Herbert Brosch

Thyratron PL 21

Schaltungen und Versuche

Verlag Frech Stuttgart-Botnang

© 1968
Verlag und Druckerei M. Frech, Stuttgart-Botnang
Druck: Frech, Stuttgart-Botnang

Inhalt

Einführung 7
Aufbau des Thyratrons 8
Betriebsdaten 8
Grenzdaten 8
Steuerkennlinie 9
Vorteile der Tetrode gegenüber einer Triode 10
Heizung 10
Röhrenbrett für das Thyratron PL 21 10
Montage im Bakelit-Gehäuse 12
Betriebswertanzeige 12
Das Netzteil 13
Zubehör 15
Zündung des Thyratrons mittels Zündimpuls 17
Zündung durch Erhöhung der Anodenspannung .. 18
Löschschaltung mit RC-Glied 19
Löschschaltung mit Hilfs-Wechselspannung 20
Löschschaltung mit Schwingkreis 22
Taktgeber für zwei Schaltzeiten 23
Taktgeber mit Übertrager 1:1 25
Taktgeber mit Spartrafo 25
Zählwerk-Treiber 25
Hochspannungserzeugung 27
Erzeugung von Kippschwingungen 28
Sägezahngenerator mit Feinregelung 29
Flip-Flop mit zwei Thyratrons 29
Kippgenerator mit Amplitudenregelung 31
Erzeugung von Nadelimpulsen 32
Grenzfrequenz des Thyratrons PL 21 33
Schutzschaltung für Senderendstufen 34
Lichtgesteuertes Relais 36
Lichtrelais mit Foto-Widerstand 37
Zeitschalter für Wechselstrombetrieb 39
Zeitschalter mit Kondensator-Umladung 40
Vertikalsteuerung 41
Horizontalsteuerung 44
Impulssteuerung 45
Schwebungen 46
Koinzidenzschaltung 48
Steuerbarer Gleichrichter 49
Blindwiderstand im Thyratronkreis 51
Motorsteuerung 53
Vorsichtsmaßnahmen und Unfallschutz 54
Literaturhinweise 54

Einführung

Das Thyratron ist ein Bauelement der digitalen Elektronik, d. h. es kennt nur zwei Betriebszustände: den gezündeten und den gelöschten. Zwar kann man durch Änderung der Anodenspannung und des Außenwiderstands die Stromstärke beeinflussen, nicht jedoch durch Spannungsänderungen am Gitter. Durch die Ansteuerung am „Gitter" (es ist eigentlich eine Zündelektrode) kann lediglich erreicht werden, daß kein Strom oder der durch U_b und R_a vorgegebene Maximalstrom fließt.

Das vorliegende Buch soll nun in die Schaltungstechnik der Thyratrons einführen. Da das Thyratron als Bauelement dem Amateur weniger geläufig ist als etwa die Vakuumröhre oder der Transistor, soll zunächst kurz der physikalische und technologische Hintergrund beleuchtet werden. Dann folgt eine Auswahl von Schaltungen und Versuchen, die einen Querschnitt durch die Anwendungsgebiete dieses Röhrentyps darstellen.

Dabei wird das Prinzip verfolgt, mit möglichst wenig Bauteilen auszukommen. Alle Versuche sind deshalb mit dem Kleinthyratron PL 21 ausgeführt, obwohl selbstverständlich auch andere Typen in Frage kämen. Diese Beschränkung bringt außer der Kosteneinsparung — die meisten Thyratrontypen sind recht teuer — noch andere Vorteile mit sich: einfache Sockelung, Verwendung handelsüblicher Widerstände, Lampen, Relais etc.

Alle Schaltungen, die dieses Bändchen enthält, wurden vom Verfasser — z. T. nach industriellen Vorbildern — aufgebaut. Sie wurden jedoch für Amateurzwecke vereinfacht, umdimensioniert und vor allem auf Betriebssicherheit überprüft. Einige interessante Schaltungen sind neu entworfen; sie sollen weniger der praktischen Anwendung als vielmehr dazu dienen, die Wirkungsweisen des Thyratrons richtig verstehen zu lernen. Darüberhinaus sollen sie zu eigenen Versuchen anregen. Mit geringem Kosten- und Arbeitsaufwand können alle Schaltungen dieses Buches nachgebaut werden.

Thyratron PL 21

Aufbau des Thyratrons

Die Röhre PL 21 ist eine indirekt geheizte, edelgasgefüllte Tetrode. Abb. 1 a zeigt das Symbol dieses Röhrentyps und das Sockelschema (Miniaturfassung). Die eigentliche Steuerelektrode (besser: Zündelektrode oder Hilfsanode) ist G_1. G_2 hat mehr die Funktion eines Schirmgitters und ist meist mit Katode oder Masse verbunden.

Im allgemeinen sind Thyratrontetroden wie folgt aufgebaut: Die Katode ist möglichst großflächig (bei der PL 21 zylindrisch). In einigem Abstand befindet sich die Anode; Form und Lage sind von untergeordneter Bedeutung. G_1 ist meist als Ring ausgebildet und liegt zwischen Katode und Anode. G_2 umgibt die drei anderen Elektroden wie ein Mantel mit „Einschnürungen" im Raum zwischen Katode und G_1 und im Raum zwischen G_1 und Anode. Über die Art des Füllgases werden von den Herstellern keine weiteren Angaben gemacht.

