

3 Ultraschallmelder und Infrarotschranken

3.1 Impulsgenerator für einen Ultraschallwandler

Da der Generator im Impulsbetrieb arbeiten soll, muß er die geforderte Leistung (z.B. 70 W für den hier vorgestellten Wandler, VALVO-Bauteil) nur kurzzeitig liefern. Hierdurch vereinfacht er sich erheblich im Vergleich zu einem Generator gleicher Leistung für Dauerbetrieb.

Die in *Abb. 3.1-1* dargestellte Schaltung wurde für einen Schalldruck von ca. 10 Pa in 1 m Abstand und eine Betriebsspannung von 24 V konzipiert. Ein wesentlicher Teil ist die Endstufe. Diese sollte einen möglichst kleinen Ruhestrom, andererseits aber einen definierten und wegen des großen Übersetzungsverhältnisses von $ü = U_{\text{sekundär}}/U_{\text{primär}} = 62$ relativ kleinen Ausgangswiderstand ($4 \text{ k}\Omega/62^2 \approx 1 \Omega$) aufweisen, um das gewünschte Dämpfungsverhalten des Wandlers zu erzielen.

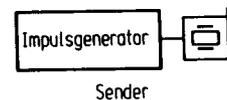
Der Impulsgenerator ist für einen Impulsabstand von ca. 200 ms und eine Impulsdauer von ca. 300 μs dimensioniert. Will man den Impulsabstand ändern, so müssen für den 3,3 k Ω -Widerstand oder den 22 μF -Kondensator andere Werte gewählt werden. Der vorgesehene Elektrolytkondensator sollte, wenn an den Impulsabstand höhere Ansprüche gestellt werden, durch einen Folienkondensator ersetzt werden. Für die Impulsdauer sind der 4,7-k Ω -Widerstand und der 18-nF-Kondensator maßgebend. Beide können ebenfalls geändert werden. Bei jeder Änderung der Impulsdauer muß man aber die Erwärmung der Endstufe überprüfen.

Der Frequenzgenerator wird mit dem Trimmwiderstand auf 21,5 kHz eingestellt, was am besten unter Verwendung eines Oszillografen geschieht.

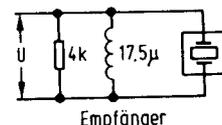
Das reflektierte Signal wird zweckmäßig mit einem zweiten Wandler empfangen (Prinzipskizze *Abb. 3.1-2*), da sich das System mit nur einem Wandler nicht befriedigend betreiben läßt. Anstelle des Leistungswandlers kann für den Empfänger natürlich auch ein anderes geeignetes Mikrofon verwendet werden.

Zusammengefaßt ergeben sich folgende Daten für den Impulsgenerator:

Betriebsspannung (Gleichspannung)	24 V
Stromaufnahme	60 mA
Impulsabstand	200 ms
Impulsdauer	300 μs
Impulsfrequenz	21,5 kHz
Schalldruck in 1 m Abstand p (1 m)	13 Pa



Sender



Empfänger

Reflektor

Abb. 3.1-2

3.2 Einfache Ultraschallsender

Nachfolgend werden drei einfache Ultraschallsender behandelt, die alle mit dem VALVO-Luftultraschallwandler Typ 8222 293 15380 arbeiten. *Abb. 3.2-1* zeigt eine Oszillatorschaltung mit induktiver Rückkopplung. Der Abgleich auf maximalen Schalldruck erfolgt durch Ändern der Spuleninduktivität. Man erreicht einen Schalldruck von 0,45 Pa in 1 m Entfernung. Die Frequenz beträgt etwa 35,5 kHz.

In *Abb. 3.2-2* ist eine Oszillatorschaltung abgebildet, bei der zur Rückkopplung ein Teil der Ausgangsspannung über einen Kondensator von $0,1\mu\text{F}$ auf die Basis des linken Transistors zurückgeführt wird. Erreichbarer Schalldruck 0,5 Pa in 1 m Entfernung. Frequenz ca. 36 kHz.

Abb. 3.2-3 zeigt eine Multivibratorschaltung, bei der der Wandler in seiner Parallelresonanzfrequenz (ca. 39 kHz) erregt wird. Der Schalldruck beträgt 0,35 Pa in 1 m Entfernung.

