, es wird also nur eine Elektrode (es ist immer die mit dem niedrigeren Potential) aufleuchten. Dreht man den Glimmlampenbaustein um - d.h. vertauscht man die Polarität der Glimmlampe - dann leuchtet die andere Elektrode auf.

80





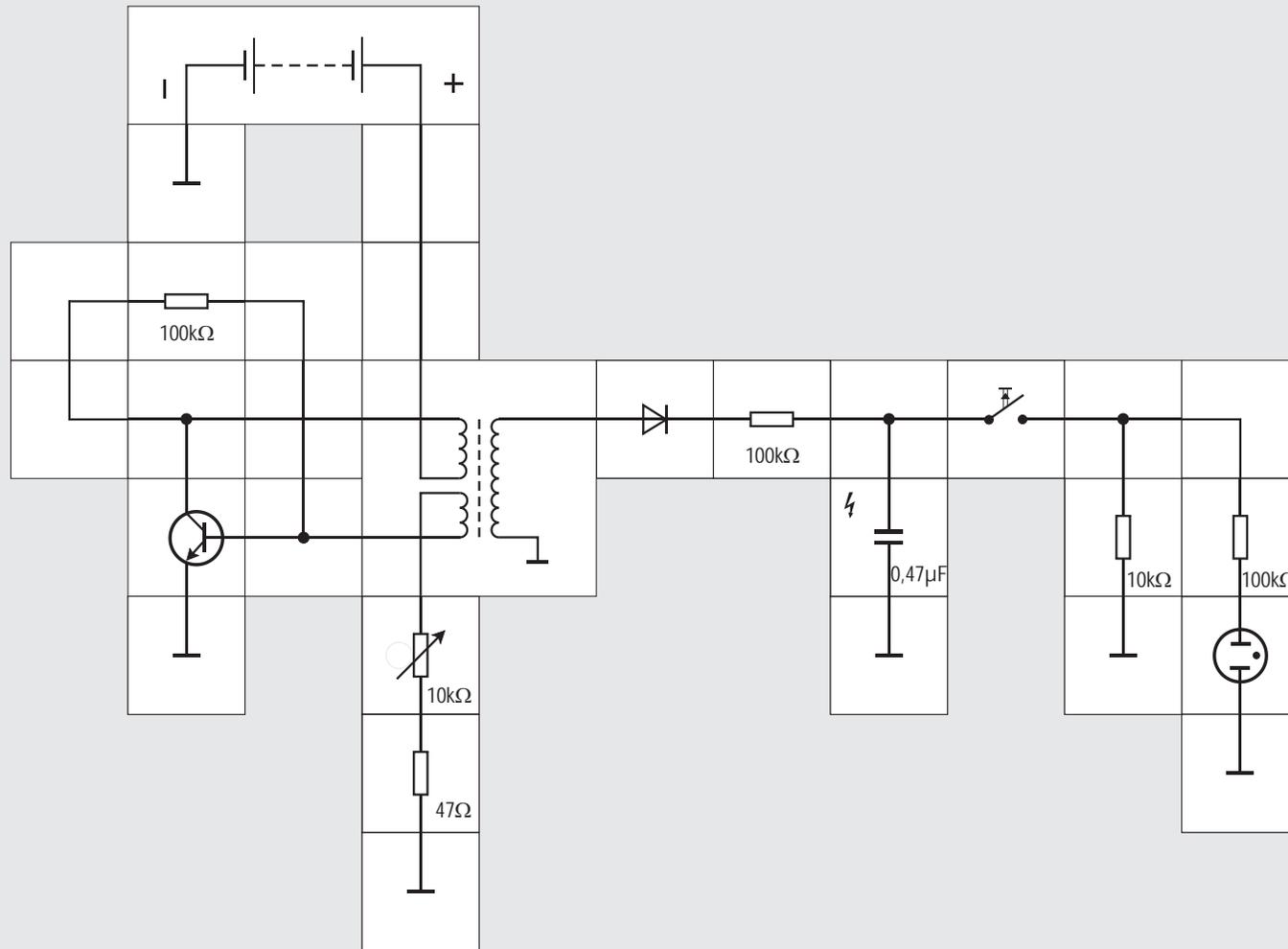
Die Glimmlampe als Spannungskonstanthalter

Eine Glimmlampe besitzt noch einige besondere Eigenschaften, die in der Schaltung 80 nachgewiesen werden sollen. Auch hier ist als Spannungsquelle der Transistor-Spannungswandler vorgesehen. Parallel zum $0,47\mu\text{F}$ Kondensator liegt das Potentiometer von $250\text{ k}\Omega$. Es bildet einen stetig einstellbaren Spannungsteiler, an dem die am Kondensator auftretende Gleichspannung abgegriffen werden kann. Vom Schleifer des Potentiometers gelangt die Spannung über einen Vorwiderstand von $100\text{ k}\Omega$ zur Glimmlampe. Zu dieser ist über den Vorwiderstand von $2,2\text{ M}\Omega$ das Anzeigeinstrument parallel geschaltet. Man misst also jeweils die an den Elektroden der Glimmlampe anliegende Gleichspannung. Der Versuch beginnt mit ganz nach links gedrehtem Schleifer des Potentiometers. Das Instrument zeigt dann noch keinen Spannungswert an, und die Glimmlampe leuchtet nicht. Nun wird der Potentiometerknopf langsam zum anderen Ende hin bewegt. Dabei steigt die Spannung an der Glimmlampe laufend an, was am Anzeigeinstrument verfolgt werden kann. Man kann die Spannung bis zu einem gewissen Wert erhöhen, ohne dass die Glimmlampe brennt. Dreht man den Potentiometerknopf weiter, dann wird die Glimmlampe bei einem ganz bestimmten Spannungswert schlagartig aufleuchten. Im gleichen Augenblick

geht der angezeigte Spannungswert zurück. Man kann nun den Potentiometerknopf beliebig weiterdrehen, ohne dass sich die Anzeige am Instrument ändert. Nur die Helligkeit der Glimmlampe wird bei steigender Spannung größer.

Die Spannung, bei der die Glimmlampe schlagartig aufleuchtet (»zündet«), wird als ZÜNDSPANNUNG bezeichnet. Sie ist vom Aufbau der Lampe und von der Gasfüllung abhängig. Es gibt Glimmlampen, die erst bei wesentlich höheren Spannungen zünden. Sobald die Zündung erfolgt ist, bricht die Spannung an den beiden Elektroden auf einen niedrigeren Wert zusammen, den man BRENNSPANNUNG nennt. Die Brennschpannung, die – wie die Zündspannung – von der Konstruktion der Lampe abhängig ist, bleibt nahezu konstant, ganz gleichgültig, welche Spannung am Potentiometer abgegriffen wird. Der Spannungsunterschied zwischen dem Schleifer des Potentiometers (Eingangsspannung) und der Glimmlampe wird vom Vorwiderstand $100\text{ k}\Omega$ aufgenommen. Nur der über den Vorwiderstand und die Glimmlampe fließende Strom ändert sich bei Veränderung der Eingangsspannung. Die Glimmlampe hat also eine spannungsstabilisierende Wirkung. Diese Eigenschaft wird häufig in der Elektronik ausgenutzt, wenn zum Beispiel zum Betrieb einer Schaltung eine konstante Spannung benötigt wird.

81

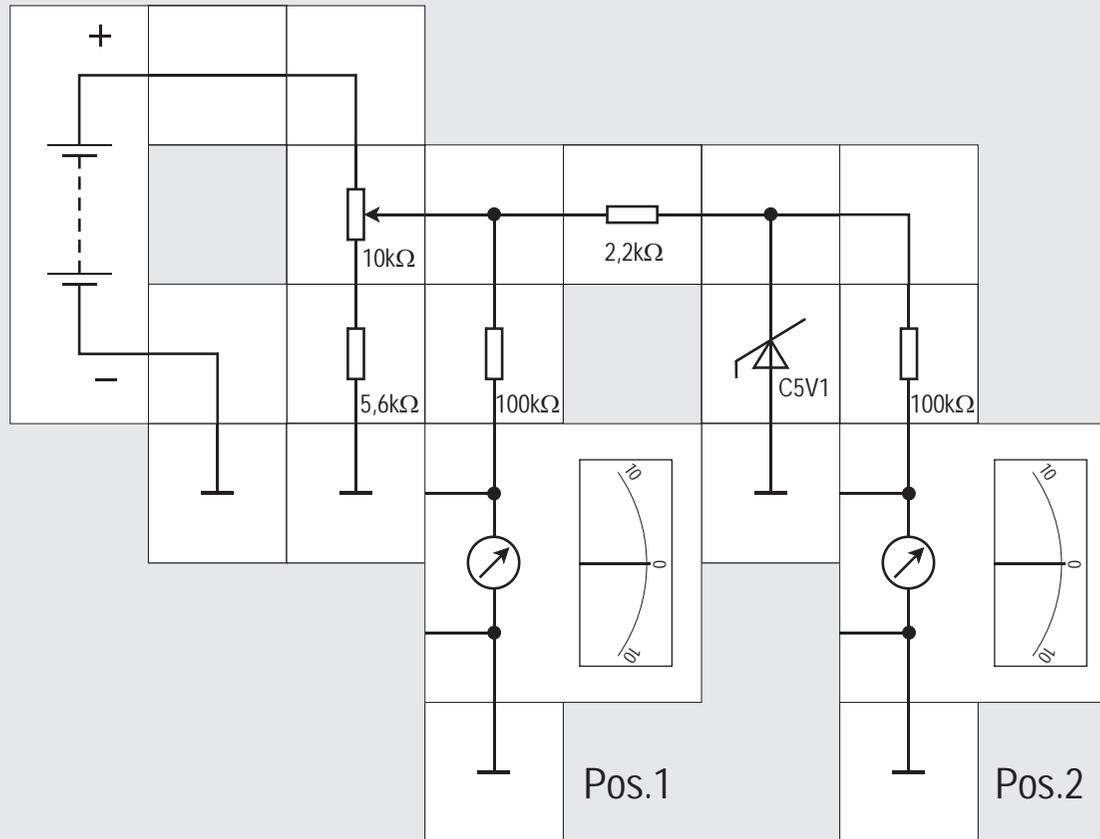




Grundschialtung eines Elektronenblitzgerätes

Als letzter Versuch mit dem Spannungswandler soll eine Schaltung aufgebaut werden, die in ihren

Grundzügen dem bekannten Elektronenblitzgerät entspricht. Der Kondensator von $0,47\mu\text{F}$ stellt den »Blitzkondensator« dar, der in der Praxis aber eine erheblich größere Kapazität aufweist (einige hundert μF). Über die Blitzröhre – das ist auch eine gasgefüllte Röhre wie die Glimmlampe – wird im Elektronenblitzgerät die durch den Aufladevorgang im Blitzkondensator langsam gespeicherte Energie schlagartig entnommen, wodurch kurzzeitig ein sehr heller Lichtblitz entsteht. Dabei fließen sehr hohe Ströme (einige hundert Ampère). Die Blitzröhre wird im Versuch 81 durch die Glimmlampe mit Vorwiderstand ersetzt, der ein $10\text{ k}\Omega$ Widerstand parallel geschaltet ist. Durch den Parallelwiderstand soll eine schnelle Entladung des Blitzkondensators erreicht werden. Glimmlampe und $10\text{ k}\Omega$ Parallelwiderstand sind über den Tastenschalter mit dem $0,47\mu\text{F}$ Kondensator verbunden. Schaltet man die Batterie ein, dann lädt sich der Kondensator über den Vorwiderstand von $100\text{ k}\Omega$ auf. Nach erfolgter Aufladung – im vorliegenden Versuch genügen etwa zwei Sekunden – kann durch Drücken der Taste ein kurzer »Lichtblitz« in der Glimmlampe erzeugt werden, wobei sich der Kondensator schnell entlädt. Um einen neuen Lichtblitz entstehen zu lassen, muss man die Taste loslassen und warten, bis sich der Kondensator wieder aufgeladen hat.