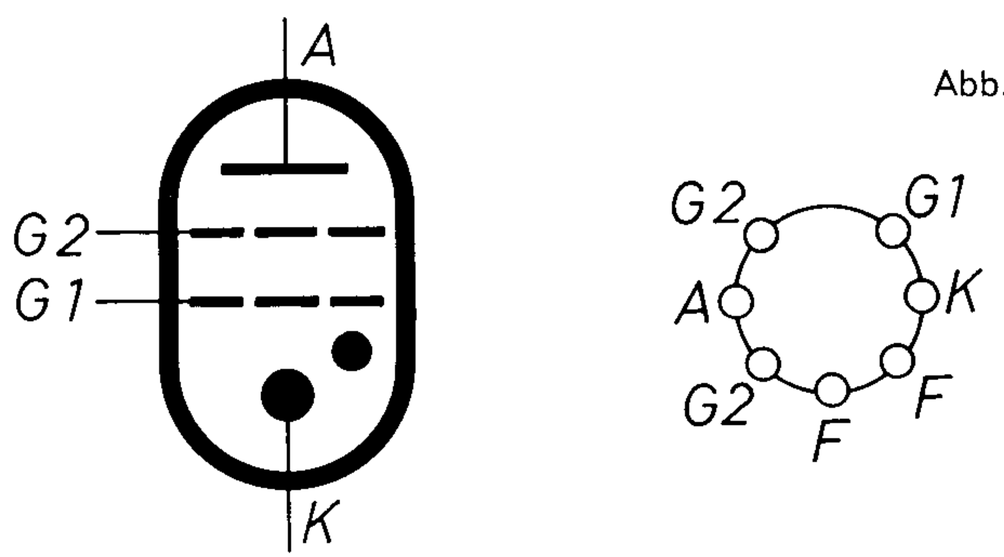


Abb. 1a

Betriebsdaten

Anodenspannung 250 V = oder 220 V ~
Heizspannung 6,3 V; Heizstrom 0,6 A
Anheizzeit 10 s
Zündzeit 0,5 µs
Erholzeit 35 bis 75 µs
Brennspannung 8 V
Katodenstrom 100 mA
Katodenspitzenstrom 500 mA
Katodenstoßstrom 10 A

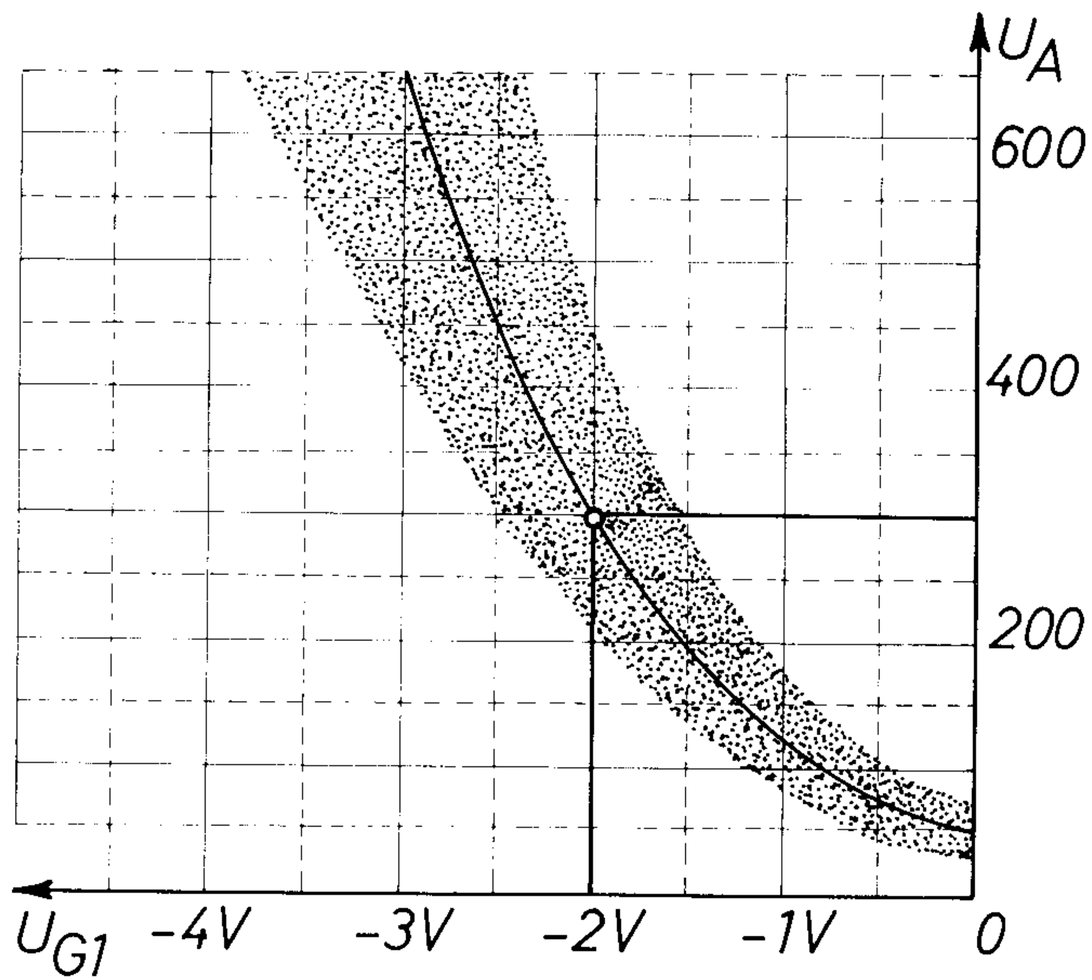
Grenzdaten

$+U_a$ für Zündung 650 V
$-U_a$ für Rückzündung 1300 V
negative Vorspannungen (G_1 und G_2) 100 V
Gitterstrom G_1 0,5 µA
Gittervorwiderstand G_1 mindestens 100 kΩ
Gittervorwiderstand G_1 höchstens 10 MΩ
Umgebungstemperatur —75° C bis +90° C
Heizspannung und -strom siehe Kapitel „Heizung"!

