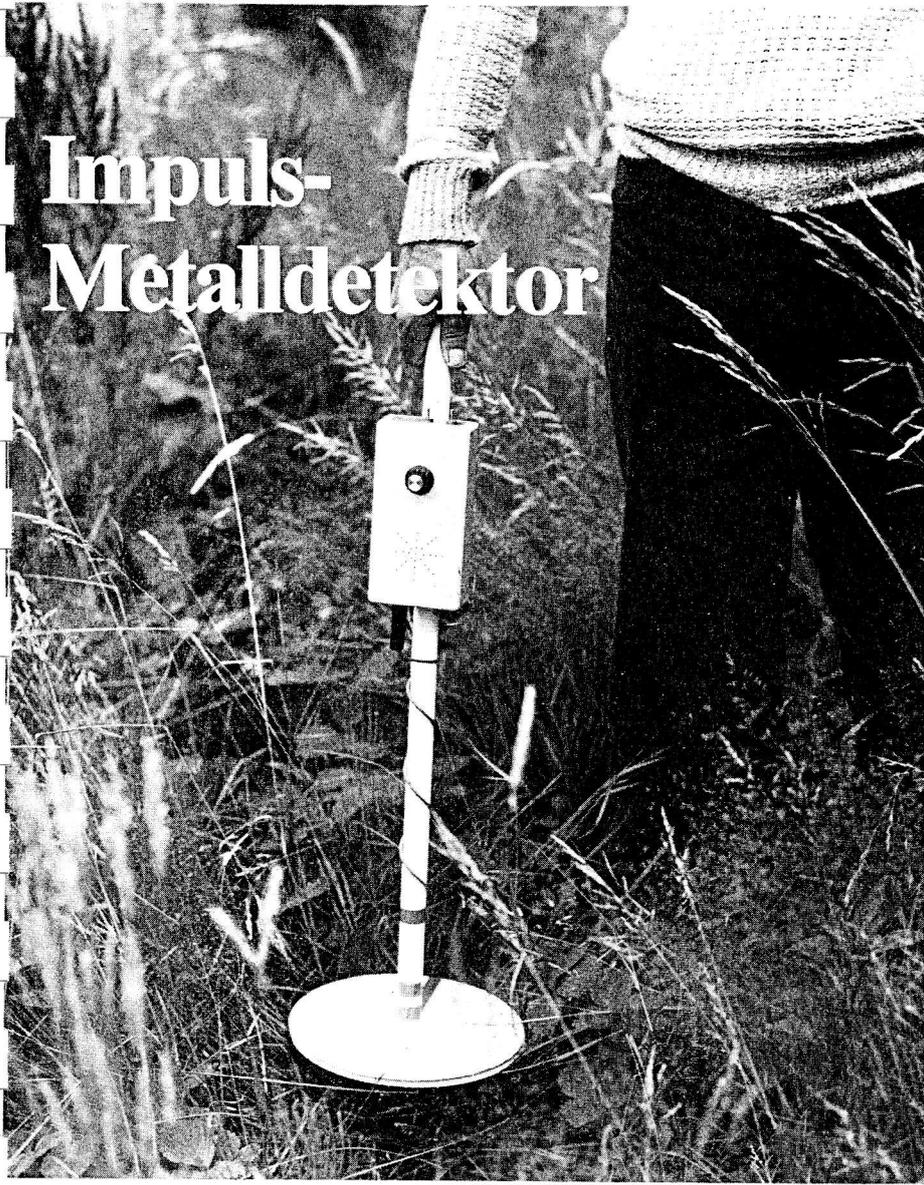


Impuls- Metalldetektor



Für die Suche nach Goldmünzen und Alteisen ...

Die Funktionsweise eines gepulsten Metalldetektors ist leicht zu verstehen: Ein starker Stromimpuls wird für kurze Zeit durch eine Spule geschickt. Dieser Impuls erzeugt im Bereich der Induktivität ein Magnetfeld, das seinerseits in metallischen Objekten kleine elektrische Ströme (Wirbelströme) verursacht. Diese Wirbelströme verschwinden nicht sofort nach Abschalten des Stromimpulses. In der anschließenden Empfangsphase arbeitet die Spule wie eine Antenne und detektiert die von den Wirbelströmen erzeugten Magnetfelder.

Die in der Spule induzierten Signale sind sehr klein und müssen daher in einem empfindlichen Empfänger verstärkt und für die Anzeige aufbereitet werden, die über ein Meßwerk oder akustisch als 'Klicken' eines Lautsprechers erfolgen kann.

Aber nun zum Gerät!

Der Metalldetektor

Es ist vielleicht sinnvoll, die beiden Suchspulen bereits jetzt aufzubauen, weil Sie Ihnen im Verlauf des weiteren Gerätebaus zu Prüfzwecken hilfreich sein können. Zwingend notwendig ist das allerdings nicht.

Bild 1 zeigt Ihnen, wie die Komponenten des gepulsten Metalldetektors angeordnet sind. Der Impulsgenerator besitzt einen 'Schalter', der 100mal pro Sekunde betätigt wird. Ist der Schalter geschlossen, wird die Suchspule mit der Batterie verbunden, und es fließt für kurze Zeit ein Strom von ca. 2 A durch die Spule. Dieser Stromimpuls erzeugt im Bereich der Spule ein magnetisches Feld, das aufgrund seiner zeitlichen Änderung sogenannte Wirbelströme in nahegelegenen metallischen Objekten verursacht.

Wird die Spule als Antenne betrieben (der 'Schalter' im Generator ist dann offen), werden in ihr Signale induziert, die von den schwachen, ebenfalls zeitlich veränderlichen Magnetfeldern der Wirbelströme verursacht werden. Diese sehr kleinen Signale werden in unserem Gerät um den Faktor 3000 verstärkt und gelangen dann auf die Detektorschaltung.

Die Zeitschaltung legt einerseits das 'Zeitfenster' fest, in dem die Suchspule einen Stromimpuls erhält, und bestimmt andererseits die Verzögerungszeit zwischen dem Ende des Stromimpulses und der Aktivierung der Detektorschaltung.

Der Ausgang des Detektors liegt auf 0 Volt, wenn kein Metall in der Nähe der Suchspule ist. Wird beispielsweise eine Münze in den Detektionsbereich der Spule gebracht, dann tritt am Detektorausgang eine von 0 Volt abweichende Spannung auf. Die Spannung kann, und das ist der häufigste Fall, zur Ansteuerung eines Meßwerkes verwendet werden. Andererseits muß man

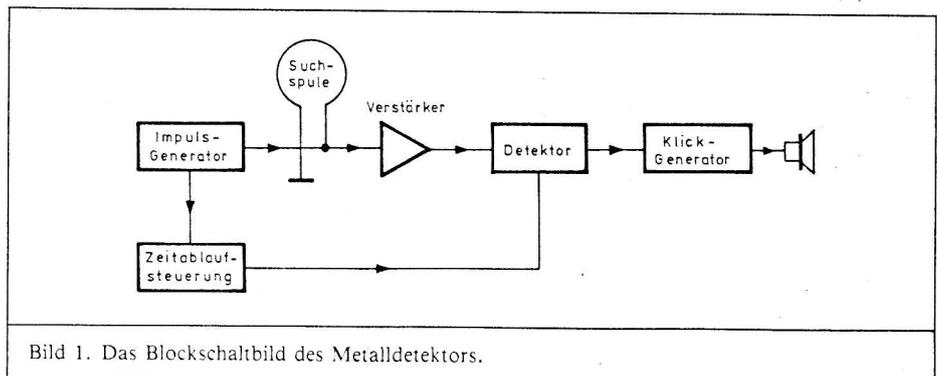


Bild 1. Das Blockschaltbild des Metalldetektors.

beim Metallsuchen draußen in der Landschaft auch darauf achten, wohin man tritt, so daß die Anzeige nicht ständig beobachtet werden kann. Dann ist eine zusätzliche akustische Information sehr hilfreich. Dazu wird das Ausgangssignal des Detektors auf einen 'Klick'-Oszillator geleitet, der ein getaktetes, akustisches Signal erzeugt, wenn die Suchspule in die Nähe von Metall kommt. Ist kein Metall in der Nähe, erzeugt der 'Klick'-Generator entweder kein Signal oder eines mit ganz niedriger Taktrate, z. B. mit einem 'Klick' pro Sekunde. Der schnelle Anstieg der 'Klick'-Rate weist unüberhörbar auf die Anwesenheit von Metall hin.