Übertragerangaben: (Abb. 3.2-1)

Induktivität

$$L_{1-2} \approx 180 \mu\text{H}$$

Windungszahlen

$$N_{1-2} = 120 \text{ Wdg } 0,14 \text{ CuL,}$$

$$N_{4-5} = 60 \text{ Wdg } 0,14 \text{ CuL.}$$

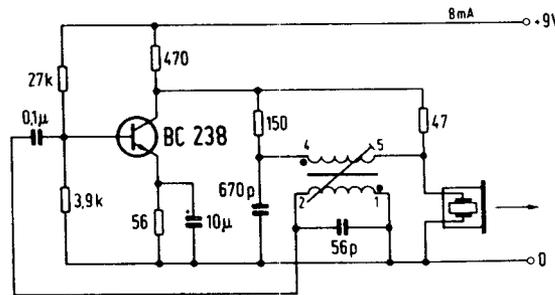


Abb. 3.2-1

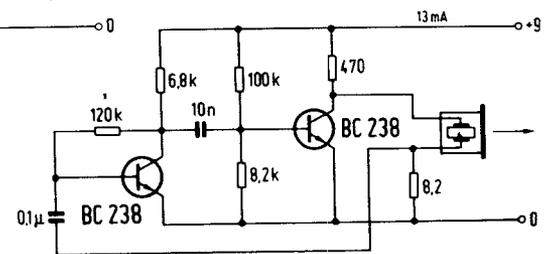


Abb. 3.2-2

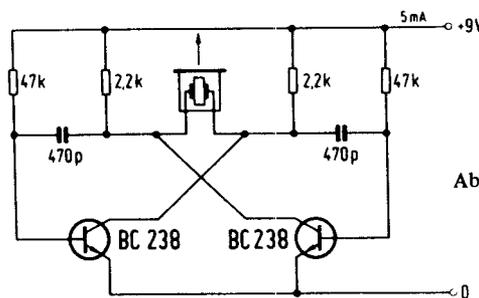


Abb. 3.2-3

3.3 Bewegungsdetektor nach dem Doppler-Prinzip

Durch die Bewegung ultraschallreflektierender Objekte erfährt die Frequenz des reflektierten und vom Bewegungsdetektor aufgenommenen Ultraschalls eine Änderung (aufgrund des Doppler-Effektes), die sich zu

$$\Delta f = 2f \frac{v}{v_L}$$

berechnet. Hierin bedeutet

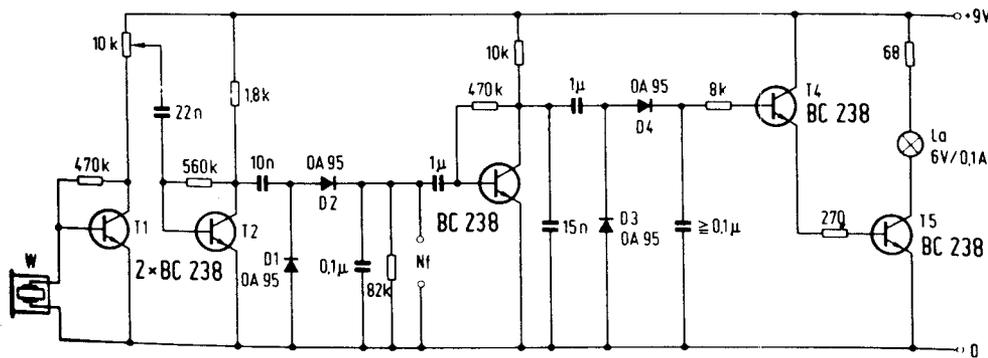
- Δf die Frequenzänderung,
- f die Frequenz des erzeugten Ultraschalls,
- v die Geschwindigkeit des bewegten Objektes (relativ zur Anordnung),
- v_L die Schallgeschwindigkeit in Luft (≈ 340 m/s).

Z.B. erhält man für $f = 37$ kHz und $v = 1$ m/s eine Frequenzänderung $\Delta f \approx 220$ Hz. Durch Interferenz der von feststehenden und bewegten Objekten reflektierten Ultraschallwellen entsteht dann eine Schwebung von 220 Hz. Diese muß vom Bewegungsdetektor erkannt und angezeigt werden. Auch der Nachweis durch einen Frequenzdiskriminator ist möglich. Die in *Abb. 3.3-1* gezeigte Schaltung dient zum Nachweis solcher Schwebungen.