Steuerkennlinie

Je nach Anodenspannung ist eine gewisse Gitterspannung nötig, um das Thyratron zu zünden. Dieser Zusammenhang zwischen den beiden Spannungen ist in Abb. 1 b dargestellt. Es kommen dabei nur positive Anodenspannungen bis 650 V in Frage. Die stark ausgezogene Kurve, in der Form einem Parabelast ähnlich, gibt die wahrscheinlichsten Wertzusammenhänge an, z. B. $U_a = 300$ V und $U_{G1} \geqq -2$ V bzw. $-U_{G1} \leqq 2$ V, der graue Bereich kennzeichnet Streuungen, mit denen bei gleicher Röhre unter etwas veränderten Bedingungen (z. B. Temperaturerhöhung) gerechnet werden muß. Bei einer Anodenspannung von 300 V kann also die Zündung erfolgen, wenn $-U_{G1}$ den Wert 2,5 V unterschreitet, jedoch unter Umständen auch erst dann, wenn $-U_{G1}$ unter 1,5 V absinkt. Die Spannung am Gitter G_2 ist in diesem Schaubild konstant mit 0 V angenommen. U_{G2} beeinflußt den Verlauf der Zündkennlinie; somit ist gegebenenfalls das Thyratron auch am Gitter G_2 ansteuerbar.

Abb. 1b



Vorteile der Tetrode gegenüber einer Triode

Gasgefüllte Tetroden haben gegenüber den Gastrioden mancherlei Vorteile, z. B.:

a) Der Gitterstrom ist wesentlich niedriger, somit kann das Gitter aus sehr hochohmigen Spannungsquellen gespeist werden. In Phasenschiebern darf die Brückendiagonale nicht belastet werden; für niederohmige Eingänge müßte in diesem Fall ein Katodenfolger dazwischengeschaltet werden.

b) Die schädliche Kapazität zwischen Anode und dem Gitter G_1 ist wesentlich geringer, so daß es nicht zu kapazitiven Rückwirkungen und damit zu unerwünschten Zündungen kommt.

c) Die Steuerkennlinie läßt sich durch Veränderung von U_{G2} in gewissen Grenzen verschieben.

d) Das Gitter G_2 ist unter Umständen als Steuergitter verwendbar.

e) Werden G_1 und G_2 miteinander verbunden und angesteuert, so verkürzt sich die Zündzeit.

Heizung

Bei der Heizstromversorgung der Röhre PL 21 ist auf zwei Dinge zu achten. Die Toleranz der Heizspannung reicht von 5,7 bis 6,9 V. Serienheizung ist möglich, aber nicht zu empfehlen.

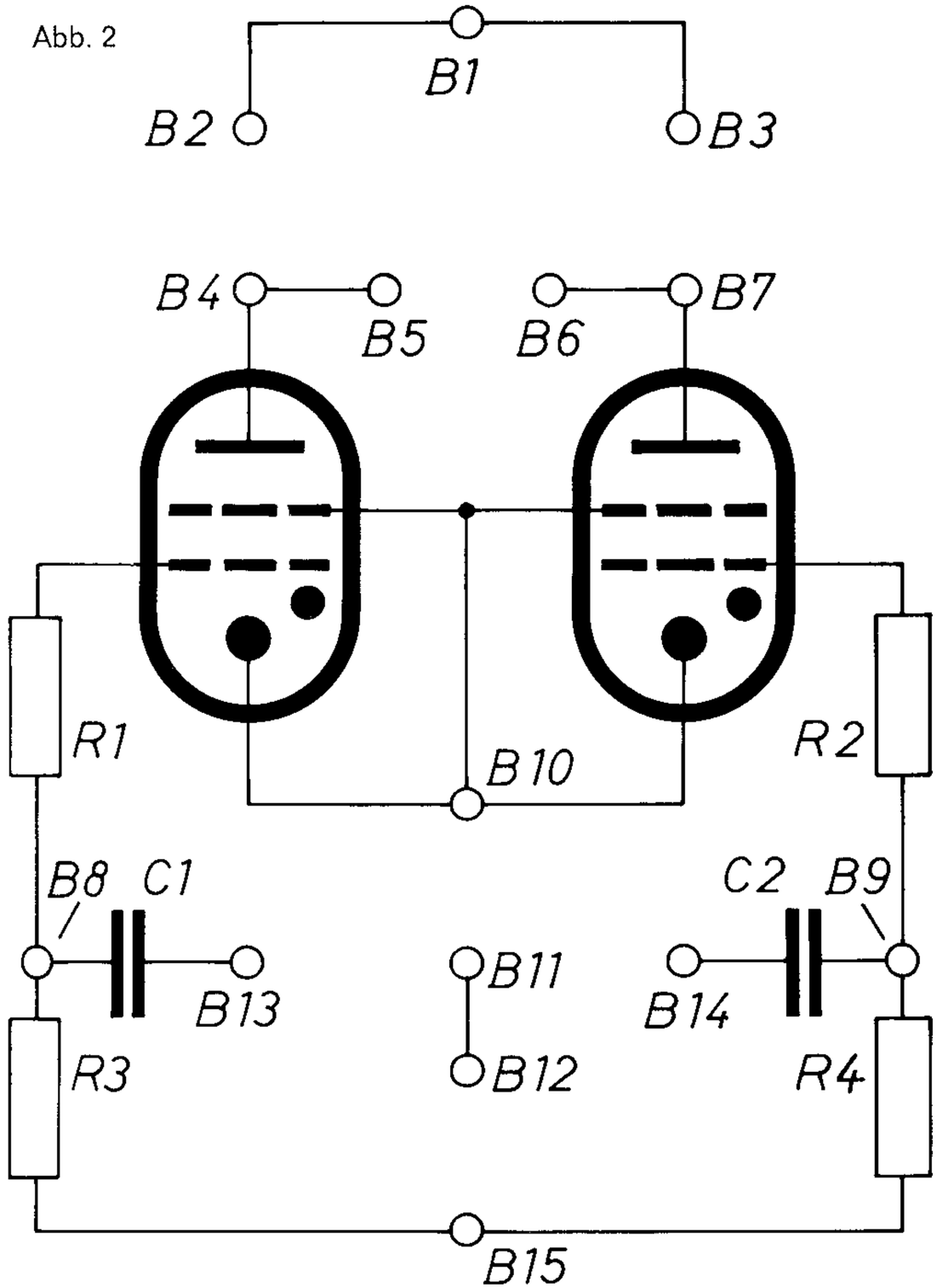
Als maximale Spannung zwischen Heizfaden und Katode werden 100 V angegeben. Dabei muß die Katode positiv gegenüber dem Heizfadenanschluß sein. In den meisten Schaltungen wird ein Heizfadenanschluß mit Masse verbunden. Wird also die Katode „hochgelegt", so ist darauf zu achten, daß am Katodenwiderstand nicht mehr als 100 V abfallen. Der Verfasser hat diesen Wert allerdings häufig stark überschritten, ohne daß die Röhre Schaden nahm. Heizleitungen können auch potentialfrei, also ohne Verbindung mit einer Elektrode oder mit Masse verlegt werden. Sollen zwei Thyratrons antiparallel betrieben werden, so sind zwei Heizleitungen aus getrennten Wicklungen des Heiztransformators oder sonstwie aus getrennten Heizstromquellen zu verwenden.