Die Zenerdiode

Im vorigen Versuch wurden die stabilisierenden Eigenschaften einer Glimmlampe untersucht. Für niedrigere Spannungen als 60 V sind solche Glimmlampen-Stabilisatoren jedoch nicht herstellbar. Will man geringere Spannungen stabilisieren, so muss man ein anderes Bauteil verwenden. Besonders geeignet dafür sind ZENERDIODEN, so benannt nach dem Entdecker des »Zener-Effektes«. Sie gehören wie die Dioden und Transistoren in die Gemeinschaft der Halbleiter-Bauelemente. Als Ausgangsmaterial dient Silizium.

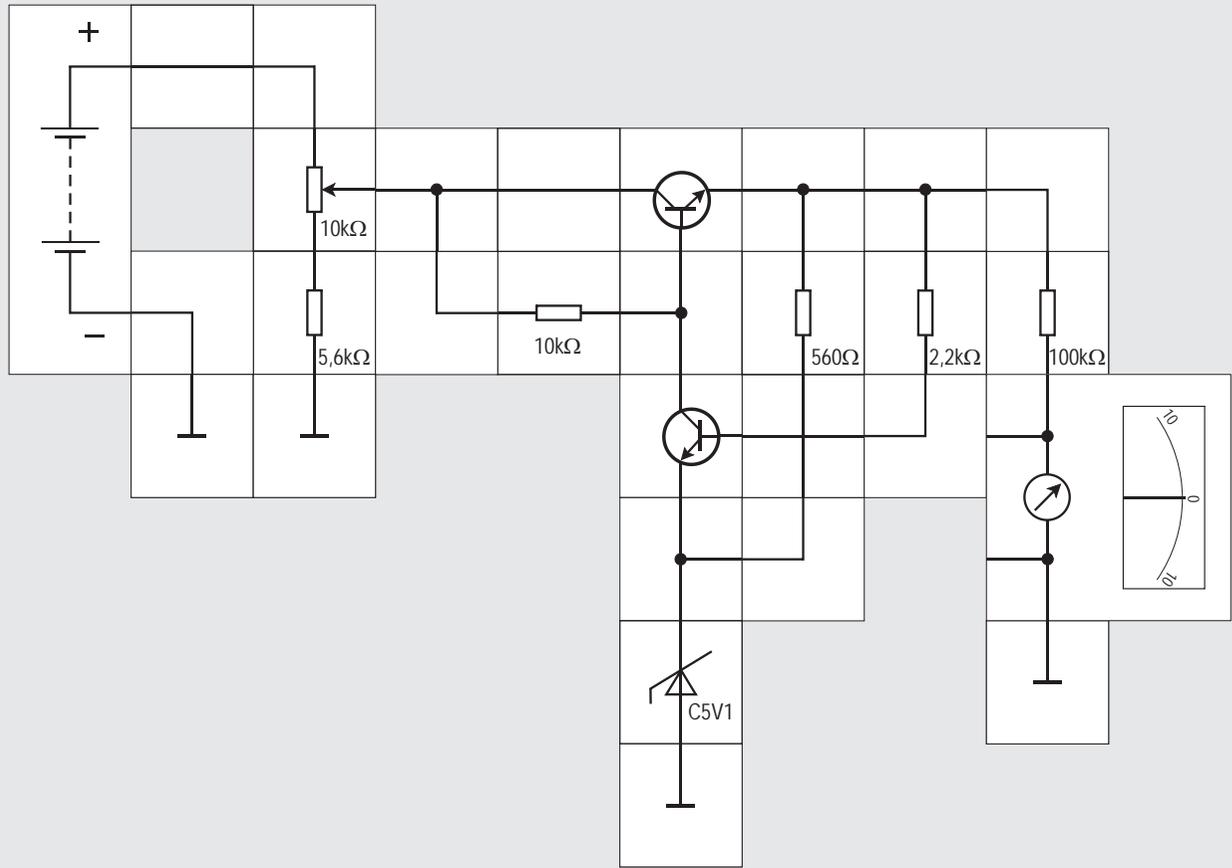
In der Durchlassrichtung verhält sich die Zenerdiode genau wie die gewöhnliche Germanium- oder Silizium-Diode. Auch in der Sperrrichtung hat die Zenerdiode bis zu einer bestimmten Spannung, eben der ZENERSPANNUNG, einen sehr großen Widerstand. Beim Erreichen der Zenerspannung wird das Bauelement jedoch wieder leitend. Genau wie bei der Glimmlampe bleibt dann die Spannung an der Zenerdiode konstant. Sie hat dann also praktisch die gleichen Eigenschaften wie die gezündete Glimmlampe. Im Gegensatz zur Glimmlampe gibt es allerdings bei der Zenerdiode keine »Zünd«- und »Brenn«-Spannung mit unterschiedlichen Werten.

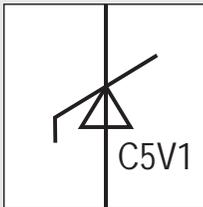
Zenerdioden werden für stabile Spannungen von etwa 1 V ab hergestellt. Andere Typen besitzen Zenerspannungen, die bis in das Anwendungsgebiet der Glimmstabilisatoren gehen. Der Aufbaukasten enthält eine Zenerdiode für eine Spannung von etwa 5,1 V.

Die Wirkungsweise der Zenerdiode

Parallel zur Batterie liegt ein Spannungsteiler, der aus dem Potentiometerbaustein und einem Festwiderstand von 5,6 k Ω besteht. Am Schleifer des Potentiometers lässt sich also eine regelbare Spannung abnehmen, die jedoch nicht bis auf Null einzustellen ist. Das wäre überflüssig, da der Zenerdiode zum einwandfreien Betrieb immer über den Vorwiderstand eine etwas höhere Spannung als die Zenerspannung zugeführt werden muss. Vom Schleifer des Potentiometers führt ein 2,2 k Ω Widerstand zur Zenerdiode. Sie ist in Sperrrichtung geschaltet. In Position 2 ist parallel zur Zenerdiode über einen Vorwiderstand von 100 k Ω das Anzeigeinstrument anzuschließen. Zwischen dem Schleifer des Potentiometers und dem Vorwiderstand ist ein Abzweigungsbaustein eingefügt, von dem aus in Position 1 jeweils auch die der Stabilisierungsschaltung zugeführte Betriebsspannung gemessen werden kann. Ordnet man das Anzeigeinstrument in Position 1

an, dann kann man bei eingeschalteter Batterie mit dem Drehknopf des Potis eine Spannung zwischen etwa 3 und 9 V einstellen. Legt man das Instrument aber parallel zur Zenerdiode (Position 2), dann bleibt der Ausschlag nahezu unabhängig von der Einstellung des Potentiometers etwa bei 5 V stehen. Unbeeinflusst vom Zustand der Batterie und deren Alterung steht also durch Verwendung einer Zenerdiode immer eine stabile Spannung zur Verfügung. Für sehr viele Schaltungen in der Praxis ist eine stabile Betriebsspannung sehr wichtig. Mit Zenerdioden ist dieses Ziel besonders einfach zu erreichen. Die stabilisierte Spannung ist auch weitgehend belastungsunabhängig. Man kann also ohne weiteres parallel zum Anzeigeinstrument einen Belastungswiderstand anordnen. Die Spannung wird sich dabei nicht verändern. Allerdings darf man die Belastung nicht so groß machen, dass die Zenerspannung schon durch das Verhältnis des Belastungswiderstandes zum Vorwiderstand unterschritten wird. Stabilisierungsschaltungen mit Zenerdioden sind daher nur in bestimmten Belastungsgrenzen verwendbar. Wird der Belastungswiderstand zu klein, so ist keine Stabilisierung mehr möglich. Man könnte natürlich auch den Vorwiderstand entsprechend kleiner wählen. Dann wird jedoch die Zenerdiode selbst zu stark belastet.





Spannungskonstanthalter mit Zenerdiode und Transistoren

Parallel zur Ausgangsspannung, die bereits stabilisiert ist, liegt über einen Vorwiderstand von $560\ \Omega$ die Zenerdiode. Auf diese Weise gewinnt man die zunächst notwendige Vergleichsspannung von etwa $5,1\ \text{V}$. Parallel zur Batterie ist wieder der Spannungsteiler aus dem Potentiometerbaustein und ein Festwiderstand von $5,6\ \text{k}\Omega$ angeordnet. Eine Kontrolle der am Schleifer des Potentiometers abgenommenen Spannung wird bei diesem Versuch nicht noch einmal durchgeführt; die abgegriffene Spannung verhält sich wie beim Versuch 82. Die veränderliche Spannung gelangt über die Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors zum Messkreis, der aus dem Anzeigeinstrument und einem Vorwiderstand von $100\ \text{k}\Omega$ besteht. Der Basisanschluss dieses Transistors ist mit dem Kollektor des anderen Transistors verbunden. Die beiden Transistoren sind also gleichstrommäßig miteinander gekoppelt. Der Emitter des unteren Transistors liegt an der von der Zenerdiode gegebenen festen Bezugsspannung. Die

Basis dieses Transistors schließlich ist über einen $2,2\ \text{k}\Omega$ Widerstand an den Ausgang der Schaltung geführt.