Die Meß- und Auswerteschaltung selbst muß im Mikrosekundenbereich arbeiten, weil die Wirbelströme in Metallen nach Abschalten der Erregung nur einige 10 µs lang aufrechterhalten werden. In einer mittelgroßen Kupfermünze beispielsweise können diese Ströme noch Hunderte von Mikrosekunden nach Ende des erregenden Stromimpulses festgestellt werden. Beim Kronkorken einer Bierflasche sind es nur noch ca. 100 µs, und kleine Stückchen Silberpapier sind elektromagnetisch nach ca. 50 µs ruhig.

Im hier beschriebenen Gerät ist die Dauer des 2-A-Strompulses auf 165 µs festgelegt. Mit einer Verzögerung von 50 µs wird der Detektor für die Zeit von 50 µs aktiviert. Für Spezialfälle kann es interessant sein, das Zeitfen-

ster des Detektors zum Beispiel auf 90 µs zu verlängern; das wird durch Betätigung eines Schalters erreicht.

Der Impulsgenerator

Der Impulsgenerator hat die Aufgabe, hundertmal pro Sekunde einen Stromimpuls von 2 A durch die Suchspule zu schicken. Das wird erreicht, wenn alle 10 Millisekunden ein Puls auftritt. Der Kondensator C2 wird über R1 aufgeladen. Nach 10 ms erreicht die Spannung an C2 die Schaltschwelle des Unijunctiontransistors T1. Er beginnt schlagartig zu leiten und erzeugt so einen sehr kurzen negativen Impuls an seinem Anschluß b2. Mit diesen scharfen Impulsen wird der Zeitgeberbaustein 555 (IC1) einhundertmal pro Sekunde getriggert, und er erzeugt an seinem Ausgang daher in einer Sekunde einhundert Impulse mit je 165 µs Dauer.

Die Bauteile R3 und C4 legen die Impulsdauer fest.

Das am Anschluß 3 von IC1 zur Verfügung stehende Signal wird auf die Basis des Leistungstransistors T2 geleitet. Mit dem Auftreten eines Impulses wird seine Kollektor-Emitterstrecke leitend, so daß für jeweils 165 µs die Batteriespannung an der Suchspule anliegt.

Die Induktivität der Suchspule verhindert eine sprunghafte Stromänderung. Erst nach ca. 165 µs hat der Strom durch die Spule seinen Endwert von ca. 2 A erreicht. Die innerhalb von

165 µs an die Spule gelieferte Energie bleibt in ihr erhalten, auch wenn T2 nach 165 µs wieder sperrt. Induktivitäten 'versuchen' in diesem Fall (durch Erzeugung einer sehr hohen, impulsartig auftretenden Gegenspannung) den Stromfluß in der ursprünglichen Richtung aufrechtzuerhalten. Der Spitzenwert dieser Gegenspannung beträgt hier ca. 130 V.

Parallel zur Suchspule ist ein Widerstand R5 geschaltet. Er arbeitet als Dämpfungswiderstand und ist in seiner Dimensionierung abhängig von der Geometrie der Spule, ihrer Windungszahl und ihrem Drahtwiderstand.

Eine Spule mit 20 cm Durchmesser und 24 Windungen gelacktem Kupferdraht, Ø 0,5 mm, benötigt beispielsweise für einen einwandfreien Betrieb des Gerätes einen Dämpfungswiderstand von 180 Ohm. Dieser Wert gilt auch für die zweite, kleinere Suchspule mit ca. 5 cm Durchmesser und 48 Windungen CuL, Ø 0,4 mm. Sie wird zur präzisen Lokalisierung eingesetzt.

In Bild 4a ist dargestellt, was bei zu großem Dämpfungswiderstand passiert: An der Suchspule treten nach Beendigung des 2-A-Strompulses unerwünschte gedämpfte Schwingungen auf. Bild 4b zeigt das Spulensignal bei zu kleinem Widerstand R5: die Spule ist überkritisch gedämpft, so daß zwar keine Oszillation, dafür aber ein recht lang andauernder exponentieller Abfall des Gegenspannungsimpulses auftritt.

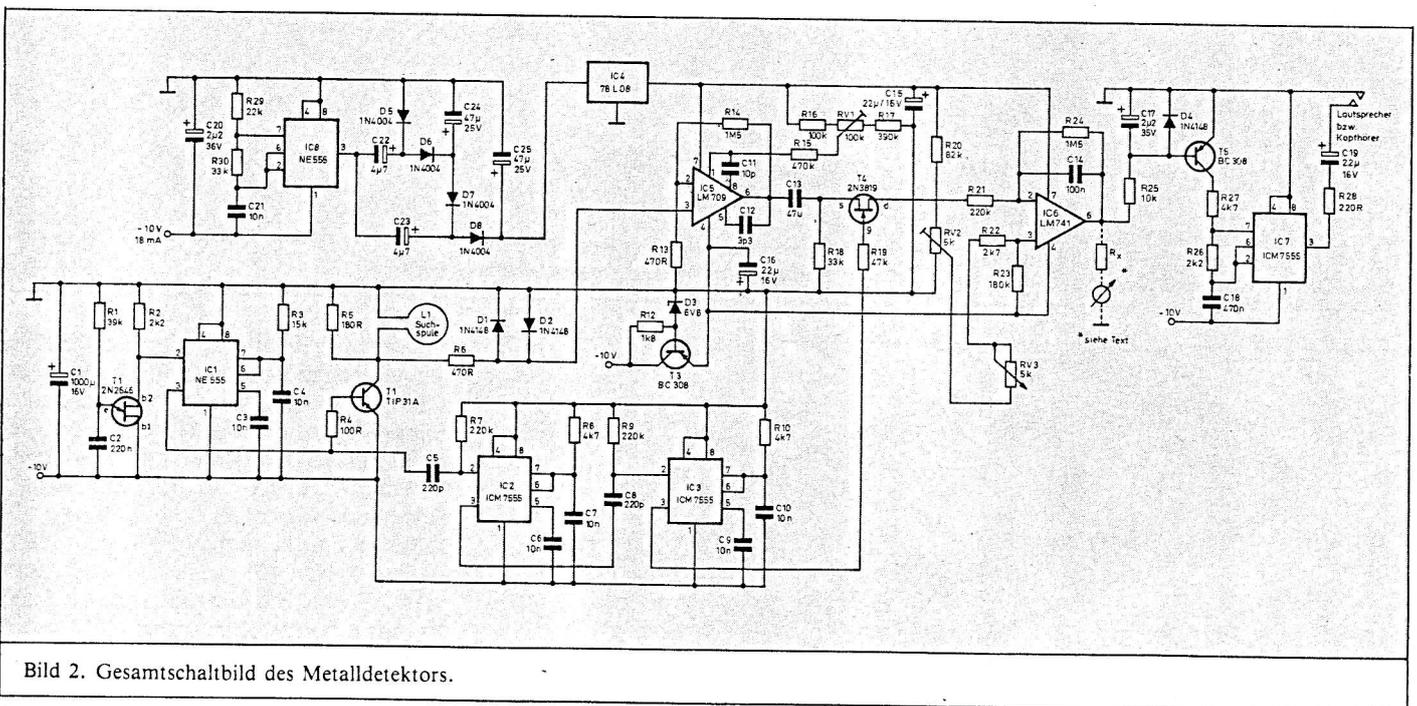


Bild 2. Gesamtschaltbild des Metalldetektors.