Röhrenbrett für das Thyratron PL 21

Um nicht bei jeder Schaltung die Bauteile neu montieren und einlöten zu müssen, empfiehlt es sich, eine Experimentierschaltung aufzubauen, in der die Bauelemente leicht auszuwechseln und die nötigen Verbindungen bequem herzustellen sind.

Sollen die Versuche einem Publikum vorgeführt werden, so muß die Montageplatte (Pertinax 2 mm, 20 cm × 30 cm) gemäß Abbildung 2 senkrecht stehen. Die

Abb. 2



Buchsenpaare B 2 — B 4 usw. befinden sich im Normabstand von 19 mm. Die Bauelemente (Widerstände, Kondensatoren etc. in gängigen Werten, z. B. 2 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ, 5 nF, 50 nF usw.) kann man auf Pertinaxbrettchen ca. 10 mm × 30 mm mit Steckerstiften fest montieren oder provisorisch an Suprafix-Stecker klemmen. Es ist vorteilhaft, auf der Frontseite des Röhrenbretts das Schaltschema aufzuzeichnen, die Thyratrons dagegen auf der Rückseite zu verdrahten.

Stückliste zu Abb. 2

$B_1 \ldots B_{15}$ = Telefonbuchsen 4 mm ⌀
$R_1 = R_2$ = 100 kΩ
$R_3 = R_4$ = 1 MΩ
$C_1 = C_2$ = 22 nF
Diese Bauelemente werden auf der Rückseite an die Buchsen gelötet und verbleiben fest in der Schaltung.