Das reflektierte Ultraschallsignal eines Senders wird vom Wandler W in eine elektrische Schwingung umgeformt, die am Eingang des aus T1 und T2 aufgebauten zweistufigen Verstärkers liegt. Nach der Gleichrichtung der verstärkten Trägerschwingung in einer unsymmetrischen Spannungsverdopplerschaltung (D1, D2) erhält man das niederfrequente Schwebungssignal. Dieses wird nach einstufiger Verstärkung (T3) einem zweiten Gleichrichter (D3, D4) zugeführt. Mit dem entstehenden Gleichspannungssignal kann dann, nach weiterer Verstärkung (T4, T5), ein Relais betätigt oder eine Glühlampe zum Leuchten gebracht werden.

Mit der angegebenen Schaltung können Signale mit Frequenzen zwischen 5 Hz und 1 kHz erkannt werden. Dies entspricht Geschwindigkeiten des bewegten Objektes zwischen 0,02 m/s und 5 m/s. Eine derartige Anlage ist somit hervorragend als Einbruchssicherung geeignet.

Abb. 3.3-1



3.4 Ultraschall-Sender für Echolot

Dieser einfache, für Echolote entworfene Ultraschall-Sender arbeitet in einem Frequenzbereich von 150 bis 180 kHz, gibt eine Impulsleistung von etwa 1 bis 1,5 W ab und weist bei einer Batteriespannung von 9 V einen Stromverbrauch von nur 3 mA auf.

Der eigentliche, mit dem Transistor T1 aufgebaute Oszillator (Abb. 3.4-1) arbeitet mit induktiver Rückkopplung. Er schwingt, sobald an den Tasteingang eine positive Spannung von 3 V gelegt wird. Die Endstufe ist induktiv an den Oszillator gekoppelt. Sie arbeitet nur, während der Oszillator schwingt; in den Schwingungspausen fließt kein Strom durch T2. Der abgleichbare Ausgangsübertrager dient als Kompensationsinduktivität L_p ; außerdem wird mit ihm der Wandler an die Endstufe angepaßt.

Der Abgleich des Senders auf die richtige mechanische Resonanzfrequenz des Wandlers ist schwierig, da dieser mehrere Resonanzstellen aufweist, die sich elektrisch kaum voneinander unterscheiden. Sind die Übertrager jedoch genau nach Vorschrift angefertigt, dürfte der nachstehend beschriebene Abgleich zum Erfolg führen.

Der Abgleich erfolgt unter folgenden Voraussetzungen: Der Wandler ist angeschlossen und in ein Gefäß mit mindestens 10 l Wasser getaucht; der Sender erhält die gewählte Tastfrequenz; die Abgleichstifte der Übertrager befinden sich in Mittelstellung; in der Leitung zum Pluspol der Batterie liegt ein mit einem Elektrolytkondensator vor 1000 μ F überbrücktes mA-Meter.

Unter Betrachtung des mA-Meters werden nun wechselweise Tr1 auf Strommaximum und Tr2 auf Stromminimum abgeglichen. Der Abgleich ist beendet, wenn sich keine Änderungen im angegebenen Sinne mehr erzielen lassen. Der benutzte Schallwandler enthält eine PXE-4-Scheibe von 31,75 mm Durchmesser und 12,7 mm Höhe; Abb. 3.4-2