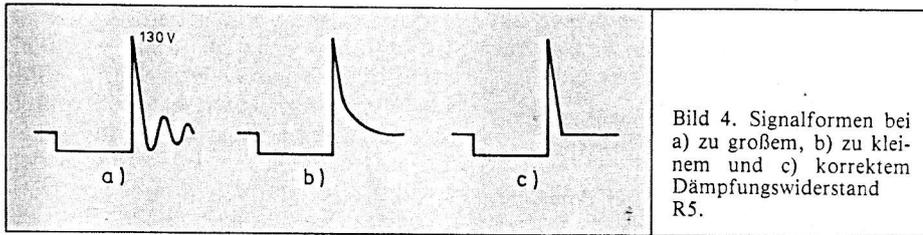


Bild 4. Signalformen bei a) zu großem, b) zu kleinem und c) korrektem Dämpfungswiderstand R5.

Bild 4c zeigt das Signal bei korrekter, d. h. kritischer Dämpfung. Dann fällt der 130-V-Impuls maximal schnell auf 0 Volt ab.

Die Schaltung wird direkt aus Batterien gespeist. Der Pluspol des Batteriesatzes liegt in diesem Gerät auf Masse, so daß es mit einer negativen Spannung von 10 V arbeitet. Das ist notwendig, um den oberen Anschluß der Suchspule auf einem Potential von 0 Volt betreiben zu können.

Die Bauteile R6, D1 und D2 spielen bei der Erzeugung des Stromimpulses keine Rolle, sondern bilden einen Begrenzer, der den hohen Gegenspannungsimpuls vom Eingang des Empfängers fernhält.

Nach dem Ende des 2-A-Stromimpulses wird der Empfänger über R6 an die Suchspule gelegt. Sie arbeitet jetzt als Antenne und soll Signale liefern, die von Wirbelströmen in Metallteilen hervorgerufen werden.

Bild 5 zeigt die am Verbindungspunkt von R6 und D2 auftretenden Signalverläufe für den Fall, daß sich a) kein Metall, b) ein großes Stück Kupfer, z. B. in Form eines Kupferkessels, in

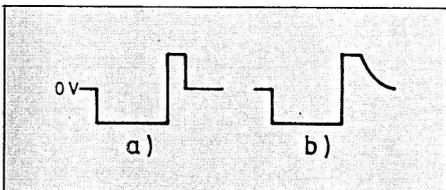


Bild 5. Signalverläufe am Verbindungspunkt von R6 und D2, wenn a) kein Metall, b) Metall in der Nähe der Suchspule ist.

der Nähe der Suchspule befindet. Die unter a) dargestellte Signalform wird vollständig vom Gerät selbst erzeugt und kann daher als 'Systemfunktion' bezeichnet werden. Der unter b) auftretende Spannungsverlauf ist demgegenüber verändert: Die Spannung klingt erst nach einiger Zeit auf 0 Volt ab. Der abklingende Teil des Signales wird in diesem Fall vom Kupferkessel hervorgerufen. Das von kleinen Silberpapierstückchen und nasser Erde ver-

ursache extrem schnelle Abklingen soll nicht in der Auswertung berücksichtigt werden. Es wird daher für eine um 50 µs verzögerte Einschaltung des Empfängers unterdrückt.

Die Zeitablauf-Steuerung

Die Aufgabe der Zeitschaltung ist es, den Detektor um 50 µs verzögert gegenüber dem Ende des 2-A-Pulses einzuschalten, und ihn nach einer bestimmten Zeit, die zur sicheren Erkennung von Münzen ausreicht, wieder abzuschalten.

In Bild 6 sind die zugehörigen Signalverläufe dargestellt.

Das vom Impulsgenerator IC1 an Anschluß 3 gelieferte Signal gelangt auf die mit C5 und R7 aufgebaute diffe-

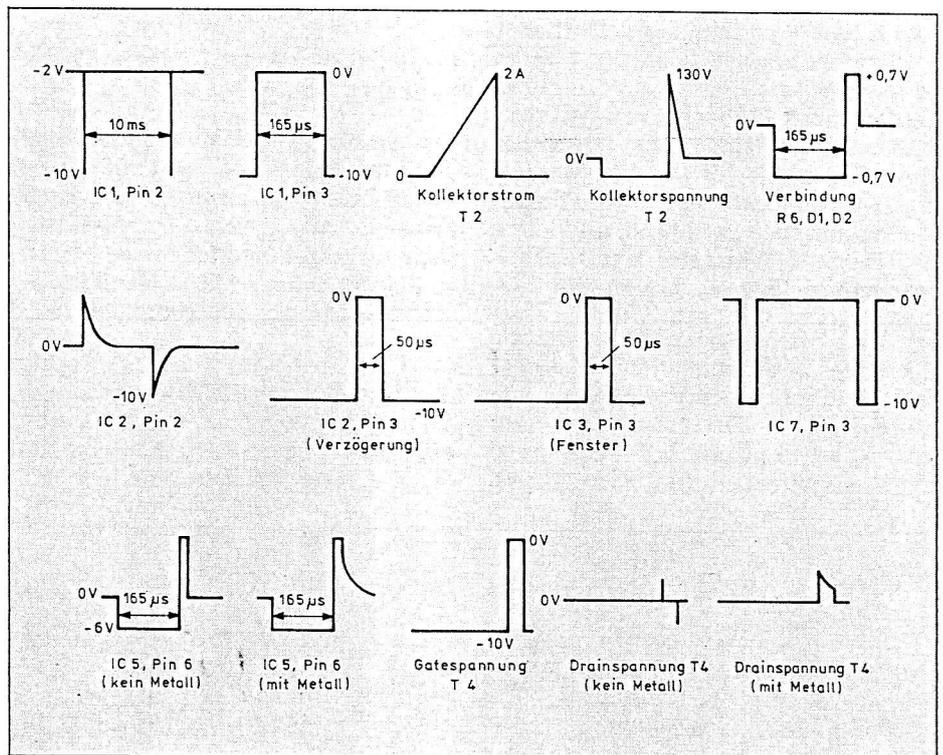


Bild 6. Spannungsverläufe an einigen Schaltungspunkten.