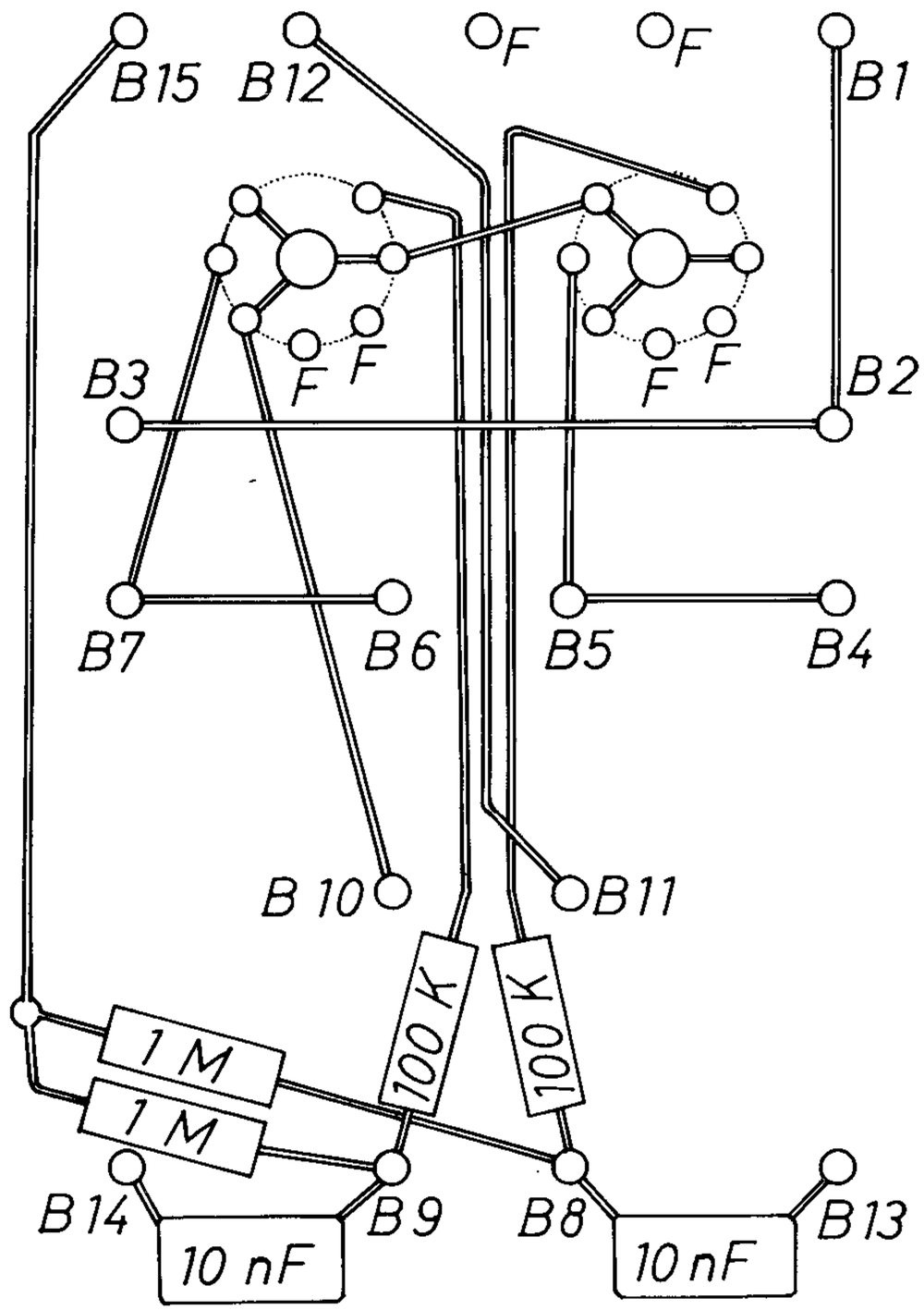


Abb. 3

Montage im Bakelit-Gehäuse

Für den „Hausgebrauch" läßt sich die Experimentierschaltung auch gut in ein flaches Bakelitgehäuse (etwa 12 cm × 12 cm, 4 cm hoch, ohne Boden) einbauen. Abb. 3 zeigt die Anordnung der Bauteile (Röhrensockel, Buchsen, Widerstände, Kondensatoren, Schaltdrähte) von der Unterseite (Bestückungsseite) aus gesehen. Die Buchsen sind wie in Abb. 2 durchnumeriert. Die Kondensatoren zum Einkoppeln der Spannungsimpulse sind hier mit 10 nF angegeben, dieser Wert ist jedoch völlig unkritisch. Das Buchsenpaar FF ist für die Zuführung des Heizstroms vorgesehen. Diese beiden Buchsen sind mit den entsprechenden Lötfahnen der Röhrenfassungen zu verbinden.

Betriebswertanzeige

Man kann zwar am Thyratron selbst erkennen, ob es gezündet ist (es leuchtet dann schwach milchigweiß), die Leuchterscheinung ist aber oft sehr schwach, was ein sicheres Erkennen des Betriebszustandes erschwert. Man benutzt daher kleine Neon-Glimmlampen zur Betriebswertanzeige. Die Lampen werden mit entsprechendem Vorwiderstand (etwa 200 k, siehe Abb. 4!) zwischen Anode und der Buchse für die Anodenstromzuführung eingelötet, gegebenenfalls werden 1 oder 2 Glimmlampenfassungen (Signallampenfassungen mit

Gewinde E 10) im Röhrenbrett montiert. Hat das Thyratron gezündet, so fällt fast die gesamte Betriebsspannung an R_a ab, was gut zur Zündung der Glimmlampe ausreicht. Bei einigen Schaltungen kommt es allerdings auf sehr schnelles Durchzünden und sehr schnelles Löschen des Thyratrons an; dabei wird man vorsorglich die Glimmlampen aus der Schaltung entfernen.

Das Netzteil

Für die Schaltungen und Versuche dieses Buches können vorhandene Netzgeräte benutzt werden, wenn sie eine Gleichspannung um 250 V bei einer Stromentnahme von 100 mA und eine gegen Masse negative, gut geglättete und von 0 bis 100 V regelbare Spannung bereitstellen.

Wer sich für die Thyratronversuche ein neues Netzteil aufbauen möchte, dem sei die Schaltung nach Abb. 5 empfohlen.

T_1 ist ein „Spartrafo", wie er zum Vorschalten vor 110-V-Geräte allgemein üblich ist. T_2 ist ein Heiztransformator 0—6,3—12,6 V~ / ca. 1,5 A. Möglicherweise ist am Transformator T_1 noch genügend Wickelraum vorhanden, um die beiden Heizwicklungen dort noch aufzubringen. Die Windungszahl pro Volt ist bei solchen Trafotypen meist recht gering, so daß man mit einer Lage auskommt. Die Gleichrichterdiode D_2 ist