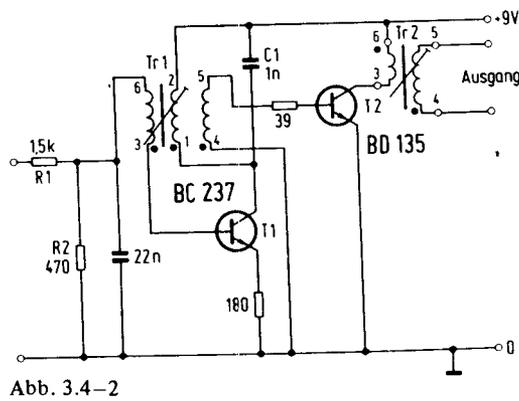


Abb. 3.4-2

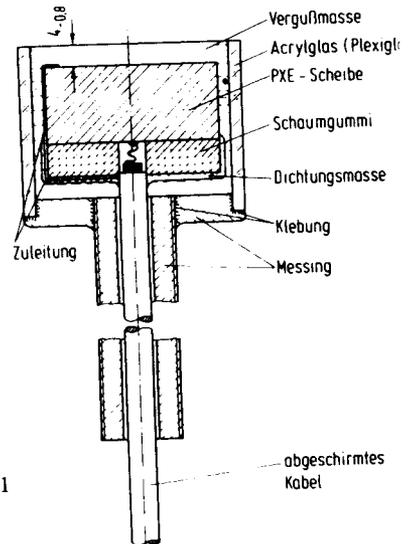


Abb. 3.4-1

Technische Daten: (Schallwandler)

Frequenz	168...176 kHz
Kapazität (1 kHz, 5 m Kabel)	1550 pF
Kompensations-Induktivität L_p	0,8 mH
Impedanz Z_s bei f_s (mit L_p)	1,3 k Ω
6-dB-Bandbreite (ohne Lastwiderstand)	17 kHz
6-dB-Winkel der Richtcharakteristik bei Impuls-Echo-Betrieb	$\approx 13^\circ$
Minimale Impulslänge	80 μ s $\hat{=}$ 12 cm

Windungszahlen:

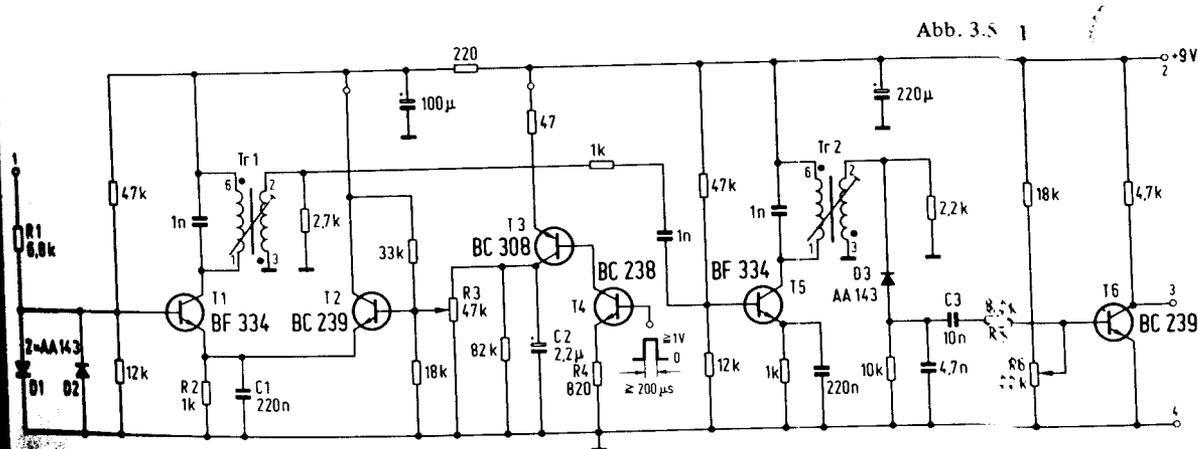
Tr1: $N_{3-6} = 30$ Wdg. }
 $N_{2-1} = 200$ Wdg. } 0,08 CuL
 $N_{4-5} = 70$ Wdg. }

Tr2: $N_{6-3} = 22$ Wdg. }
 $N_{5-4} = 177$ Wdg. } 12 · 0,03 CuLS

3.5 Ultraschall-Empfänger für Echolot

Der Ultraschall-Empfänger (Abb. 3.5-1) hat bei einer Betriebsspannung von 9 V einen Stromverbrauch von nur 5 mA. Der Empfänger kann auf eine im Bereich von 150 bis 180 kHz liegende Frequenz abgestimmt werden. Die 6-dB-Bandbreite beträgt etwa 20 kHz, so daß nur Impulse mit mehr als 70 μ s Dauer voll verstärkt werden.