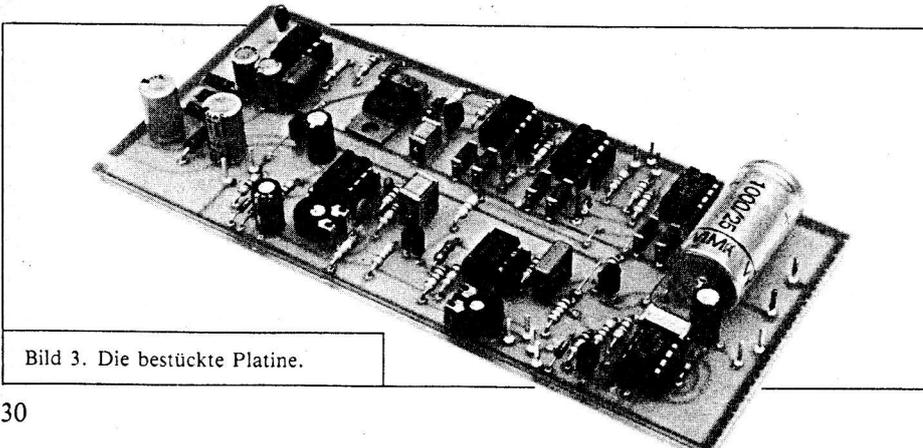


Bild 3. Die bestückte Platine.

renzierende Schaltung. Sie wandelt das Eingangssignal so um, daß am Anschluß 2 von IC2 positive und negative Spannungsspitzen auftreten. Die negativen Spitzen aktivieren den Zeitgeberbaustein IC2. Er erzeugt einen Rechteckimpuls von 50 µs Dauer, dessen abfallende Flanke den zweiten Zeitgeberbaustein IC3 für weitere 50 µs aktiviert. Wenn Sie nun die Abfolge der Impulse betrachten, dann stellen Sie fest, daß der an Anschluß 3 von IC3 auftretende 50-µs-Impuls um genau

50 μs gegen das Ende des 2-A-Stromimpuls verzögert ist. Der Stromimpuls besitzt den gleichen Verlauf wie das Eingangssignal der Zeitschaltung. Das sind genau diejenigen 50 μs , innerhalb derer die vom Erdboden und von Silberpapier hervorgerufenen Empfangssignale abklingen.

Die Zeitverzögerung von 50 μs wird durch R8 und C7 bestimmt. Auf der Platine ist für einen weiteren Widerstand (R11: 8k2) Platz vorhanden, so daß die Verzögerungszeit bei kritischen Bodenverhältnissen auf 90 μs vergrößert werden kann.

IC2 bezeichnen wir als Verzögerungsbaustein und IC3 als 'Fenster'-Baustein, weil sein Ausgang zum Empfänger weitergeleitet wird, wo er einen Schalter betätigt und für die Dauer von 50 μs (Zeitfenster) 'Münzensignale' zur Auswertung durchläßt. Mit C6 und C9 an den nicht benötigten Anschlüssen von IC2 und IC3 wird eine ungewollte Triggerung der Bausteine vermieden.

Der Empfänger

Wenn sich Münzen im Einflußbereich der Suchspule befinden, dann werden in ihr kleine Spannungen induziert. Die Verstärkung dieser Signale einschließlich Gleichrichtung zur Ansteuerung des Klick-Generators erfolgt im Empfänger. Die vielen Bauelemente im Gesamtschaltbild trüben eventuell den Blick für das Schaltungsprinzip. Daher zeigt Bild 7 ein auf die wesentlichen Elemente vereinfachtes Schaltbild des Empfängers. Er besteht aus einem mit IC5 aufgebauten Verstärker hoher Verstärkung und einem Detektor mit T4 und IC6.

Die in der Suchspule auftretenden Signale gelangen auf den Eingang von IC5, einem Operationsverstärker mit der Bezeichnung 709. Die Verstärkung dieser Stufe ergibt sich aus der Beziehung

$$V = 1 + \frac{R_{14}}{R_{13}}$$

und beträgt bei der angegebenen Dimensionierung ca. 3000. Das verstärkte Signal gelangt auf den Feldeffekttransistor (FET) T4 des Typs 2N3819. Er arbeitet hier als Schalter und wird leitend, wenn das von der Ablaufsteuerung erzeugte 'Zeitfenster'-Signal an seiner Steuerelektrode (Gate) auftritt. Das ist für den Zeitraum der Fall, in dem 'Münzensignale' erwartet werden. Diese Signale gelangen über den FET-Schalter auf IC6, werden in dieser Stufe

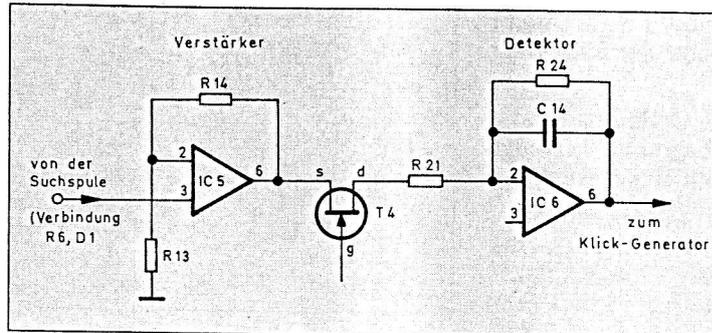


Bild 7. Ein etwas vereinfachtes Empfänger-Schaltbild. Der Transistor T4 wird nur dann durchgeschaltet, wenn Signale erwartet werden.

fe nochmals verstärkt und mit Hilfe von C14 in eine Gleichspannung umgesetzt. Der Wert von C14 bestimmt die Reaktionszeit des Gerätes. (Die Reaktionszeit gibt an, wie schnell sich die Anwesenheit eines Metallstückes in der Anzeige des Gerätes bemerkbar macht.) Ist C14 sehr klein, dann besitzt das Gerät eine kurze Ansprechzeit. Selbst wenn die Suchspule sehr schnell über den Boden bewegt wird, reagiert das Gerät noch sicher auf die Anwesenheit metallischer Gegenstände.

Ist C14 zu groß, kann das Gerät selbst bei mäßig schnellen Bewegungen der Suchspule keine Münzen mehr erkennen.

Eigentlich würde das alles für eine kleine Kapazität und kleine Ansprechzeiten sprechen. Wird C14 jedoch zu klein, dann treten unerwünschte Interferenzeffekte im Gerät auf. Daher muß ein Kompromiß getroffen werden. Ein Kondensator mit einer Kapazität von 0,1 μF ist deshalb gut geeignet.

Eine Operationsverstärkerschaltung mit hoher Verstärkung sollte an einer stabilisierten Versorgungsspannung betrieben werden. Die positive, stabilisierte Versorgungsspannung von 8 V wird mit Hilfe des Spannungsreglerbausteins IC4 vom Typ 78L08 aus einer Spannung von 12 V gewonnen, die ihrerseits von einem Spannungskonverter erzeugt wird.

Die negative Versorgungsspannung von -6 V wird über die mit R12, D3 und T3 aufgebaute Stabilisatorschaltung aus der Batteriespannung von -10 V gewonnen.

Der Gleichspannungspegel an Pin 6 von IC5 wird mit RV1 auf -1 V eingestellt. Für den Abgleich können Sie ein Vielfachmeßinstrument verwenden. Das Ausgangspotential des Empfängers (IC6, Anschluß 6) wird mit RV2 und RV3 auf ca. -0,6 V abgeglichen, so daß der nachfolgende Klickgenerator in Abwesenheit metallischer Ge-

genstände ungefähr einen 'Klick' pro Sekunde erzeugt.

Jetzt können Sie eine weitere Messung durchführen: Halten Sie eine kleine Münze ca. 15 cm über die 20-cm-Suchspule und überprüfen Sie, ob sich die Spannung an Anschluß 6 von IC6 von -0,6 V auf -0,9 V verändert. Die Ausgangsspannung wird bei Anwesenheit von Metall negativer, weil der Detektor invertiert.