Bei eingeschalteter Batterie kann man nun den Potentiometerknopf wieder in jede beliebige Stellung bringen; die Anzeige des Instrumentes wird sich dabei kaum über gut $5\ \text{V}$ ändern. (Bei Eingangsspannungen, die kleiner sind als die Zenerspannung, kann natürlich keine Regelung stattfinden). Im Regelbereich hat jede geringfügige Änderung der Ausgangsspannung automatisch eine Änderung der Basisspannung am unteren Transistor zur Folge. Da dessen Emitterspannung aber durch die Zenerdiode festliegt, ergibt sich eine Spannungsverschiebung zwischen Basis und Emitter. Diese wird über den Transistor verstärkt und auf die Basis des oberen Transistors weitergegeben. Der letztere wird nun so weit angesteuert, bis am Ausgang der gesamten Transistorschaltung – also am Messinstrument – wieder die gleiche Spannung wie zuvor liegt. Dieser Vorgang spielt sich vollkommen trägheitslos ab, so dass eine Spannungsänderung am Ausgang nicht feststellbar ist. Der obere Transistor wirkt gewissermaßen wie ein veränderlicher Widerstand, der automatisch stets so eingeregelt wird, dass am Ausgang eine gleichbleibende Spannung entsteht.

Einen erheblich größeren Belastungsbereich erreicht man mit einer elektronischen Regelschaltung, bei der die Zenerspannung nur als sogenannte Bezugsspannung (Vergleichsspannung) benutzt wird. In Abhängigkeit von dieser Vergleichsspannung wird eine Transistorschaltung gesteuert, die ihrerseits für eine konstante Ausgangsspannung sorgt. Das Prinzip einer solchen Schaltung zeigt der nächste Versuch.

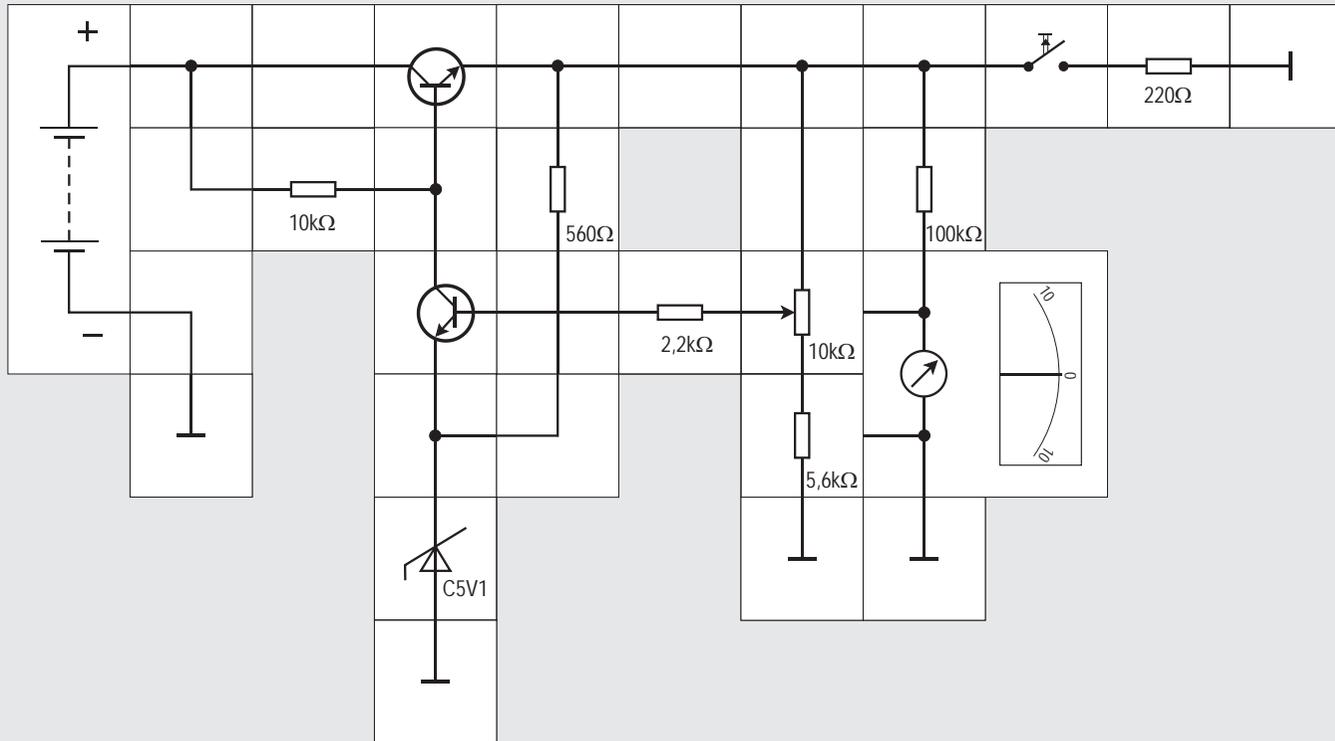


Regelung der Ausgangsspannung bei einem transistorisierten Spannungskonstanthalter

In der vorigen Schaltung wurde die Basisspannung für den unteren Transistor über den $2,2\text{ k}\Omega$ Widerstand direkt am Ausgang der Stabilisierungsschaltung abgenommen. Die Ausgangsspannung ist damit allein von der Nennspannung der Zenerdiode abhängig. Mit geringfügigen Änderungen lässt sich mit einer elektronischen Schaltung aber auch eine einstellbare Ausgangsspannung erzielen. In diesem Versuch wird auf den Spannungsteiler parallel zur Batterie verzichtet, denn dass die Ausgangsspannung unabhängig von der Eingangsspannung ist, wurde ja im letzten Versuch schon gezeigt. Der Potentiometerbaustein wird statt dessen in Reihe mit

dem $5,6\text{ k}\Omega$ Widerstand am Ausgang der Schaltung angeordnet. Die Basis des Transistors erhält nunmehr also über den Schleifer des Potentiometers und einen Schutzwiderstand von $2,2\text{ k}\Omega$ eine einstellbare Steuerspannung zugeführt. Durch Drehen am Potentiometerknopf lässt sich nunmehr die Ausgangsspannung zwischen etwa 5 V und 8 V verändern. Die jeweils eingestellte Ausgangsspannung ist dabei immer noch unabhängig von der am Eingang angelegten Betriebsspannung, wobei letztere auf jeden Fall höher als die gewünschte Ausgangsspannung sein muss.

Bereits mit dem Versuch 30 wurde eine Möglichkeit gezeigt, wie man die vorhandene Spannung – in diesem Falle die Batteriespannung – stufenlos einstellen kann. Dort lag einfach das Potentiometer parallel zur Batterie; die gewünschte Teilspannung wurde am Schleifer des Potentiometers abgenommen. Die Schaltung ist jedoch stark belastungsabhängig. Legt man bei einer eingestellten Spannung parallel zum Messkreis noch einen weiteren Widerstand als Belastung, dann ändert sich die abgegriffene Spannung beträchtlich, und zwar um so mehr, je niederohmiger der Belastungswiderstand wird. Bei der über eine elektronische Stabilisierungsschaltung eingestellten Ausgangsspannung nach Versuchsschaltbild 84 ist das jedoch nicht der Fall.

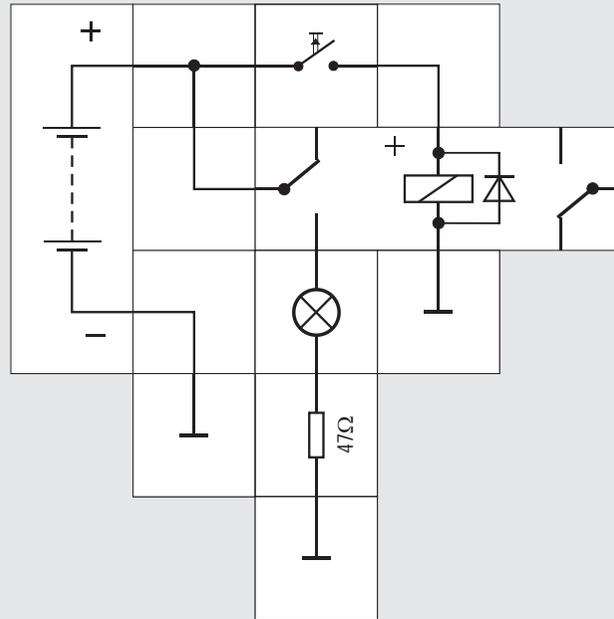


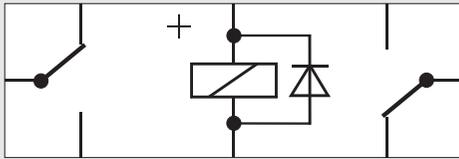


Nachweis der Belastungsunabhängigkeit eines transistorisierten Spannungskonstanthalters

Die Stabilisierungsschaltung entspricht dem Aufbau des vorigen Versuches. Parallel zum Ausgang ist jedoch über einen weiteren Abzweigungsbau- stein und einen Tastenschalter ein Belastungswi- derstand von $220\ \Omega$ angeordnet. Stellt man eine be- liebige Ausgangsspannung am Potentiometer ein, so wird man beim Drücken des Tastenschalters – also bei plötzlicher Belastung des Ausgangskreises – kaum eine Änderung der Instrumentenanzeige feststellen können. Das gilt insbesondere für Aus- gangsspannungen knapp oberhalb der Zenerspan- nung, für höhere Ausgangsspannungen wird der Re- gelbereich kleiner und damit das Regelverhalten schlechter. Elektronische Stabilisierungsschaltun- gen der untersuchten Art sind demnach unabhän- gig von der Eingangsspannung und von der Bela- stung; sie ermöglichen außerdem eine stufenlose Regelung der Ausgangsspannung. In verbesserter und leistungsfähiger Form finden derartige Stabili- sierungsschaltungen mit Transistoren ein weites An- wendungsgebiet, einmal als Stromversorgungsein- heiten für Geräte – vor allem Messgeräte – und an- dererseits als regelbare Spannungsquellen für La- borzwecke, wenn neue Schaltungen untersucht

86





Der Relaisbaustein

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 davorliegenden, 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 die Spule geschaltet wird, elektrisch getrennt sein kann. Daher können auch die Spannungen in den bei-

den Stromkreisen unterschiedlich sein. So könnte man zum Beispiel mit den Kontakten des Relais 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.