Der Eingang (1) ist direkt mit dem Ausgang des Senders und damit auch mit dem Schwinger verbunden. Beim Auftreten eines Sendeimpulses wird die Signalspannung an der Basis von T1 durch die Dioden D1, D2 auf deren niedrige Durchlaßspannungswerte begrenzt, während die Dioden für das sehr viel kleinere Echosignal keine merkliche Belastung darstellen.



3 Ultraschallmelder und Infrarotschranken

Die Transistoren T1 und T5 bilden einen zweistufigen Hochfrequenzverstärker. Mit dem verstärkten Signal wird dann, nach Gleichrichtung mit der Diode D3 der als Schwellenwertschalter arbeitende Ausgangstransistor T6 angesteuert, dessen Schwellenschwelle sich mit R6 einstellen läßt.

Neben den bisher erwähnten Stufen enthält der Verstärker noch einen mit den Transistoren T2, T3 und T4 arbeitenden zusätzlichen Schaltungsteil, mit dem die Verstärkung der ersten HF-Stufe zeitabhängig gesteuert wird. Die Verstärkung von T1 ist nach der Abgabe jedes Sendeimpulses zunächst relativ klein; sie steigt dann stetig an und erreicht noch vor Eintreffen des nächsten Sendeimpulses den vollen Wert. Die zeitabhängige Verstärkungssteuerung ist besonders dann von Vorteil, wenn die Echos nicht analog, z.B. mit einer rotierenden Glühlampe angezeigt, sondern mit einer Zeitmeßvorrichtung ausgewertet werden sollen, da dann die Anfälligkeit gegenüber Störechos von Pflanzen und Fischen besonders groß ist. Durch die zeitabhängige Verstärkung ergeben die (stets zuletzt eintreffenden) Bodenechos die stärksten Signale, so daß sie sich leichter von Störechos trennen bzw. unterscheiden lassen.

Die sich periodisch ändernde Verstärkung erreicht man auf folgende Weise: Die Basis von T4 erhält synchron mit den Sendeimpulsen positive Rechteckimpulse. Jeder Impuls führt zu einer Aufladung von C2 und damit (über T2) zu einer Erhöhung der Emitterspannung von T1. Diese Spannungserhöhung und die damit verbundene Herabsetzung der Verstärkung von T1 wird durch die Entladung von C2 bis zum Eintreffen des nächsten Sendeimpulses wieder rückgängig gemacht. Mit R3 läßt sich eine Anpassung des Verstärkungsverlaufs an die jeweils vorliegenden praktischen Gegebenheiten vornehmen.

Windungszahlen ($Tr1 = Tr2$):

$$N_{6-1} = 200 \text{ Wdg., } 10 \cdot 0,03 \text{ CuLS}$$

$$N_{3-2} = 95 \text{ Wdg., } 10 \cdot 0,03 \text{ CuLS}$$

3.6 Ultraschallwarnanlage

Ein Operationsverstärker kann sinnvoll für die Erzeugung von Ultraschallschwingungen und zum Ansteuern eines Ultraschallwandlers benutzt werden. Dieser Wandler arbeitet zwischen 36 kHz und 37 kHz. Seine Steuerspannung beträgt ca. 3...5 V.

Soll der Wirkungsgrad der Anlage Sender-Empfänger optimal ausgelegt werden, empfiehlt es sich, den Sender auf die Resonanzfrequenz des Wandlers abzustimmen. Grundsätzlich können dafür auch einfache Generatorschaltungen benutzt werden. Sie haben jedoch den Nachteil, daß die eingestellte Sendefrequenz nicht so konstant ist wie durch einen L-C-stabilisierten Oszillator. Hier bestimmt die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises die Steuerfrequenz des Wandlers.