Genaugenommen haben wir jetzt bereits einen kompletten Metalldetektor zur Verfügung, der eine Spannungsänderung an Anschluß 6 von IC6 erzeugt, wenn Metall in den Einflußbereich der Suchspule gelangt. Jetzt kann beispielsweise ein Zeigerinstrument mit entsprechendem Vorwiderstand Rx zur Anzeige der Spannungsänderung angeschlossen werden. Für den praktischen Einsatz ist jedoch eine akustische 'Anzeige' sehr nützlich und sollte auf jeden Fall neben der visuellen Anzeige vorgesehen werden.

Der Klick-Generator

Dieser Schaltungsteil liefert eine akustische Information: Der Benutzer hört ein periodisches 'Klicken', dessen Frequenz sich drastisch erhöht, wenn Metall in die Nähe der Suchspule gerät. Die Schaltung des Klick-Generators ist im Gesamtschaltbild rund um IC7 ersichtlich.

Ist die Kollektor-Emitterstrecke des Transistors T5 leitend (niederohmig), dann arbeitet der aus R27, R26, C18 und IC7 gebildete Oszillator auf einer Frequenz von ca. 100 Hz. Im Kopfhörer ist dann ein starkes Brummen zu hören.

Sperrt T5 hingegen — das ist bei einer Basisspannung von 0 V der Fall —, dann arbeitet der Generator nicht. T5 ist ein pnp-Transistor und benötigt daher eine negative Basisspannung, um durchsteuern zu können. Eine negative Spannung tritt aber gerade dann am Ausgang des Empfängers und damit

Bauanleitung: Impuls-Metalldetektor

auch an der Basis von T5 auf, wenn sich Metall in der Nähe der Suchspule befindet.

Bild 8 zeigt, daß der Oszillator bei ca. $-0,5$ V zu arbeiten beginnt. Er erzeugt dann alle 5 Sekunden einen 'Klick'.

Mit C17 und R25 werden hochfrequente Signalreste unterdrückt, die aufgrund der Impulse in der Ablaufsteuerung entstehen und in den Eingang des spannungsgesteuerten Oszillators einstreuen könnten. Eine mögliche Folge wäre das Umschalten des Oszillators auf eine feste Betriebsfrequenz von 100 Hz. Die Diode D4 schützt die Basis von T5 vor positiven Spannungen.

Der Benutzer des Gerätes kann die 'Ruheklickrate' (kein Metall in der Nähe der Suchspule) mit dem Potentiometer RV3, das in die Frontplatte des Gerätes eingebaut wird, auf ungefähr einen Klick pro Sekunde einstellen.

Der Spannungskonverter

Der Konverter, dessen Schaltung links oben im Gesamtschaltbild zu sehen ist, erzeugt eine positive Gleichspannung zur Versorgung der Operationsverstärker im Empfänger. IC8 ist als Oszillator geschaltet, und das Wechselstromsignal an seinem Ausgang wird über C22 und C23 auf zwei Gleichrichterschaltungen geleitet. Die eine besteht aus D5, D6 und C24, die andere aus D7, D8 und C25. Die beiden Schaltungen liegen in Reihe, so daß sich als Ausgangsspannung die doppelte Gleichrichterspannung ergibt. Unbelastet liegt sie bei ca. $+20$ V. Bei einem Strom von 7 mA sinkt sie auf ca. $+12$ V ab. Durch Hinzufügen eines dritten Gleichrichters ließe sich die Gleichrichterspannung auch verdreifachen usw. IC8 ist ein Zeitgeberbaustein vom Typ 555. Die CMOS-Version des 555 arbeitet in dieser Schaltung nicht, weil dessen Ausgangsimpedanz zu hoch ist.

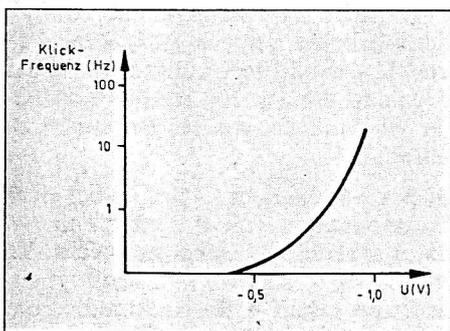


Bild 8. Verhältnis von Steuerspannung und Klickfrequenz.

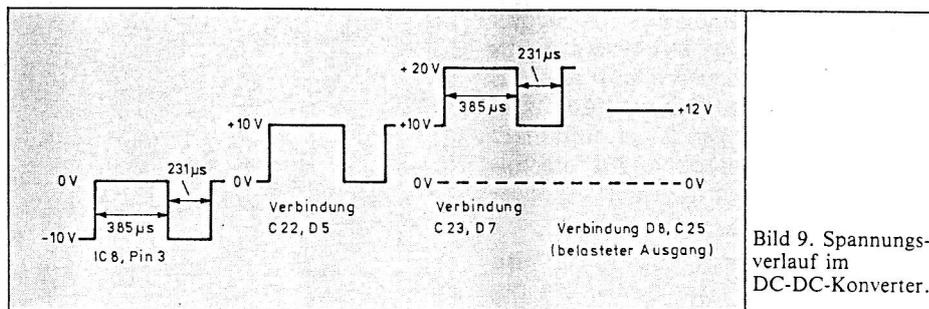


Bild 9. Spannungsverlauf im DC-DC-Konverter.

Die Schaltung insgesamt ist nicht kritisch, und es müssen auch keine Spulen gewickelt und Abschirmungen vorgesehen werden.

Die Oszillatorfrequenz von 1600 Hz liegt im Hörbereich, so daß die Funktion von IC8 auf einfache Weise mit Kopfhörern überprüft werden kann.

Im ersten Moment mag es vielleicht erstaunen, daß die Leerlaufausgangsspannung des Konverters von 20 V bei Belastung mit nur 7 mA auf 12 V zusammenbricht, denn die Impedanz der Koppelkondensatoren C22 und C23 beträgt nur ca. 20 Ohm und der Ausgangswiderstand des 555 ist noch weit geringer. Wodurch wird also der starke Spannungsabfall hervorgerufen?

Wenn die Dioden D6 und D7 in den Maxima der Ausgangsspannung des 555 zu leiten beginnen, dann benötigt der Ladekondensator C25 einige hundert Milliampere zur Nachladung. So viel Strom kann IC8 aber nicht liefern, und daher erreicht die Rechteckspannung an seinem Ausgang nicht ganz 0 Volt. Damit ist wiederum eine Verringerung der Gleichspannung am Ausgang des Konverters verbunden. Es gibt zwar Schaltungen, die solche Spannungsabfälle nicht aufweisen; sie sind aber hier nicht notwendig und würden den Rahmen dieses Projektes überschreiten.

Die Platine

Die gesamte Schaltung findet auf einer kompakten Leiterplatine Platz. Mit Ausnahme des Kondensators C26 werden auf ihr nur Kompakt- oder Miniaturlbauteile verwendet, die speziell zur Platinenbestückung geeignet sind.

Die CMOS-Bausteine werden nicht in IC-Sockel gesteckt, sondern direkt in die Platine gelötet. Behandeln Sie diese ICs daher mit großer Vorsicht: Lassen Sie sie bis unmittelbar vor dem Einlöten in ihrer leitenden Folie, und verwenden Sie zum Einlöten einen LötKolben mit geerdeter Spitze.

Auf der Platine müssen einige Drahtverbindungen hergestellt werden. Wie üblich, bauen Sie erst die Widerstände, Kondensatoren, Trimmer und dann die Transistoren und ICs ein.