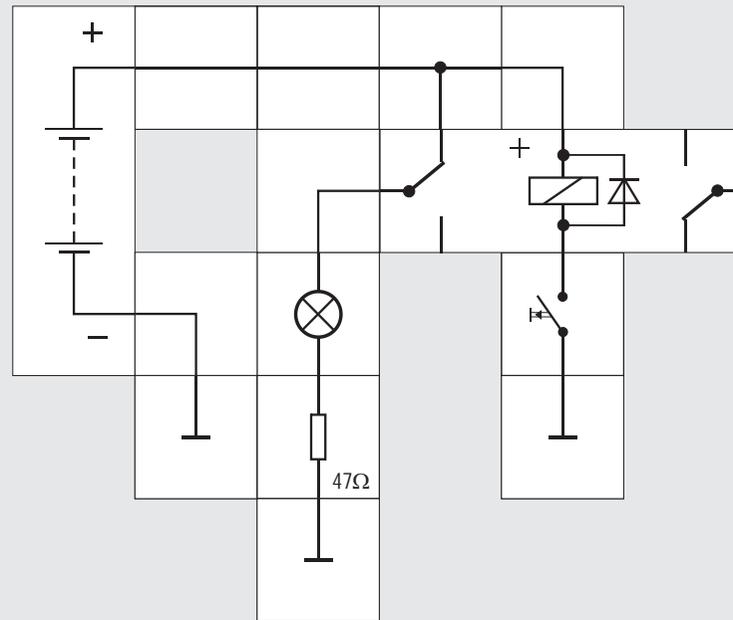
Ein Relaiskontakt kann grundsätzlich als RUHE- oder als ARBEITSKONTAKT ausgeführt sein. Der Arbeitskontakt schließt seinen Stromkreis dann, wenn die Relaispule vom Strom durchflossen wird. Der Ruhekontakt dagegen ist im stromlosen Zustand geschlossen; schließt man den Stromkreis für die Spule, dann öffnet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

lais 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 Ruhelage - also im stromlosen Zustand der Relaispule - dargestellt sind.

Hinweis: Bei älteren Ausführungen ist die parallel zur Spule liegende FREILAUFDIODE eingebaut, ohne dass es zusätzlich auf der Abdeckung vermerkt ist. Sollte das Relais wider Erwarten nicht mit einem leisen Klick anziehen, so muss der Baustein um 180° gedreht eingebaut werden. Die Aufgabe der Freilaufdiode wird beim nächsten Versuch erklärt.

Relaissteuerung mit Arbeitskontakt

Dieser Versuch zeigt zunächst die Wirkung des Arbeitskontaktes bei einem Relais. Über den Tastenschalter mit Arbeitskontakt ist die Relaispule an die Batterie angeschlossen. Der Stromkreis für die Glühlampe ist über einen Arbeitskontakt des Relais geführt. Schaltet man die Batterie ein, dann brennt die Glühlampe nicht. Beim Niederdrücken des Tastenschalters fließt über die Relaispule 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 Batterie einschaltet. 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.

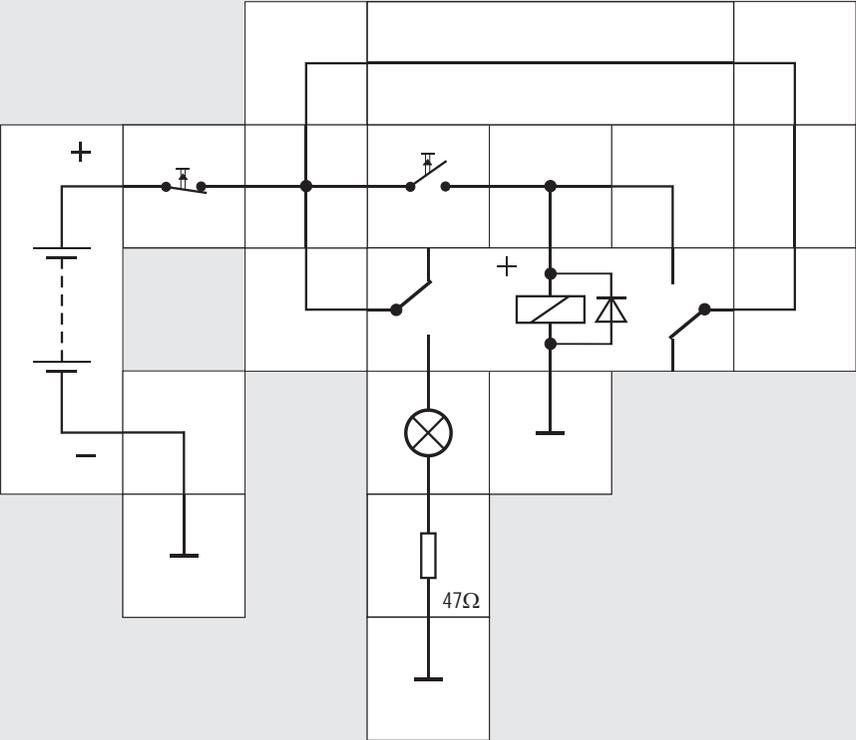
Zur Aufgabe der Freilaufdiode: Beim Anlegen einer Spannung an die Relaispule wird der Strom nicht gleich in voller Höhe fließen, sondern langsam auf seinen Endwert, der durch die Spannung und den Spulenwiderstand gegeben ist, steigen. Grund dafür ist, dass die Spule, eine INDUKTIVITÄT, bei Stromdurchfluss ein Magnetfeld aufbaut, das Ener-

gie speichert. Solange das Magnetfeld aufgebaut wird, seine Stärke also ändert, entsteht eine so genannte INDUKTIONSSPANNUNG, die der anliegende Spannung entgegen gesetzt ist und dadurch das langsame Anwachsen des Stroms bewirkt.

Wird der Stromfluss durch die Spule unterbrochen, läuft der umgekehrte Vorgang ab: Das Magnetfeld wird abgebaut und diese Änderung des Feldes erzeugt wieder eine Induktionsspannung, die so gerichtet ist, dass sie den Stromfluss weiter aufrecht erhalten will. Da der ursprüngliche Strompfad unterbrochen ist, kann der Strom diesen Weg nicht mehr nehmen. Er muss aber weiterfließen, da die in dem Magnetfeld gespeicherte Energie irgendwo bleiben muss. Die durch die Änderung des Magnetfeldes entstehende Induktionsspannung kann deswegen so hoch werden, dass der Strom am sich öffnenden Kontakt durch die Luft fließt, dabei einen Funken erzeugt, welcher den Kontakt auf Dauer schädigt. Schaltet man statt mit einem Kontakt mit einem Halbleiter, so kann die hohe Spannung diesen zerstören.

Die Freilaufdiode eröffnet diesem Strom nun einen (Aus-)Weg. Er fließt nach dem Unterbrechen seines ursprünglichen Wegs über sie und den Spulenwiderstand im Kreis, bis die Energie in Wärme umgesetzt ist.

88





Relaissteuerung mit Selbsthaltung

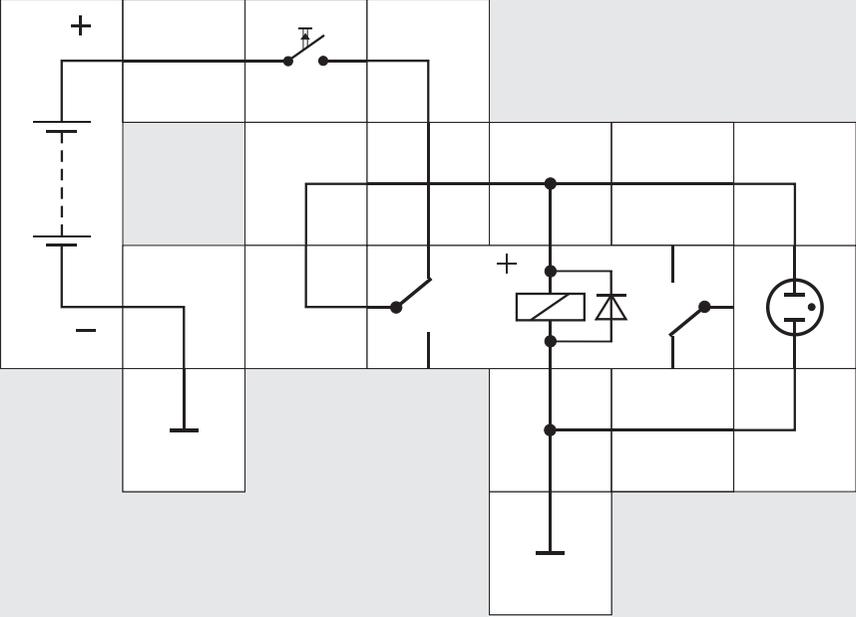
Mit Relais lassen sich nicht nur einfache Schaltaufgaben lösen, wie sie in den beiden vorigen Versuchen gezeigt wurden. Man kann durch geeignete Schaltungen beispielsweise auch eine sogenannte Selbsthaltung des Relais erreichen. Im vorliegenden Versuch wird das Relais so geschaltet, dass es beim Drücken einer Taste anzieht und dann auch angezogen bleibt, wenn man diese Taste wieder los lässt. 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 Tastschalter mit Ruhekontakt und dann über den Tastschalter 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 eingeschalteter Batterie bleibt die Schaltung zunächst 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 Maschinen - Steuerungen.