Der Sender

Für den Sender ist eine sehr einfache Schaltung mit einem Operationsverstärker in Abb. 3.6-1 gezeigt. Sie arbeitet mit Betriebsspannungen zwischen 7 V und 15 V. Die Stromaufnahme beträgt 3 mA. Bei 10 V beträgt die Ausgangsspannung $7 V_{ss}$. Das Oszillogramm Abb. 3.6-2 zeigt das trapezförmige Ausgangssignal im unteren Teil mit $7 V$ und das Signal am Schwingkreis (Punkt C) mit $12,5 V_{ss}$. Im Mittkopplungsweig vc

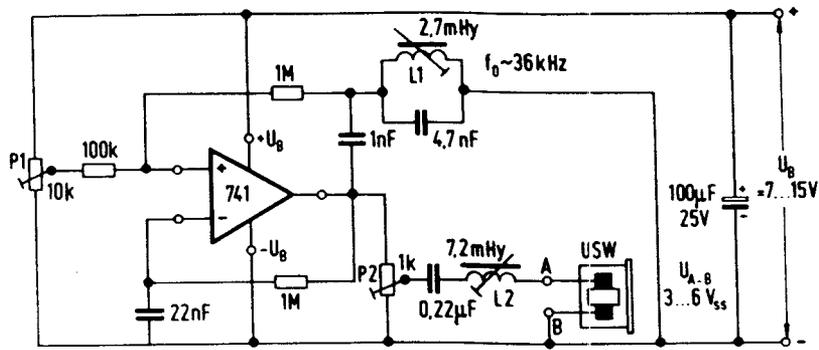


Abb. 3.6-1

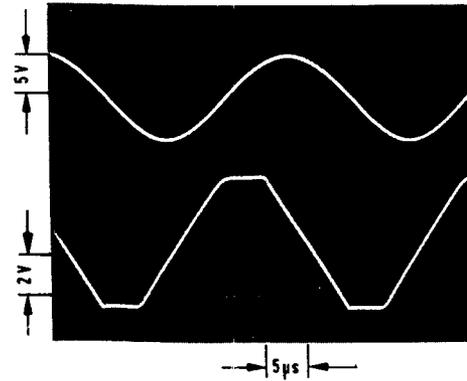


Abb. 3.6-2

Ausgang zum nichtinvertierenden Eingang ist der Schwingkreis angeordnet. Auf diese Art wird erreicht, daß nur die Resonanzfrequenz zur Mittkopplung wirksam wird. Das Potentiometer P1 stellt die Symmetrie der Schwingung am Ausgang ein. Dort wird ein Oszilloskop angeschlossen und nach Abb. 3.6-2 mit P1 das trapezförmige Signal auf symmetrische positive und negative Begrenzung eingestellt.

Wird das Oszilloskop an die Punkte A und B angeschlossen, so kann durch Ändern der Resonanzfrequenz – Abgleich mit L2 – der Wandler in Serienresonanz gebracht werden. Der richtige Abgleich kann mit einem Oszilloskop oder Nf-Voltmeter vorgenommen werden, indem die Spannung zwischen A und B mit L2 auf Maximum gestellt wird. Die Spule L2 ist nicht unbedingt erforderlich, der Wandler kann auch direkt an den Schleifer von P2 angeschlossen werden. Jedoch wird, wie anfangs erwähnt, der Wirkungsgrad der Abstrahlung weitaus günstiger, wenn der Wandler mit seiner Serienkapazität und der Spule L2 in einen Serienresonanzkreis einbezogen wird.

Das Potentiometer P2 stellt den Pegel der Steuerspannung an dem Wandler ein. Diese Spannung sollte ca. 3...6 V betragen und ist von der geforderten Strahlungsleistung abhängig.

Der Empfänger

Die Empfängerschaltung ist in *Abb. 3.6-3* zu sehen. Der Ultraschallwandler wird an den nichtinvertierenden Eingang kapazitiv angekoppelt. Das Potentiometer P1 stellt in gewohnter Weise die Eingangs- und damit auch die Ausgangsspannung auf das mittlere Betriebsspannungspotential ein. Mit dem Potentiometer P2 kann die Empfindlichkeit der Schaltung eingestellt werden. Masseseitig ist der Regler P2 mit nur 10 nF abgeblockt. Das hat einmal den Vorteil der Arbeitspunktstabilisierung für das Gleichspannungsverhalten, außerdem werden jedoch 50 Hz Brummstörungen noch so stark gegengekoppelt, daß der Eingang unabgeschirmt aufgebaut werden kann.

Am Ausgang der Schaltung ist ein Serienresonanzkreis angeordnet. In der vorliegenden Schaltung arbeitet dieser mit einer Güte von 15, so daß an der Spule (2,7 mH) eine 15fache Spannungsüberhöhung gegenüber der verstärkten Ausgangsspannung des Operationsverstärkers auftritt. Dadurch wird die Empfindlichkeit der Schaltung erheblich gesteigert, ohne daß zusätzliche weitere aktive Verstärkerelemente eingeschaltet werden müssen.