Der mechanische Aufbau

Die Einstellelemente und der Lautsprecher müssen in Plastikgehäuse eingebaut werden. Die Verwendung insbesondere ferromagnetischer Metalle sollte auf ein unbedingt notwendiges Minimum beschränkt bleiben. Bei Verwendung metallischer Gehäuse würden die 2-A-Strompulse für die Suchspule bereits erhebliche Wirbelströme verursachen, die zu Funktionsstörungen führen könnten. Kleine metallische Teile, z. B. die Aluminiumverbindungen in Bauteilen oder Schalter, verursachen noch keine störenden Effekte.

Im Gehäuse sollten jedoch vom 'heißen' Suchspulenanschluß (Kollektor von T2) möglichst alle metallischen Teile ferngehalten werden. Die Leiterplatte wird mit Nyloanschrauben und Abstandsröllchen aus Plastik in der unteren Hälfte des Plastikgehäuses montiert. An der Rückseite des Gehäuses befinden sich die beiden Anschlußbuchsen (eine rot, die andere schwarz) für die Suchspule. Gegenüber wird das Klick-Potentiometer, die Kopfhörer-/Lautsprecheranschlußbuchse und der Schalter zur Festlegung der Fensterbreite ($50 \mu\text{s}$ oder $90 \mu\text{s}$) montiert. Alle außerhalb der Leiterplatte angeordneten Bauelemente werden über Platinenstecker mit der Platine verbunden. Die Verbindungen zu den Batterien und zum Ein/Aus-Schalter erfolgen über eine dreipolige Lüsterklemme. Mit einem $1000\text{-}\mu\text{F}/10\text{-V}$ -Elko (C26) über den Anschlüssen der Lüsterklemme werden Interferenzeffekte auf den Anschlußleitungen unterdrückt. Die Nickel-Cadmiumzellen (Größe AA) finden in zwei 4-Zellen-Batteriehaltern Platz und werden über entsprechende Batterieclips angeschlossen. Für alle Verbindungen wird gut isolierte, normale Drahtlitze verwendet.

Im Prototyp des hier beschriebenen Gerätes werden die beiden Batteriehalterungen mit einer dünnen Plastikplatte gegen die Oberseite des Gehäuses gedrückt. Die Batterien und die dazugehörigen Halterungen können aber auch in ein separates, kleines Gehäuse eingebaut und dann mit Klebstoff oder Schrauben am Gerätegehäuse befestigt werden.

Der Lautsprecher im Prototyp hat einen Durchmesser von ca. 6 cm und einen Innenwiderstand von 64 Ohm. Auch er kann in ein separates Gehäuse eingebaut und über Kabel und Steckanschluß mit dem Hauptgerät verbunden werden.

Die Spulen

Wie bereits erwähnt, kann es für Testzwecke sinnvoll sein, die Suchspulen eher als die Platinen aufzubauen. Für die Konstruktion der Suchspulen gibt es keine festen Regeln. Bewährt hat sich eine Spule von 20 cm Durchmesser

Stückliste

Widerstände (alle 1/4 W, 5 %)

R1	39k
R2,26	2k2
R3	15k
R4	100R
R5	180R
R6,13	470R
R7,9	220k
R8,10,27	4k7
R11	8k2 (siehe Text)
R12	1k8
R14,24	1M5
R15	470k
R16	100k
R17	390k
R18,30	33k
R19	47k
R20	68k
R21,28	220R
R22	2k7
R23	180k
R25	10k
R29	22k

Potentiometer

RV1	100k Trimmer
RV2	5k Trimmer
RV3	5k lin.

Kondensatoren

C1	1000 µ/16 V Elko
C2	220n MKT
C3,4,6,7,9,10	10n MKT
C5,8	220p ker.
C11	10p ker.
C12	3p3 ker.
C13,18	470n MKT
C14	100n MKT
C15,16,19	22 µ/16 V Elko
C17,20	2 µ/35 V Tantal
C21	10n MKT
C22,23	4 µ/40 V Elko
C24,25	47 µ/25 V Elko
C26	1000 µ/16 V Elko

Halbleiter

IC1,8	NE 555
IC2,3,7	7555
IC4	78L08
IC5	LM 709
IC6	LM 741
T1	2N2646
T2	TIP31A
T3,5	BC 308
T4	2N3819
D1,2,4	1N4148
D3	Z-Diode 6V8/400mW
D5...8	1N4004

Sonstiges

SW1	Schalter 1xUm
SW2	Schalter 1xEin
div. Buchsen, Stecker; Batteriehalter für acht Mignonzellen; 2 Batterieclips; 1 Mittelohm-Lautsprecher (≈ 50 Ohm); Gehäuse; Kupferlackdraht, Ø 0,4 und 0,5 mm; Kunststoff-Schrauben und -Muttern; Kunststoff-Spulenkörper	

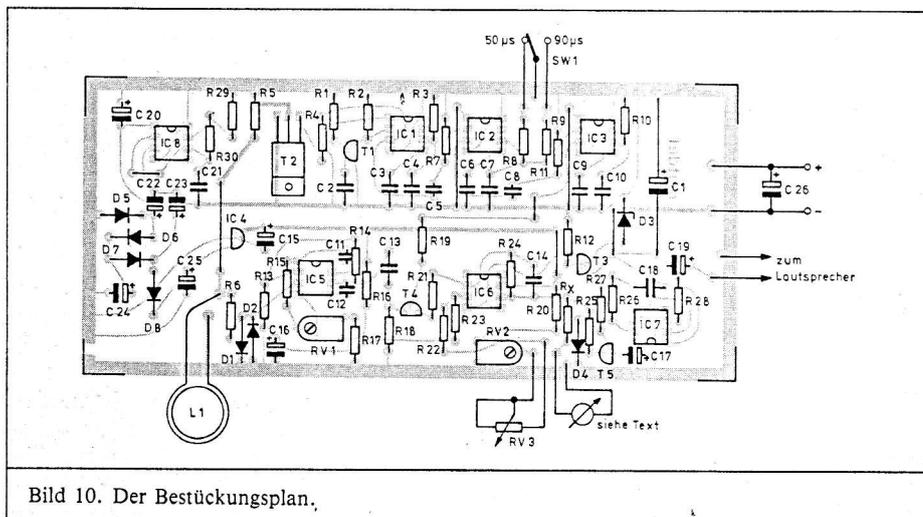


Bild 10. Der Bestückungsplan.

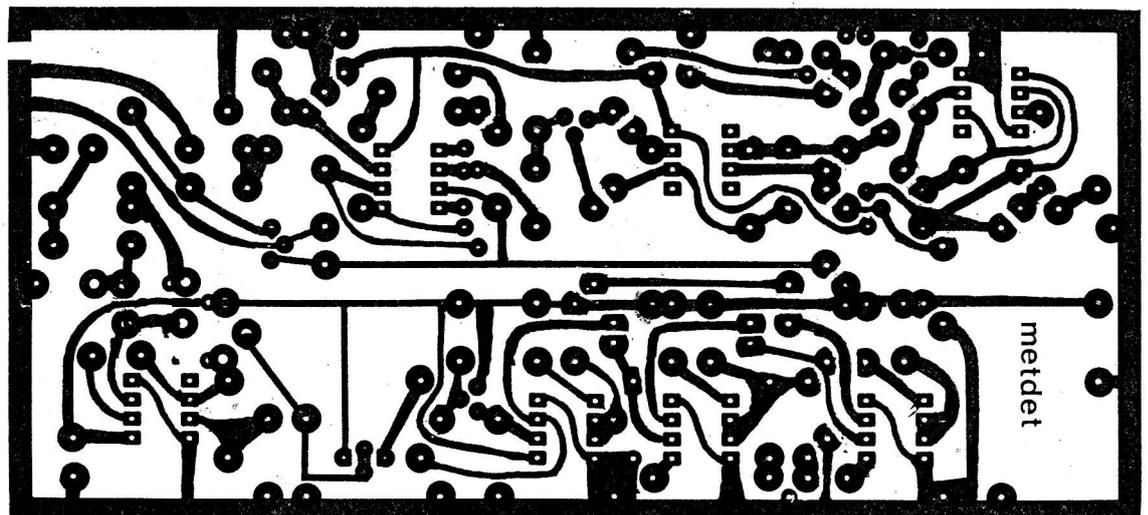


Bild 11. Das Platinen-Layout.