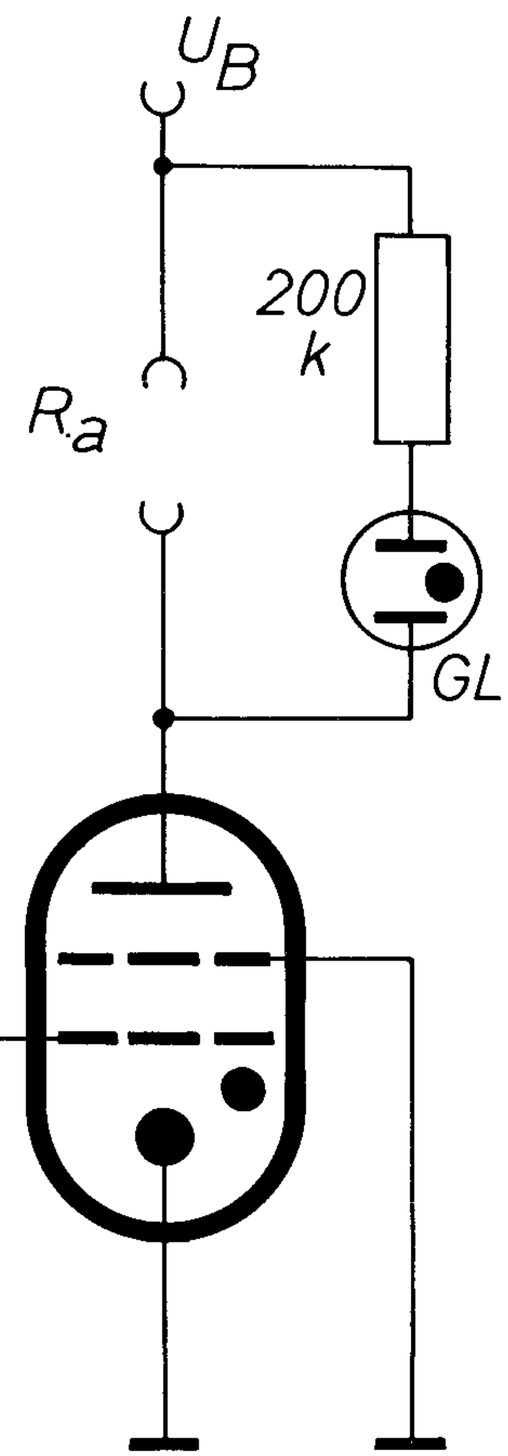


Abb. 4

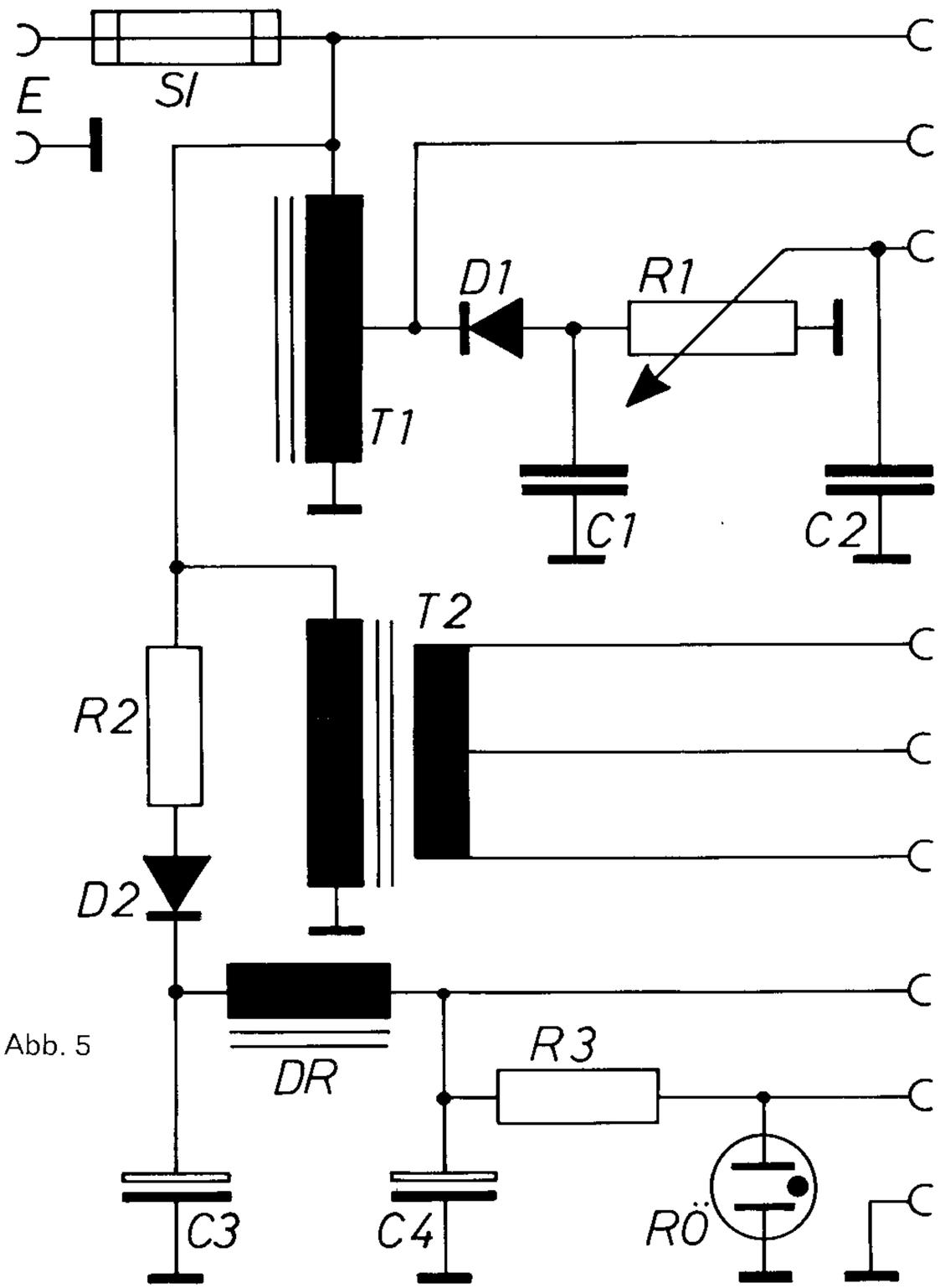


Abb. 5

durch einen kleinen Vorwiderstand geschützt. Sollen für C_1 und C_2 Elektrolytkondensatoren Verwendung finden, so sind sie isoliert in das Chassis einzusetzen; eine „Doppeltype" ist hier ungeeignet. Die Kapazität ist völlig unkritisch; bei der geringen Stromentnahme genügen an sich 4 µF, es können aber auch gerne größere Werte genommen werden. Die Heizleitungen sind zunächst potentialfrei; die nötigen Verbindungen mit Katode oder Masse werden extern hergestellt.