Die vorliegende Ultraschallwarnanlage kann einmal als reine „Schranke“ arbeiten, zum anderen jedoch nach dem Doppler-Effekt gleichzeitig als Bewegungsmelder.

Im ersten Fall wird das 36-kHz-Signal der Spule über die Germanium-Diode gleichgerichtet und nach entsprechender Siebung dem Emitterfolger BC 107 zugeführt. An seinem Ausgang entsteht ein Gleichspannungssignal bei vorhandenem 36-kHz-Signal, welches je nach Größe einen Wert bis zur Betriebsspannung (U_B) erreichen kann. Da an der Spule ohne weiteres Resonanzspannungen bis zu $25 V_{SS}$ auftreten können, begrenzt der 22-k Ω -Widerstand gleichzeitig den Basisstrom des Emitterfolgers.

Treten in dem zu überwachenden Raum Bewegungen auf, so ändert sich durch Reflexion, Überlagerung und/oder Dämpfung des Ultraschallsignales seine Amplitude. Es tritt eine Amplitudenmodulation des 36-kHz-Signales während der Störung auf. Die Zeitkonstante des Demodulators (100 k Ω – 680 pF) ist so gewählt, daß sie diesen Änderungen, die in tiefem Frequenzgebiet, < 20 Hz, liegen, noch folgt. Somit treten am Ausgang des Emitterfolgers ebenfalls NF-Schwankungen auf, die eine Bewegung signalisieren. Am Ausgang angeschlossene Schaltverstärker können die Signale speichern und über Relais melden.

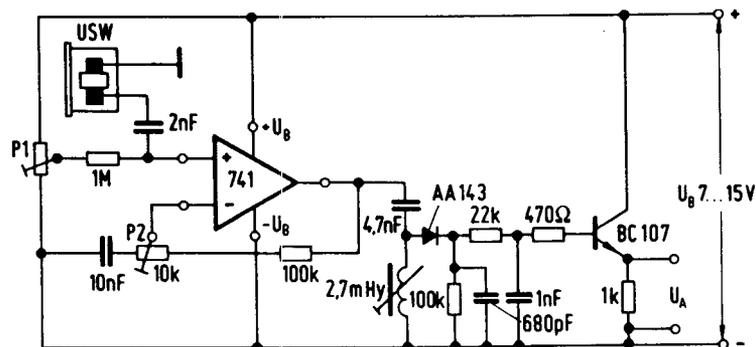


Abb. 3.6-3

Die Anordnung mit dem Serienresonanzkreis ist leicht auf die Resonanzfrequenz des Senders abzugleichen. Dazu wird lediglich am Ausgang des Emitterfolgers ein Gleichspannungsvoltmeter angeschlossen und mit dem Kern der Spule diese Spannung auf Maximum gestellt. Um Übersteuerungen zu vermeiden, soll für den Abgleich die Spannung am Emitterausgang nicht größer als $\frac{U_B}{2}$ sein. Vorteilhaft ist die Resonanzänderung auch noch hinsichtlich ihrer Selektionseigenschaften, wodurch Störungen benachbarter Ultraschallfrequenzen weitgehend gedämpft werden.

3.7 Eine Warnlichtschränke für größere Entfernungen

Eine Lichtschränke kann mit einer Lumineszenzdiode leicht aufgebaut werden. Das Rotlicht hat weiterhin den Vorteil, daß es kaum sichtbar ist, wenn es durch eine Optik gebündelt dem Empfänger zugeführt wird.