Relaissteuerung mit Unterbrecher

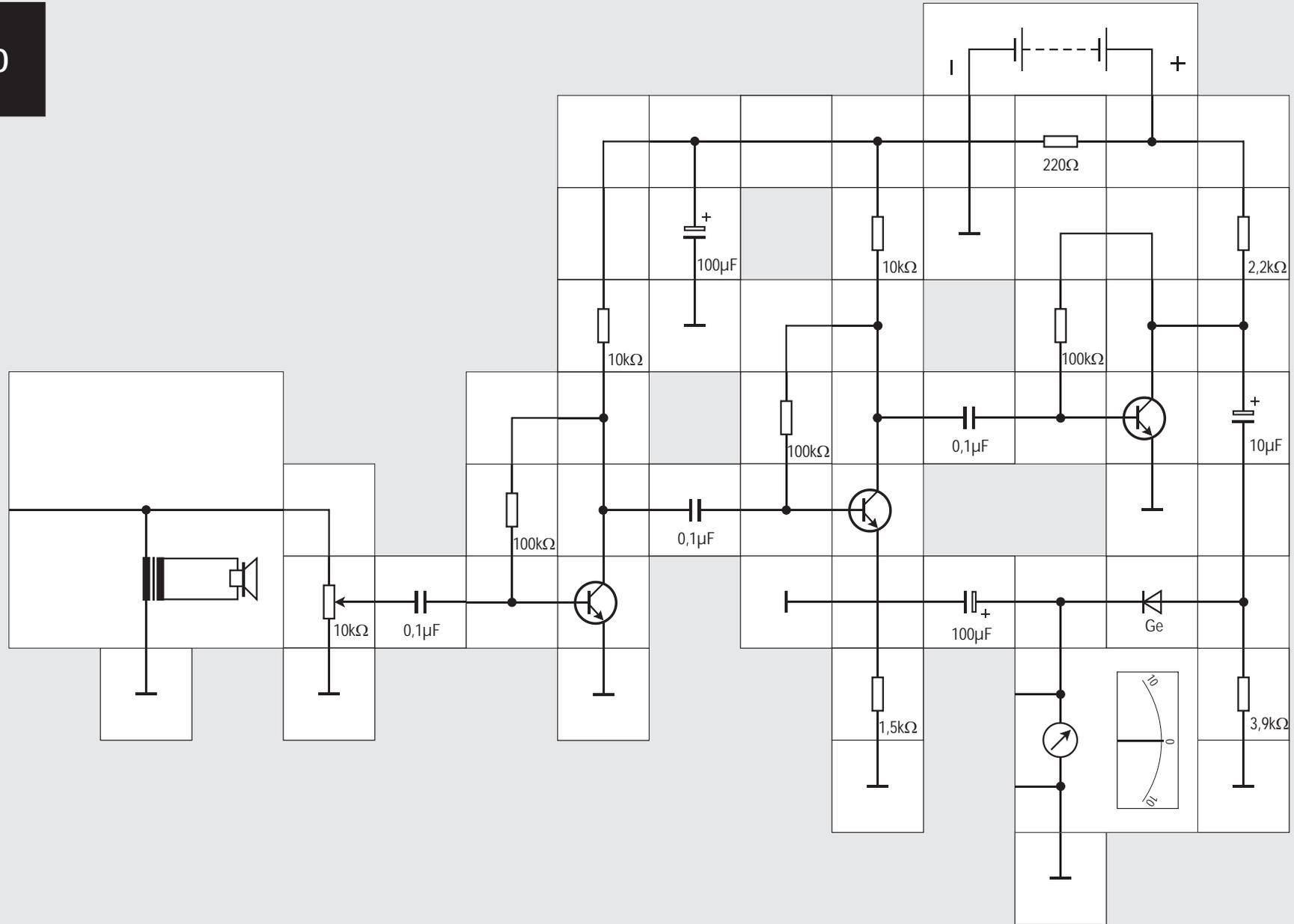
Der Schaltungsaufbau dieses Versuches ist genau umgekehrt zu dem des vorigen: Drückt man den Taster, so spricht das Relais an, öffnet dabei aber gleichzeitig seinen eigenen Erregerstromkreis. Dadurch fällt es sofort wieder ab, schließt den Stromkreis wieder, zieht wieder an, usw. Es gibt also keinen stabilen Zustand, sondern man hört den Anker summen. Der Taster sollte deswegen auch nur ganz kurz gedrückt werden, denn das Relais ist für diese Betriebsart nicht konstruiert und könnte bei länge-

rem Verweilen darin Schaden nehmen.

Beim Abschalten der Relaispule, einer Induktivität, entsteht an ihren Enden eine hohe Spannung, die so gerichtet ist, dass der Strom in der ursprünglichen Richtung weiter fließen muss. Oder anders ausgedrückt: Der Strom durch eine Induktivität kann in seiner Größe nicht springen. Wird nun – wie im Versuch – der Stromkreis mechanisch unterbrochen, so entsteht eine derart hohe Spannung, dass es zur Funkenbildung am sich öffnenden Kontakt käme, damit der Strom weiter fließt. An der parallel liegenden Glimmlampe leuchtet dabei eine Elektrode (die mit dem niedrigeren Potential); es wird also am Relaiskontakt durch diese Schaltungsmaßnahme nicht zur Funkenbildung kommen. In der Praxis vermeidet man die Funkenbildung oder die Gefährdung eines elektronischen Schalters z. B. eines ansteuernden Transistors mit der in Versuch 87 beschriebenen Freilaufdiode, durch die der Strom auf Null abklingen kann. Eigentlich dürfte die Glimmlampe gar nicht leuchten, denn die Diode verhindert ja den Aufbau einer hohen Spannung. Allerdings braucht sie dafür etwas Zeit, während der die Glimmlampe bereits anspricht.

Die vorliegende Schaltung ist im Prinzip ein WAGNERSCHER HAMMER, wie er in jeder Haustürklingel vorkommt.

90





Die Verwendung des Lautsprechers als Schallaufnehmer

Im Versuch 39 wurde der Aufbau eines Lautsprechers schon erklärt. Durch Anlegen einer Wechselspannung an die sogenannte Schwingspule wurde die Lautsprechermembran und damit die umgebende Luft in Schwingungen versetzt. Es ist nun ohne weiteres möglich, diesen Vorgang umzukehren. Führt man der Lautsprechermembran Schall-schwingungen zu, dann bewegt sie sich im Takte der Schallwellen. Dabei wird in der Schwingspule eine Spannung erzeugt. Die gewonnene Wechselspannung ist natürlich sehr gering. Will man sie messen oder etwas damit ansteuern, dann muss man sie entsprechend verstärken.

Ein Schallpegelmesser

Der Lautsprecherbaustein ist als »elektroakustischer Wandler« am Eingang der Schaltung angeordnet. Die beim Auftreffen von Schallwellen erzeugte Wechselspannung gelangt zunächst auf das

10 k Ω Potentiometer. Die am Schleifer des Potentiometers abgegriffene Spannung wird dann in zwei Transistorstufen verstärkt. Es erfolgt eine nochmalige Verstärkung durch einen weiteren Transistor. Die Auskopplung der verstärkten Wechselspannung am Kollektor der Endstufe entspricht der in früheren Versuchen aufgebauten Schaltung (Versuche 44 bis 47). Über einen Elko von 10 μ F wird die Wechselspannung von der Kollektorgleichspannung (Batteriespannung) getrennt. Nach Gleichrichtung durch die Diode erreicht sie das Anzeigeinstrument und verursacht dort einen Zeigeraus-schlag. Die Batteriespannung ist den ersten beiden Stufen über ein RC-Glied zugeführt, um Rückkopp-lungen zu vermeiden. Bei eingeschalteter Batterie wird das Instrument kräftig ausschlagen, wenn man vor dem Lautsprecher ein Geräusch erzeugt. Je stärker das Geräusch, um so weiter der Zeigeraus-schlag. Die Empfindlichkeit lässt sich dabei mit dem Potentiometer am Eingang einstellen. Mit der Schaltung 90 kann man somit genau die Schallstär-ke -der Fachmann sagt hierzu Schallpegel oder Ge-räuschpegel - an einem bestimmten Ort messen. Solche Messungen werden in der Praxis beispiels-weise notwendig, wenn der von einer Maschine er-zeugte Lärm untersucht und durch geeignete Maß-nahmen verringert werden soll.



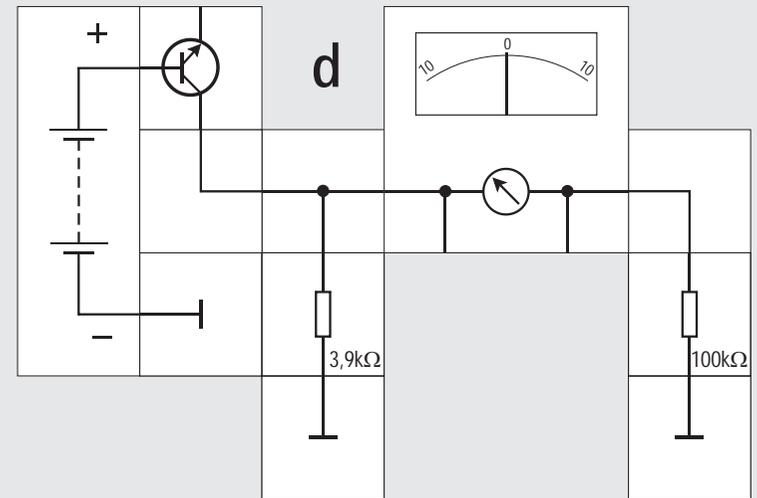
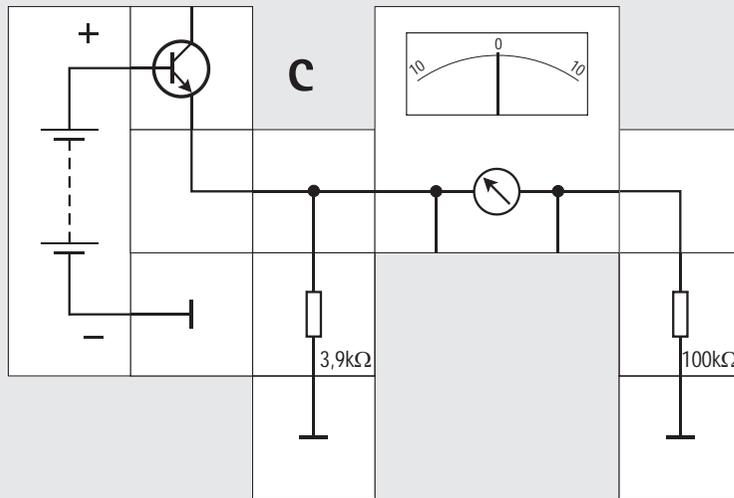
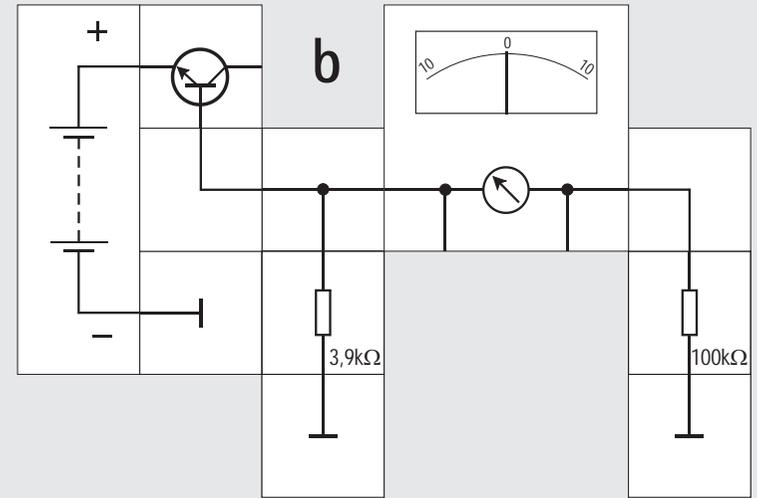
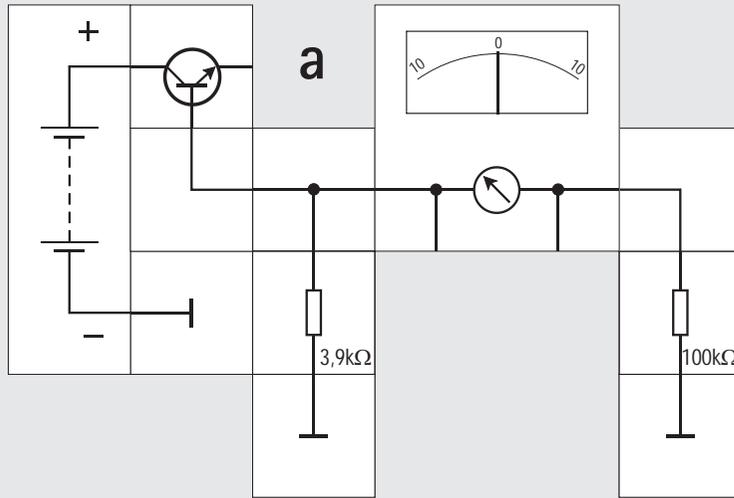
Geräuschwarnanlage mit Lichtanzeige