Im Prototyp des hier beschriebenen Gerätes werden die beiden Batteriehalterungen mit einer dünnen Plastikplatte gegen die Oberseite des Gehäuses gedrückt. Die Batterien und die dazugehörigen Halterungen können aber auch in ein separates, kleines Gehäuse eingebaut und dann mit Klebstoff oder Schrauben am Gerätegehäuse befestigt werden.

Der Lautsprecher im Prototyp hat einen Durchmesser von ca. 6 cm und einen Innenwiderstand von 64 Ohm. Auch er kann in ein separates Gehäuse eingebaut und über Kabel und Steckanschluß mit dem Hauptgerät verbunden werden.

Die Spulen

Wie bereits erwähnt, kann es für Testzwecke sinnvoll sein, die Suchspulen eher als die Platinen aufzubauen. Für die Konstruktion der Suchspulen gibt es keine festen Regeln. Bewährt hat sich eine Spule von 20 cm Durchmesser

Stückliste

Widerstände (alle 1/4 W, 5 %)

R1	39k
R2,26	2k2
R3	15k
R4	100R
R5	180R
R6,13	470R
R7,9	220k
R8,10,27	4k7
R11	8k2 (siehe Text)
R12	1k8
R14,24	1M5
R15	470k
R16	100k
R17	390k
R18,30	33k
R19	47k
R20	68k
R21,28	220R
R22	2k7
R23	180k
R25	10k
R29	22k

Potentiometer

RV1	100k Trimmer
RV2	5k Trimmer
RV3	5k lin.

Kondensatoren

C1	1000 µ/16 V Elko
C2	220n MKT
C3,4,6,7,9,10	10n MKT
C5,8	220p ker.
C11	10p ker.
C12	3p3 ker.
C13,18	470n MKT
C14	100n MKT
C15,16,19	22 µ/16 V Elko
C17,20	2 µ2/35 V Tantal
C21	10n MKT
C22,23	4 µ7/40 V Elko
C24,25	47 µ/25 V Elko
C26	1000 µ/16 V Elko

Halbleiter

IC1,8	NE 555
IC2,3,7	7555
IC4	78L08
IC5	LM 709
IC6	LM 741
T1	2N2646
T2	TIP31A
T3,5	BC 308
T4	2N3819
D1,2,4	1N4148
D3	Z-Diode 6V8/400mW
D5...8	1N4004

Sonstiges

SW1	Schalter 1xUm
SW2	Schalter 1xEin
div. Buchsen, Stecker; Batteriehalter für acht Mignonzellen; 2 Batterie-Clips; 1 Mittelohm-Lautsprecher (≈ 50 Ohm); Gehäuse; Kupferlackdraht, Ø 0,4 und Ø 0,5 mm; Kunststoff-Schrauben und -Mutter; Kunststoff-Spulenkörper	

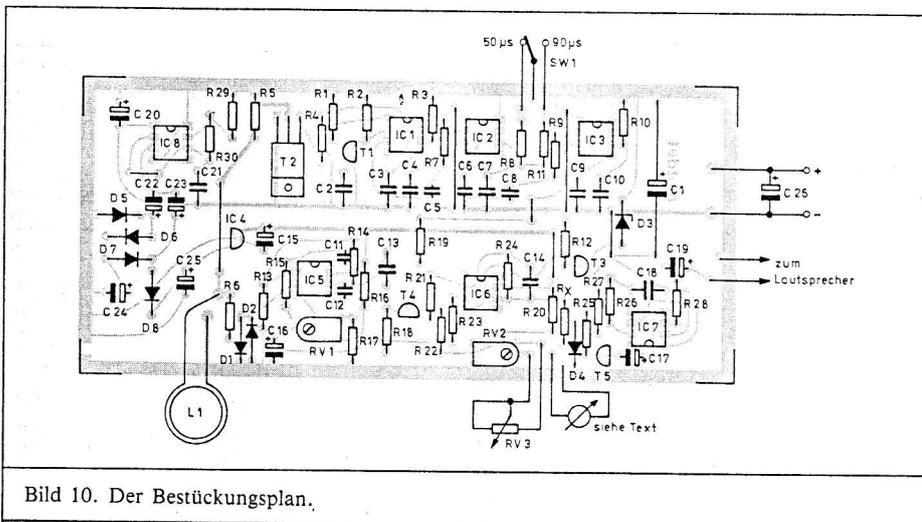


Bild 10. Der Bestückungsplan.

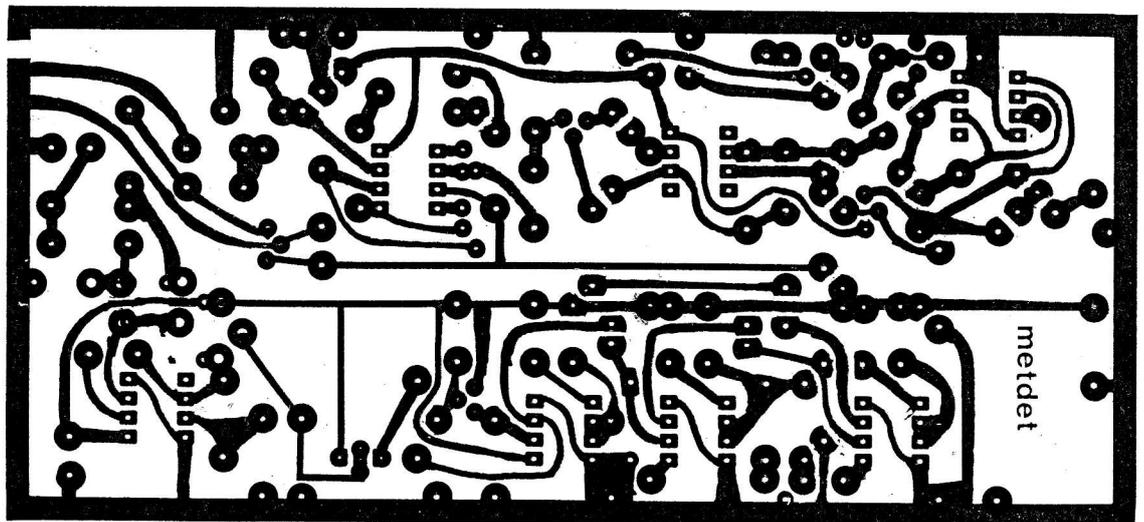


Bild 11. Das Platinen-Layout.

Bauanleitung: Impuls-Metalldetektor

aus 24 Windungen gelacktem Kupferdraht mit einer Drahtstärke von 0,5 mm. Sie wird von einer kleineren Suchspule zur präzisen Ortung ergänzt. Sie hat einen Durchmesser von 5 cm und besitzt 48 Windungen aus gelacktem Kupferdraht mit einer Stärke von 0,4 mm.