Der Dauerstrom von Lumineszenzdioden findet seine Grenze bei 20 mA. Dagegen sind Spitzenimpulsströme teilweise bis 1 A erlaubt. Ein derartiger Impulsbetrieb bietet für die Anwendung einer einfachen Lichtschränke noch die Sicherheit, daß diese durch einfallendes Gleichlicht nicht gestört wird. Darüber hinaus kann die untere Grenzfrequenz im Empfänger so hoch gelegt werden, daß ein Störlicht im 50- und 100-Hz-Bereich bereits stark gedämpft wird. Die hier beschriebene Lichtschränke ist bei Impulsbetrieb bis ca. 100 m sicher anzuwenden. Das setzt allerdings sender- und empfängerseitig eine Optik voraus. Sender- und Empfänger-„Antenne“ müssen mit der Optik mechanisch sicher und stabil verbunden sein. Die Justage kann grob mit einer Taschenlampe vorgenommen werden. Die Feineinstellung erfolgt danach, indem Sender- und Empfänger-„Antenne“ axial zueinander ausgerichtet werden. Das ist durch die Messung der Ausgangsamplitude des Operationsverstärkers II in *Abb. 3.7-1* zu kontrollieren. Das Gleichlicht der Taschenlampe wird hingegen direkt am Anschluß des LDR-Widerstandes im Empfänger mit einem hochohmigen Voltmeter gemessen.

Die Anlage zerfällt nach *Abb. 3.7-1* in den Sender- und den Empfängerteil. Der Sender wird durch den Operationsverstärker OI gebildet. Der Kondensator C3 stellt die Impulsfrequenz ca. 1 kHz ein. Mit dem Potentiometer P2 wird die Impulsschaltdauer für die Lumineszenzdiode eingestellt. Das Potentiometer P1 begrenzt den Strahlstrom auf den erlaubten Wert. Als Operationsverstärker können z.B. die Typen 741 benutzt werden. Die Strahlstromeinstellung wird mit dem Oszilloskop eingemessen, indem in Serie mit P1 ein 1- Ω -Widerstand dazu geschaltet wird, an welchem gemäß der Gleichung

$$I_{\max} = \frac{U_s}{1 \Omega}$$

die Spannung U_s gemessen wird. Ein erlaubter Strom von z.B. 0,2 A setzt eine Spannung von 0,2 V voraus. Das Oszillogramm *Abb. 3.7-2* zeigt die Impulsspannung an der Diode, welche dem Aussehen des Diodenstromes entspricht, während das untere Oszillogramm die Ausgangsspannung des Operationsverstärkers OIII wiedergibt. Der Ausgang des Operationsverstärkers I ist über einen 1-k Ω -Widerstand auf die Basis des als Emitterfolger geschalteten Transistors BSY 86 entkoppelt. Für die Endstufe ist dieses eine zusätzliche Sicherheit der Strombegrenzung bei zu niedrig eingestelltem Wert von P1. Die Lumineszenzdiode wird in ein Metallrohr von ca. 15 mm Innendurchmesser in einem

sich jetzt über das obere Weicheisenteil und den Hallgenerator im SAS 251, der so viel Induktion erhält, daß die Einschaltinduktion B_E überschritten wird und die Ausgänge des SAS 251 durchgeschaltet sind. Befindet sich dagegen die Eisenfahne im Schlitz (Abb. 8.15-3b), so werden die magnetischen Feldlinien über die Eisenfahne kurzgeschlossen. Im Hallgenerator sinkt die Induktion unter den Wert der Ausschaltinduktion B_A und die Ausgänge des SAS 251 ändern ihre Schaltzustände, d.h., sie sind jetzt gesperrt. Die Abb. 8.15-4 zeigt den Induktionsverlauf B und das Signal eines IS-Ausgangs U_Q in Abhängigkeit vom Weg s des Weicheisenblechs im Schlitz der Schranke.

S	Steilheit
B_E	Einschaltinduktion
B_A	Ausschaltinduktion
B_H	Magnetische Hysterese
$U_Q \sim U_s s$	Weg im Eisenblech

Der neue VACOMAX-Magnetwerkstoff liefert bei kleinsten Abmessungen hohe Induktionswerte, wie sie für diese Anwendung benötigt werden. Beide Ausgänge des SAS 251 haben offene Kollektoren und können Ströme bis zu 30 mA schalten. Damit sind LED, Relais und Leistungsdarlingtonen direkt ansteuerbar.

I	Spannungsstabilisierung
II	Hallgenerator
III	Verstärker
IV	Schwellwertschalter
V	Ausgangsstufen mit offenem Kollektor, gleichphasig
I_K	Konstanter Speisestrom
U_{stab}	Intern stabilisierte Speisespannung, von U_s abgeleitet.