Bis zum dritten Transistor entspricht diese Schaltung fast genau dem Versuch 89. Der Kollektorwiderstand in der dritten Stufe beträgt hier $5,6 \text{ k}\Omega$. Über einen Elko von $100\mu\text{F}$ wird die verstärkte Wechselfspannung nun noch einem weiteren Transistor zugeführt. Der Eingang dieses letzten Transistors wird bei großen Signalen schon erheblich übersteuert, wodurch in Verbindung mit dem nach Masse führenden $10 \text{ k}\Omega$ Widerstand eine Gleichrichtung direkt im Transistor stattfindet. Der Transistor wird damit leitend und der fließende Kollektorstrom bringt die Glühlampe zum Aufleuchten. Mit dem Potentiometer am Schaltungseingang wird die Anlage zunächst im ruhigen Raum so eingestellt, dass die Glühlampe noch nicht aufleuchtet. Tritt jetzt ein Geräusch auf (Sprechen, Schritte im Zimmer und dergleichen), dann leuchtet die Lampe auf. Man kann also diese Schaltung zum Beispiel als Einbruchs-Warnanlage verwenden.

Die Prüfung der Bausteine auf richtige Funktion

Die einzelnen im Experimentierkasten enthaltenen Bauteile werden vor der Auslieferung sorgfältig geprüft. Hält man sich beim Aufbau und der Durchführung der Versuche genau an die Hinweise des Anleitungsbuches, dann können normalerweise keine Schäden an den Bausteinen auftreten. Um aber trotzdem einen möglichen Fehler feststellen zu können (der beispielsweise von einem versehentlich falschen Versuchsaufbau oder durch zu langen Betrieb bei den Grenzwerten herrühren kann), sollen im Anschluss an die eigentlichen Versuchsschaltungen noch Möglichkeiten zur Prüfung der Bausteine angegeben werden.

Die grundsätzlich richtige Arbeitsweise der Batterie lässt sich in der Versuchsschaltung 21 sehen. Brennt die Glühlampe bei eingeschalteter Batterie, dann hat diese auf jeden Fall noch eine ausreichende Spannung. Außerdem bildet dieser Aufbau gleichzeitig eine Kontrollmöglichkeit für die Glühlampe. Hat man auf diese Weise erst einmal die Funktionstüchtigkeit der Batterie erkannt, dann kann die Kontrolle auf richtige Spannung erfolgen. Hierzu dient das Versuchsschaltbild 24. Verhalten sich Batterie, Glühlampe und Anzeigeinstrument





bei den Versuchen 21 und 24 so, wie es in dem zugehörigen Text beschrieben ist, dann sind diese Bauelemente in Ordnung und können für die Prüfung der weiteren Bauelemente benutzt werden.

Besonders empfindlich gegen Überlastung und falsche Anwendung sind die Halbleiter-Bausteine. An erster Stelle steht hier wieder der Transistor. Eine ganz einfache, für die grundsätzliche Prüfung auf richtige Arbeitsweise des Transistors ausreichende Methode gewinnt man, wenn man sich den Transistor aus zwei Dioden zusammengesetzt vorstellt. In seinem Aufbau entspricht der Transistor auch tatsächlich diesem Vergleich. Die beiden Dioden werden durch die Basis-Emitter-Strecke und die Basis-Kollektor-Strecke gebildet. Man kann nun diese Dioden getrennt untersuchen, wobei sie sich wie zwei gewöhnliche Dioden entsprechend den Versuchen 36 und 37 verhalten müssen. Es muss also je eine Sperr- und eine Durchlassrichtung vorhanden sein. Man erhält so vier verschiedene Schaltungen des Transistors, die in den Schaltbildern 92a bis d dargestellt sind. Je eine Diodenstrecke des Transistors ist dabei in Sperr- oder Durchlassrichtung in einem

Stromkreis angeordnet. Die übrigbleibende Diodenstrecke bleibt dabei offen. Zur Prüfung wird das Anzeigeelement in Reihe mit einem $100\text{ k}\Omega$ Widerstand benutzt. Parallel zu diesem Messkreis liegt noch ein Nebenwiderstand von $3,9\text{ k}\Omega$ als Belastung. Schließt man den zu prüfenden Transistor nach den Schaltbildern 92a und 92b an, dann darf das Instrument keinen Ausschlag zeigen. Beim Anschluss nach den Schaltbildern 92c und 92d dagegen muss der Zeiger etwa bis zum Skalenwert 9 ausschlagen. Verhält sich der Transistor in allen vier Prüfschaltungen nach diesen Regeln, dann weiß man zwar noch nichts über die Verstärkung und sonstigen Eigenschaften des Transistors, kann aber sagen, dass er grundsätzlich in Ordnung ist. Weicht das Messergebnis in einer oder gar mehreren Schaltungen von den obengenannten Bedingungen ab, dann ist der Transistor auf jeden Fall defekt und nicht mehr zu gebrauchen.

Für die Prüfung der übrigen Bausteine des Systems kann man jeweils eine der grundlegenden Versuchsschaltungen hernehmen, wobei man zweckmäßig eine Schaltung auswählt, in der außer dem zu prüfenden Teil nur noch möglichst wenige andere Bausteine enthalten sind.

So können die Dioden in den Schaltungen 36 und 37 auf richtiges Sperr- und Durchlassverhalten kon-

trolliert werden. Für die Zenerdiode gilt das allerdings nicht. Diese prüft man am besten in der Schaltung 82 auf ihr richtiges Verhalten.

Für den Photowiderstand und den Heißleiter gelten die grundsätzlichen Versuche 59 und 60 gleichzeitig als Prüfschaltungen. Widerstände prüft man einfach nach Schaltbild 26 oder 27, wobei der zu untersuchende Widerstand an die Stelle des einen $100\text{ k}\Omega$ Widerstandes gerückt wird. Schlägt das Instrument aus, dann hat der Widerstand auf jeden Fall noch Durchgang. Das gleiche gilt für den Spulenbaustein, für den die Versuchsschaltung 35 zur Kontrolle auf gleichstrommäßigen Durchgang benutzt werden kann. Bei Kondensatoren bilden die Versuchsschaltbilder 31 bis 34 eine ausreichende Möglichkeit zur Kontrolle. Verhalten sich die Bausteine so, wie im Text angegeben, dann sind sie in Ordnung. Der Drehkondensator darf nach Schaltung 31 ebenfalls in keiner Stellung des Drehknopfes Durchgang zeigen.

Bestehen Zweifel an der einwandfreien Kontaktgabe eines Tastenschalters, so fügt man ihn am besten an irgend einer Stelle des Stromkreises in die Schaltung 21 ein. Die Lampe muss dann beim Drücken der Taste aufleuchten. Auch für fragwürdige Verbindungsbausteine kann man diese Methode anwenden.

Bauteile



Lectron

Start-System

Verbindung Gerade	7 Stück
Verbindung T - Stück	10 Stück
Verbindung Winkel	6 Stück
Verbindung Masse	9 Stück
Verbindung Kreuzung verb.	1 Stück
Verbindung Kreuzung isoliert	2 Stück
Verbindung Kreuzung isoliert 2-fach	1 Stück
Taster Arbeitskontakt	2 Stück
Widerstand 47 Ohm	1 Stück
Widerstand 220 Ohm	2 Stück
Widerstand 120 Ohm	1 Stück
Widerstand 560 Ohm	1 Stück
Widerstand 1,5 kOhm	1 Stück
Widerstand 2,2 kOhm	1 Stück
Widerstand 3,9 kOhm	1 Stück
Widerstand 4,7 kOhm	1 Stück
Widerstand 5,6 kOhm	1 Stück
Widerstand 10 kOhm	1 Stück
Widerstand 100 kOhm	3 Stück
Potentiometer 10 kOhm	1 Stück
Kondensator 47nF	1 Stück
Kondensator 0,1µF	3 Stück
Elektrolyt-Kondensator. 10µF	2 Stück
Elektrolyt-Kondensator 100µF	2 Stück
Heißleiter	1 Stück
Photowiderstand	1 Stück

Transistor npn 2N3704 rechts	1 Stück
Transistor npn 2N3704 links	2 Stück
Steckbuchse	1 Stück
Glühlampenbaustein mit Birne	1 Stück
HF-Diode Germanium	1 Stück
HF-Drossel	1 Stück
Drehspulmessgerät	1 Stück
Lautsprecher	1 Stück
Normbuchse	1 Stück
Batteriebaustein zweipolig	1 Stück
Anleitung »Start- und Ausbau-System«	1 Stück
Zubehör	