Stückliste zu Abb. 5

E = Eingang 220 V~
SI = Sicherung 1 A
T_1 = Transformator 220 V~/110 V~ ca. 100 W
T_2 = Heiztransformator 2 x 6,3 V~ ca. 1,5 A
R_1 = Potentiometer 50 kΩ lin., 1 W
R_2 = 20 Ω, 0,5 W
R_3 = 5 kΩ, 5 W
C_1 = C_2 = 4 µF MP (es können auch Elektrolytkondensatoren verwendet werden, sie sind dann isoliert in das Chassis einzusetzen)
C_3, C_4 = 2 x 50 µF Elektrolyt
D_1 = D_2 = BY 100 o. ä.
DR = Siebdrossel ca. 1 H, 250 mA
RÖ = OA 2 bzw. 150 C 2

Die Bedeutung der 9 Ausgangsbuchsen (im Bild rechts) ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen.

Zubehör

Um die nun folgenden Schaltungen der Reihe nach aufbauen zu können, sollten die nachstehend aufgeführten Zubehörteile bereitstehen:

1. **Relais.** Der Widerstand der Erregerwicklung darf nicht unter 2 kΩ liegen. Gegebenenfalls ist das Relais im Anodenkreis des Thyratrons mit einem Vorwiderstand um 10 kΩ zu betreiben. Um Flattererscheinungen bei Wechselstrom-Halbwellenbetrieb zu vermeiden, ist dem Relais ein „Beruhigungskondensator" von 0,5 bis 4 μF parallelzuschalten. Relais, Widerstand und Kondensator können zu einer Baueinheit zusammengefaßt und in ein kleines Bakelitgehäuse eingebaut werden. Die Bestückung soll 2 x UM sein.

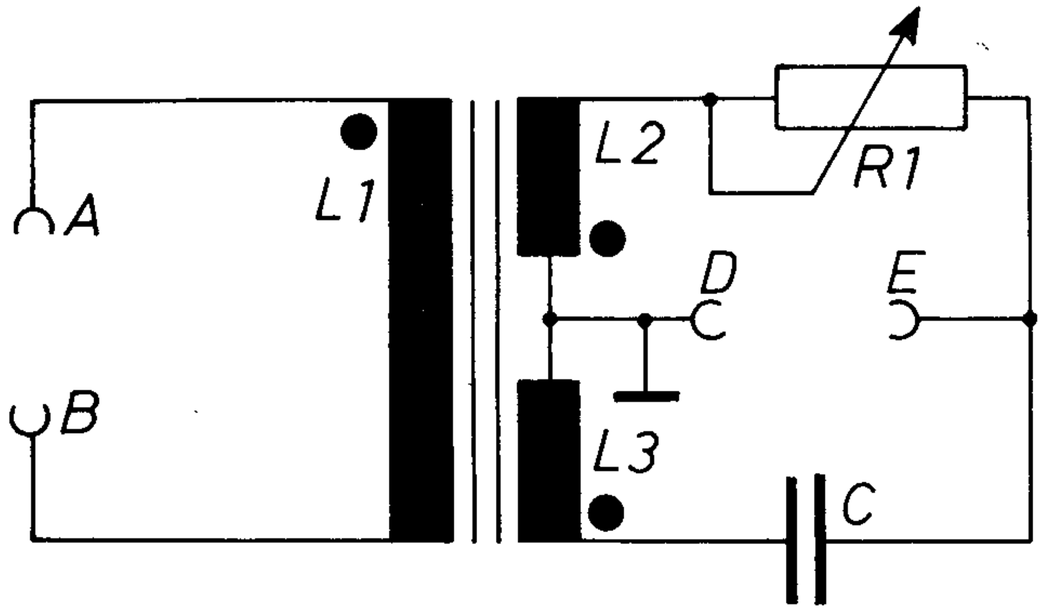
2. **Zählwerk.** Für Impulszählungen wird ein mechanisches Zählwerk benötigt. Die Erregerspannung soll möglichst hoch liegen, denn bei niederohmigen Erregerwicklungen ist hier ein prellfreies Arbeiten des Zählwerks nicht möglich.

3. **Unterbrecher.** Bei vielen Versuchen ist zur Löschung des Thyratrons eine Unterbrechung der Anodenstromzuführung notwendig. Um nicht die Verbindungen lösen zu müssen, fügt man gleich einen Druckschalter mit Ruhekontakt ein.

4. **Phasenschieber.** Steht ein Experimentiertransformator zur Verfügung, so kann eine Schaltung nach Abb. 6 aufgebaut werden. Ansonsten entnimmt man die gegenphasigen Wechselspannungen einem Heiztransformator 0 — 6,3 — 12,6 V~ oder zwei einzelnen Heiztransformatoren je 6,3 V~.