In diesem Gerät ist die Spule weder Teil des Taktfrequenzoszillators noch Element einer abgeglichenen Induktions-Brückenschaltung. Daher kommt es nicht so sehr auf eine extrem stabile Konstruktion an. Trotzdem sollten Sie die fertig gewickelte Spule mit Kunstharz oder Klebstoff tränken, um ihre mechanische Festigkeit zu erhöhen, denn im praktischen Einsatz ist eine rauhe Behandlung nicht ausgeschlossen. Zum Versiegeln der Spule können Sie z. B. normales Zweikomponenten-Epoxydharz verwenden.

Für die beiden Prototypen der Suchspulenkörper verwendeten wir jeweils drei kreisförmige Kunststoffscheiben. Der größere der beiden Suchspulenkörper besteht aus einer 6 mm dicken Kreisscheibe mit einem Durchmesser von 200 mm, an die oben und unten jeweils eine 1,5 mm dicke Kreisscheibe (\varnothing 220 mm) angeklebt wurde. So entsteht ein nutzbarer Überhang von 10 mm rund um die mittlere Kunststoffscheibe, der die Windungen der Suchspule aufnehmen kann.

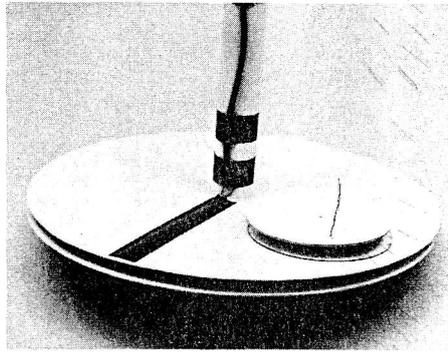
Der kleinere der beiden Spulenkörper wurde nach dem gleichen Prinzip gefertigt. Hier beträgt der mittlere Kreisscheibendurchmesser 50 mm, während die zwei Begrenzungsscheiben 70 mm groß sind.

Grundsätzlich ist aber jede mechanische Konstruktion erlaubt, die a) die Wicklung vor Beschädigung schützt und b) ein flaches Profil gegenüber dem abzusuchenden Boden besitzt.

Die Suchspulen werden über zweiadrigte Leitungen ausreichender Länge und je ein Paar 4-mm-Stecker mit der Detektor-Einheit verbunden. Die Kabelenden werden mit den Spulenanschlüssen verlötet und mit Epoxydkleber fixiert.

Die für den Prototyp der Suchspulen verwendeten Griffstangen bestehen aus dünnen Plastikrohren, wie sie für Wasserleitungen verwendet werden. Sie können diese Rohre in heißem Wasser erwärmen und dann von Hand biegen. Stecken Sie aber vorher eine biegsame Klempnerspirale durch das Rohr, sonst entstehen keine Rundun-

gen, sondern Knicke! Diese Rohre werden in verschiedenen, zueinander passenden Durchmessern angeboten, so daß sie ineinander steckbar sind. Auf diese Weise läßt sich die Suchspulenkonstruktion weitgehend in Teile mit kleinen Abmessungen zerlegen.



Zwei Suchspulen-Modelle: Das kleine dient zum genauen Lokalisieren von z. B. münzengroßen Gegenständen.

Das Gehäuse der Steuer- und Auswerteelektronik wird von zwei Metallschrauben gehalten, die durch den Plastikgriff bis in das Gehäuse ragen und dort verschraubt sind. Achten Sie darauf, daß die Schrauben im Gerät keine Schaltungssteile berühren.

Überprüfung und Einstellung

Das hier beschriebene Gerät ist sehr nachbau- und funktions sicher. Viel Wert wurde auf die Unterdrückung von Bodeneinflüssen und genaue Identifikation eiserner und nichteiserner Objekte gelegt.

Fehler treten selten auf. Wenn das Gerät nach sorgfältiger Überprüfung aller Lötverbindungen und nach Austausch aller verdächtigen Bauelemente (Denken Sie daran, daß die CMOS-Version des 555 für den Einsatz im Spannungskonverter nicht geeignet ist!) trotzdem nicht wie gewünscht arbeitet, dann können Sie folgende Tests machen:

Sie benötigen lediglich einen Kopfhörer und einen 1-kOhm-Widerstand. Einen Anschlußdraht des Widerstandes verbinden sie mit dem Kopfhörerstecker (Klebeband oder vorsichtig anlöten), den anderen benutzen Sie als Tastspitze zur Überprüfung der Testpunkte.

1. Berühren Sie Anschluß 2 von IC1. Wenn Sie ein kräftiges Brummen hören, dann arbeitet der Unijunctionstransistor T1 einwandfrei.
2. Berühren Sie Anschluß 3 von IC1. Ein kräftiges Brummen zeigt an, daß IC1 funktioniert.

3. Berühren Sie den Kollektor des Leistungstransistors T2. Brummt es im angeschlossenen Kopfhörer, dann arbeitet T2 ordnungsgemäß. Wenn Sie jetzt mit dem Ohr ganz nahe an die Suchspule gehen, dann werden Sie ein schwaches Brummen wahrnehmen; es wird durch die 2-A-Strompulse hervorgerufen, die ganz erhebliche mechanische Kräfte erzeugen.

4. Berühren Sie Anschluß 3 von IC2. Hier sollte ein sehr lautes Brummen zu hören sein.

5. Berühren Sie Anschluß 3 von IC3. Auch hier sollte ein sehr lautes Brummen zu hören sein.

Für die weiteren Test benötigen Sie ein Vielfachmeßinstrument:

6. Überprüfen Sie, ob am Ausgang des Spannungskonverters +12 V und auf den Versorgungsleitungen des Empfängers +8 V und -6 V auftreten.

7. Überprüfen Sie, ob sich das Gleichspannungspotential am Anschluß 6 des 709 (IC5) mit dem 100-kOhm-Trimmer RV1 zwischen +2 V und -2 V einstellen läßt.

Dann wird die Spannung an Anschluß 6 auf -1 V eingestellt. Das ist sehr wichtig!

8. Ohne Metall in Suchspulennähe bringen Sie das Potentiometer RV3 in der Frontplatte des Gehäuses in Mittelstellung. Dann gleichen Sie den Trimmer RV2 so ab, daß an Anschluß 6 des LM 741 (IC6) gerade 0 Volt auftreten.

Wenn Sie jetzt eine kleine Münze in die Nähe der Suchspule bringen, sollte die Spannung an Anschluß 6 auf -0,4 Volt sinken. Die Münze sollte sich in einer Entfernung von ca. 15 cm zur Spule befinden.

Um Interferenzen zu vermeiden, sollte bei diesen Tests Ihr Fernsehapparat abgeschaltet sein.

9. Mit dem Potentiometer in der Frontplatte des Gehäuses stellen Sie ca. -0,5 V an Anschluß 6 von IC6 ein und überprüfen dann mit dem Kopfhörer, ob der folgende 'Klick'-Generator gerade zu klicken beginnt.

Nun ist das Gerät betriebsbereit. Sie werden wahrscheinlich Schwierigkeiten haben, den Detektor im Hause zu testen, weil zuviel Metallisches in der Nähe ist. Gehen Sie dazu lieber ins Freie. Die beschriebenen Abgleicharbeiten führen Sie jedoch sinnvoll an Ihrem Arbeitsplatz durch. □