Ausbau-System

Verbindung Gerade	1 Stück
Verbindung T - Stück	4 Stück
Verbindung Winkel	3 Stück
Verbindung Masse	1 Stück
Verbindung Gerade 3-fach	1 Stück
Taster Ruhekontakt	1 Stück
Widerstand 1,5 kOhm	1 Stück
Widerstand 10 kOhm	1 Stück
Widerstand 2,2 MOhm	1 Stück
Potentiometer 250 kOhm	1 Stück
Kondensator 0,47µF	1 Stück
Transistor npn 2N3704 links	1 Stück
Steckbuchse	1 Stück
Glimmlampe	1 Stück
Hochspannungstransformator	1 Stück
Hochspannungsdiode	1 Stück
Zenerdiode 5,1V	1 Stück
Drehkondensator	1 Stück
Ferritantenne	1 Stück
Relais	1 Stück
Netzgerät 1,25 - 12 V = stab. 12 V ~	1 Stück
Zubehör	

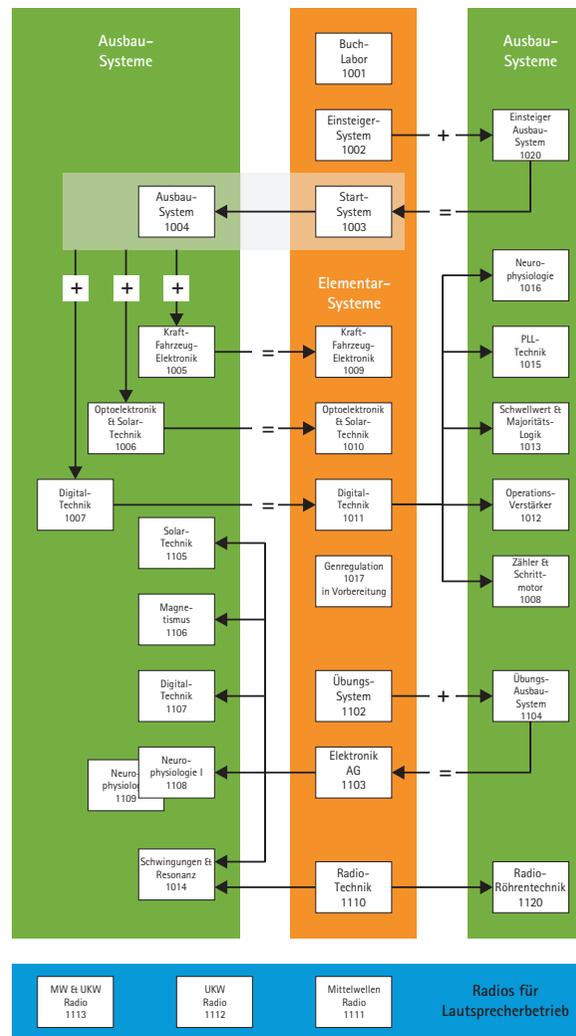
Mit den gewonnenen Erkenntnissen zu neuen Experimenten

Die Schaltung 91 zeigt den letzten in diesem Experimentierbuch beschriebenen Versuch. Sämtliche im Grundkasten und in dem Aufbaukasten enthaltenen Bausteine sind verwendet und in ihrer Wirkungsweise erklärt worden.

Wer alle Versuche durchgeführt und den dazu gehörigen Text aufmerksam gelesen hat, für den wird der Begriff »Elektronik« jetzt sicher kein Geheimnis mehr sein. Mit etwas Überlegung lassen sich mit den vorhandenen Bausteinen durch Verändern der Schaltungen noch eine ganze Reihe anderer Versuche aufbauen.

Neben den beiden LECTRON »Elektronik«-Kästen gibt es weitere Experimentierbaukästen, mit denen noch kompliziertere Schaltungen aus der Kfz-Elektronik, der Optoelektronik und Solartechnik sowie der Digitaltechnik leicht und verständlich nachgebaut werden können (s. Übersicht).

Wenn Sie Informationen hierüber wünschen, schreiben Sie bitte an Reha Werkstatt Oberrad LECTRON, Buchrainstr. 18, 60599 Frankfurt am Main oder besuchen Sie unsere Internetseite www.lectron.de.



Anhang A Blinkschaltungen

Auf den folgenden Seiten werden vier verschiedene Blinkschaltungen vorgestellt, die besonders interessante Eigenschaften haben. Zu ihrem Aufbau sind teilweise zusätzliche Bauteile erforderlich, die nicht in diesem Kasten enthalten sind und durch Zukauf erworben werden müssen. Deswegen sind die Versuchsaufbauten im Anhang aufgeführt.



Lectron

Der ewige Blinker

Burkhard Kainka ist ein leidenschaftlicher Elektronik-Bastler und Autor einiger KOSMOS – Experimentierkästen. Auf seiner Internetseite gibt es eine Bastellecke, auf der er seine »Kreationen« vorstellt:

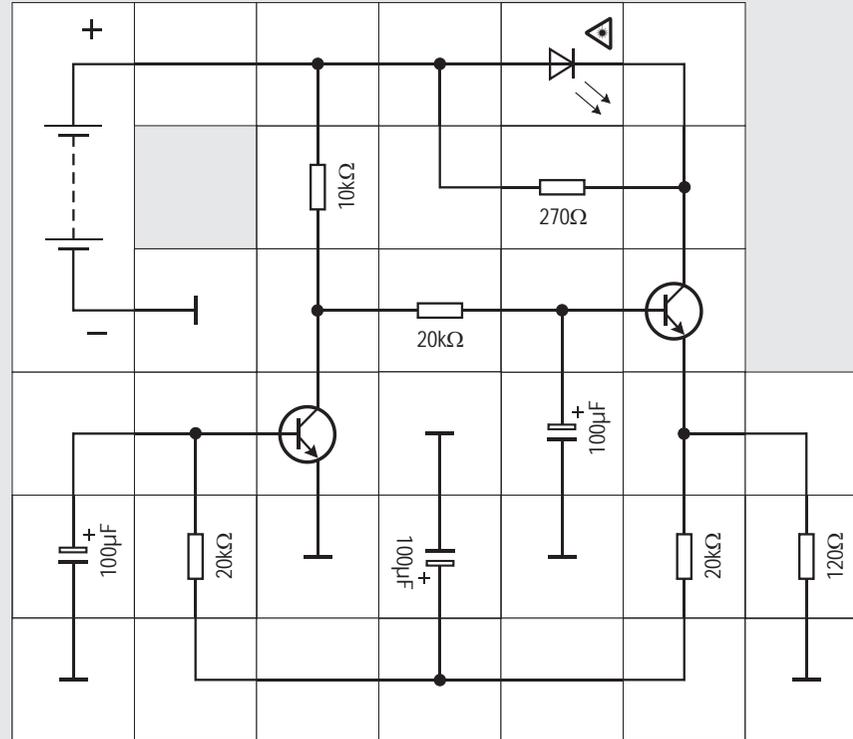
<http://www.b-kainka.de/bastelo.htm>

Eine Reihe von Schaltungen lässt sich leicht mit Lectron-Bauteilen nachbauen. So auch Nr. 59 »Der ewige Blinker«.

Bemerkenswert ist an dieser Blinkschaltung, dass sie mit einer recht kleinen Versorgungsspannung von weniger als 3V auskommt. In unserem Aufbau wird sie von drei Solarzellen über einen Goldkondensator als Speicher gespeist. Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten symmetrischen astabilen Blinkschaltungen ist diese unsymmetrisch mit einem npn- und einem pnp- Transistor aufgebaut. Das führt dazu, dass sich der 100 μ F Kondensator mit einem sehr kleinen Ladestrom über eine lange Zeit auflädt und – wenn die Schwelle der Kippschaltung aus den beiden erwähnten Transistoren erreicht ist – sich schlagartig über die Leuchtdiode entlädt. Interessant ist dabei, dass diese eine höhere Flussspannung haben kann als die Versorgungsspannung, da sich beim Entladen des Kondensators Versorgungsspannung und Kondensatorspannung addieren. In unserem Aufbau benutzen wir eine blaue Leuchtdiode mit 3V Flussspannung.

Der Versuchsaufbau kann so abgeändert werden, dass man die Solarzellen mit Diode und Goldkondensator entfernt und durch das Netzgerät ersetzt, dessen Ausgangsspannung auf weniger als 3V eingestellt wurde. Der dritte Transistor (rechts oben im Aufbau) dient zum sicheren Anschwingen der Schaltung. Weitere Einzelheiten und Verbesserungen sind auf der Internetseite zu finden.

A2



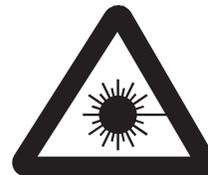


Der weiche Blinker

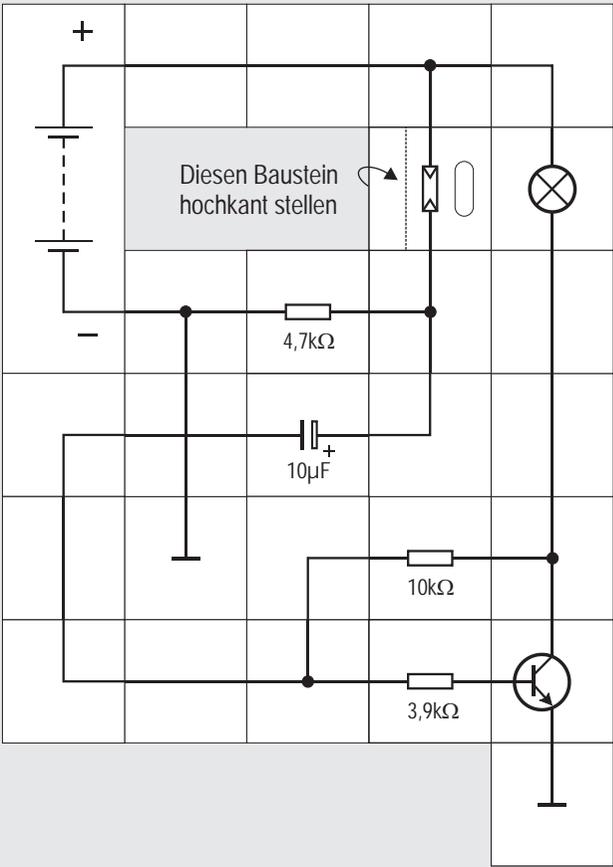
Eine weitere Schaltung von der Bastecke ist der weiche Blinker (Nr.108). Mittels eines Phasenschieber-Oszillators mit den drei RC - Gliedern $20\text{k}\Omega / 100\mu\text{F}$ erreicht es B. Kainka, dass die Schaltung ein sinusförmiges Ausgangssignal abgibt, welches die Leuchtdiode nicht hart, sondern weich ein- und ausschaltet.

Die drei RC - Glieder bewirken eine Gesamtphasenverschiebung des Ausgangssignals um 180° ; zusammen mit der aus der linken Transistor-Stufe herührenden Signalinvertierung (die rechte invertiert nicht) ergeben sich 360° Phasenverschiebung. Die Schwingbedingung ist also erfüllt. Dieses Signal vom Emitter der rechten Stufe wird als Eingangssignal dem linken Transistor wieder zugeführt; die kleinste Störung führt dazu, dass ein Schwingvorgang zustande kommt.

Vorsicht! Als Leuchtdiode wird im Lectron Aufbau ein superheller Typ eingesetzt; um Augenschäden zu vermeiden darf man auf keinen Fall direkt in den Strahl dieser Leuchtdiode schauen.



A3





Ein einfacher Blinker

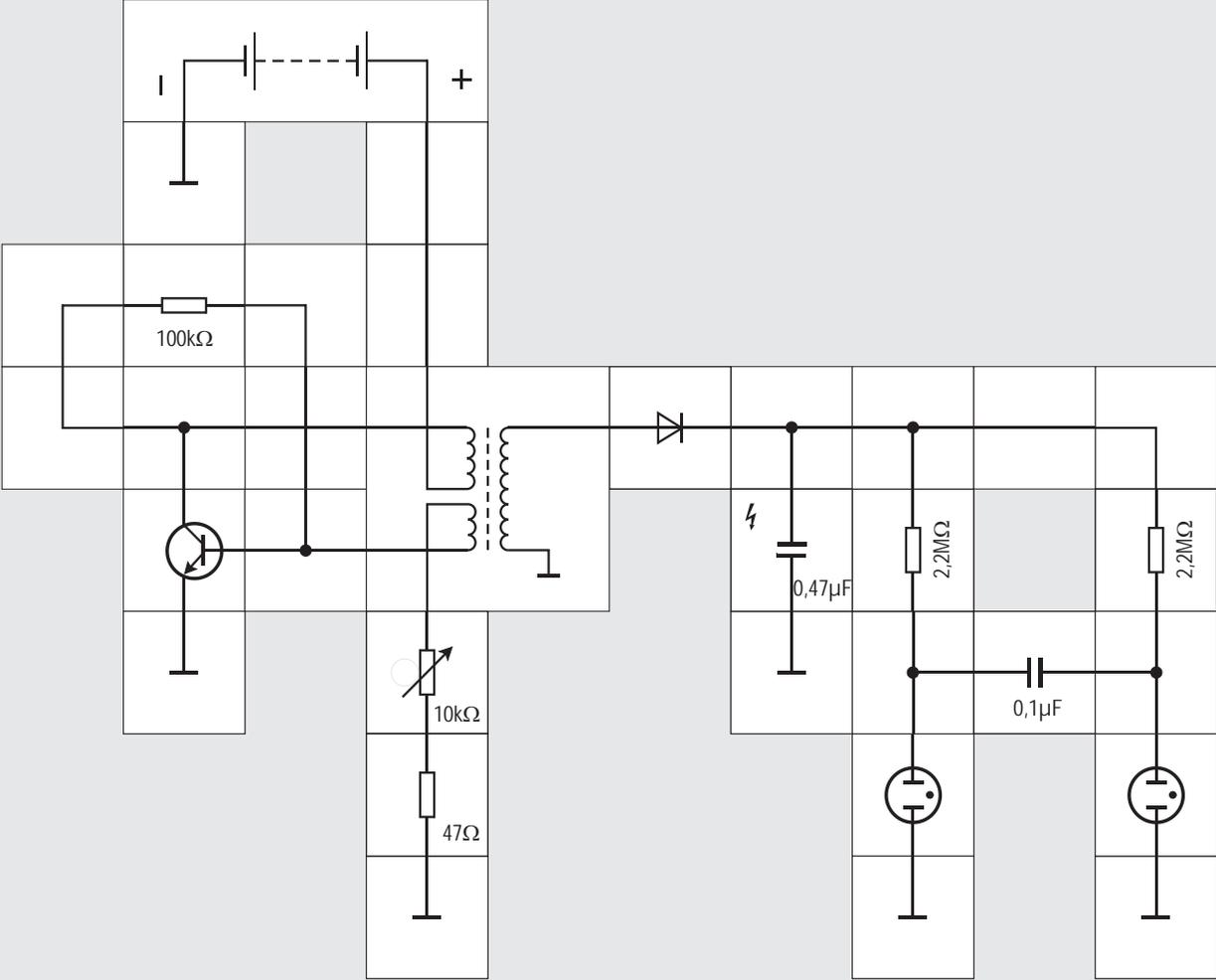
Ein astabiler Multivibrator lässt sich auch mit einem einzigen Transistor und einem Kondensator aufbauen. Damit er schwingt, benötigt er eine (in diesem Fall optische) Rückkopplung, die aus der Glühlampe und dem Photowiderstand besteht. Wenn der Photowiderstand Licht empfängt, wird er niederohmig und verändert die Teilerspannung zu

höheren Potentialwerten, wodurch der Kondensator nachgeladen wird, was auf eine Vergrößerung des Basisstroms hinausläuft. Damit leitet auch der Transistor besser und die Glühlampe wird heller. Irgendwann hat sich die Kondensatorspannung auf die neuen Potentialverhältnisse eingestellt und es fließt kein Strom mehr durch den Kondensator; der Basisstrom wird wieder kleiner und die Lampe etwas dunkler, was zu einem gegenläufigen Vorgang führt. Hat die Kondensatorspannung ihren neuen Endwert erreicht, kann der Basisstrom wieder etwas größer werden und der Vorgang von Neuem beginnen.

Im Gegensatz zu den bisherigen Kippschaltungen ist der Transistor nie ganz gesperrt oder gut durchgeschaltet, sondern arbeitet im aktiven Bereich.

Bei dem Versuch muss auf eine passende Umgebungshelligkeit geachtet werden (ausprobieren!); außerdem muss dafür gesorgt werden, dass genügend Licht der Glühlampe auf die Öffnung des Photowiderstands fällt: Entweder stellt man sein Kästchen um 90° gedreht hochkant auf die Grundplatte oder man hält ein Stück weißes Papier waagrecht über die beiden Bausteine. Die Reflexion des Papiers reicht bereit aus, den Photowiderstand ausreichend zu belichten und das Blinken in Gang zu setzen. Entfernt man das Papier, hört das Blinken auf.

A4





Blinker mit zwei Glimmlampen

In seinem Buch »Number Crunching« beschreibt der Autor Paul J. Nahin *) eine blinkende Weihnachtsbaumbeleuchtung aus den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in den USA, deren Grundelement aus zwei Glimmlampen und einem Kondensator besteht.

Sie wurde mit relativ hoher Gleichspannung betrieben; für den Nachbau kann man sie aus dem Aufbau des Versuchs 79 leicht gewinnen. Am $0,47\mu\text{F}$ Ladekondensator steht sie zur Verfügung und kann den folgenden Schaltungsteil versorgen.

Nach Anlegen der Versorgungsspannung sieht man, dass die Glimmlampen abwechselnd leuchten. Wie kommt das Blinken zustande?

Nach Einschalten des »Hochspannungsgenerators« steigt am Ladekondensator die Spannung. Sie liegt über die beiden $2,2\text{M}\Omega$ Widerstände sowohl an den beiden Glimmlampen als auch an beiden Anschlüssen des $0,1\mu\text{F}$ Kondensators; der Kondensator ist deswegen ungeladen. Irgendwann ist die Ladekondensatorspannung so hoch, dass eine Glimmlampe zündet. Selbst wenn man zwei Glimmlampen mit gleichen Daten einsetzt, werden die Zündspannungen von beiden nie exakt gleich groß sein; eine zündet zu-

erst (z. B. die linke), was dazu führt, dass an ihrer oberen Elektrode die Spannung vom Zündspannungswert (z. B. 90V) auf den Brennspannungswert (z. B. 50V) absinkt. Hier wird sie festgehalten, solange die Glimmlampe leuchtet. Diese Spannungsabsenkung wird über den Kondensator übertragen, so dass zunächst auch an der anderen (rechten) Lampe 50V liegen. Da diese aber nicht leuchtet, kann sich der Kondensator über den dazugehörigen rechten Vorwiderstand langsam laden, wobei das Potential seines rechten Anschlusses auf 90V steigt und die rechte Lampe auch zündet. Hier passiert das Gleiche: Die Spannung an ihrer oberen Elektrode springt von 90V (Zündspannung) auf 50V (Brennspannung) und dieser Spannungssprung überträgt sich über den Kondensator auf die obere Elektrode der linken Glimmlampe; als Folge davon wird deren Löschspannung unterschritten und sie erlischt. Nun wird die obere Elektrode der linken Glimmlampe potentialmäßig nicht mehr festgehalten im Gegensatz zur leuchtenden rechten Lampe und der Kondensator lädt sich über den linken Vorwiderstand um, bis die linke Glimmlampe wieder zündet und das Spiel von Neuem beginnt.

*) Paul J. Nahin, »Number Crunching«,
2011 Princeton University Press, Princeton, New Jersey 08540
ISBN 978-0-691-14425-2



Anhang B

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:

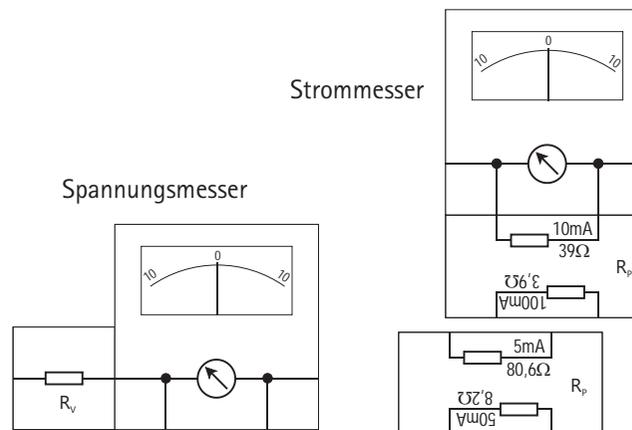
$$U_{\text{ges}} = 0,4\text{ V} + 100\mu\text{A} \cdot R_v$$

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)



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.

Autoren:
Georg Greger
Joachim Schubert

Vollständig überarbeitet
von
Gerd Kopperschmidt

Herausgeber
Reha Werkstatt Oberrad
Lectron 2012
Buchrainstr. 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