5. **Spannungsteiler für Oszillografie.** Der Eingangsspannungsteiler der Oszillografen reicht oft nicht aus, um die von den Thyratronschaltungen abgegebenen hohen Impulse „aufs Bild" zu bekommen. Beim Verfasser hat sich ein zusätzlicher Spannungsteiler nach Abb. 6 gut bewährt.

6. **Impulsgeber.** Aus einer Telefon-Wählscheibe kann der Amateur einen zuverlässigen Impulsgeber bauen. Das rotierende Isolierstoff-Segment muß von „Ruhe" auf „Arbeit" umgeklemmt werden, und zur Impulsformung setzt man eine RC-Kombination (R = 50 kΩ, C = 1 μF, beides parallel zwischen Ausgang und Masse) ein. Eine Eingangsspannung von 20 bis 30 V= ist gut ausreichend.



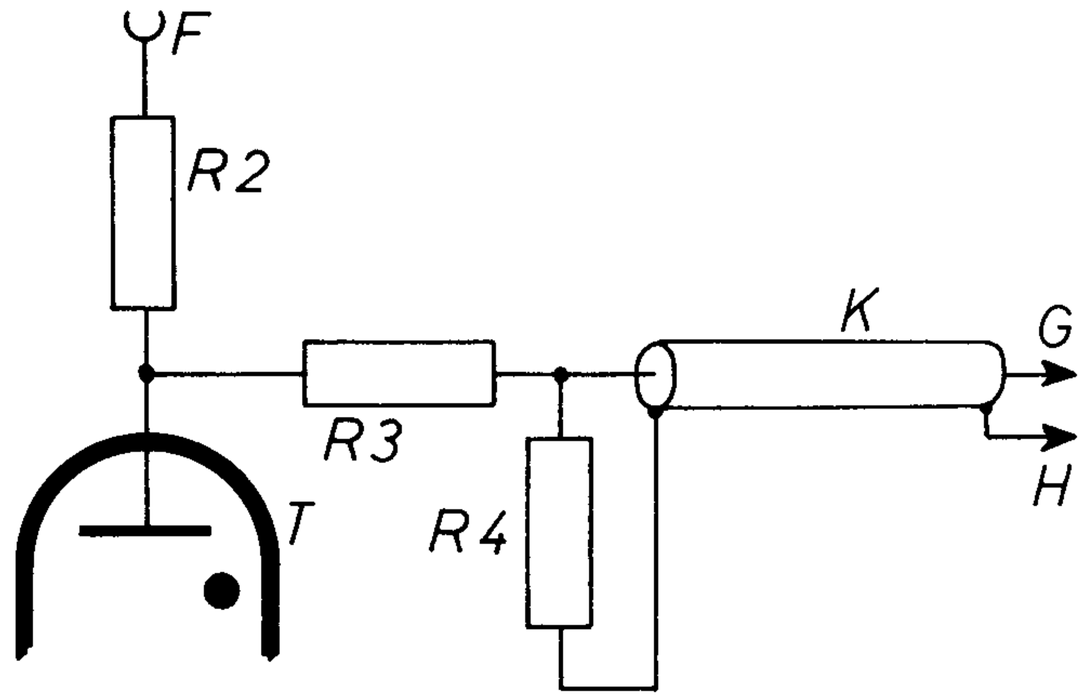


Abb. 6

Stückliste zu Abb, 6

Buchsenpaar A—B = Eingang 6,3 V~ oder höher
Buchsenpaar D—E = Brückendiagonale, D wird mit Masse, E mit G_1 des Thyratrons verbunden
F = Buchse zur Anodenstromzuführung
G = Anschluß an den Oszillografen
H = Masseverbindung
T = Thyratron

K = Koaxialkabel (abgeschirmte Leitung)
R_1 = Potentiometer 4 kΩ linear
R_2 = R_a = 10 kΩ
R_3 = 10 MΩ
R_4 = 100 kΩ
C = 4 µF
L_1 = 300 Windungen
L_2 = L_3 = 150 Windungen

7. **Lampen als Außenwiderstand.** Es kommen gewöhnliche Glühlampen in Frage, und zwar bei Gleichstrombetrieb Typen bis 20 W, bei Wechselstrombetrieb solche bis 40 W. Wegen des Halbwellenbetriebs können 110-V-Lampen an 220 V~ angeschlossen werden; dabei wird allerdings die Lebensdauer stark beeinträchtigt.

8. **Spule.** Als Induktivität dient in manchen Versuchen eine Spule mit 300 Windungen im geschlossenen Eisenkern (Drahtstärke etwa 0,3 mm CuL). Ebenso gut kann eine Drosselspule von 1 H bis 3 H Verwendung finden.

9. **Motor.** Um eine Schaltung für die Drehzahlregelung eines Motors durch ein Thyratron aufbauen zu können, wird eine entsprechende Motortype benötigt. Dabei sollen Feld- und Ankerwicklung getrennt herausgeführt sein. Die Betriebsspannung soll nicht unter 110 V~ liegen.

10. **Amperemeter.** Hier genügt ein Meßbereich (100 mA). Eine einfache Dreheisen-Type reicht aus.

11. **Voltmeter.** Das Voltmeter sollte 2 Meßbereiche aufweisen, und zwar 30 V und 300 V. Auch hier kann eine einfache Dreheisen-Type verwendet werden.

Zündung des Thyratrons mittels Zündimpuls

Das Thyratron wird zunächst mindestens 10 Sekunden vorgeheizt, dann wird $-U_G$ angelegt, und als letztes wird die Verbindung mit der Anodenstromquelle hergestellt. Das Thyratron verbleibt dabei im gelöschten Zustand. Ein in den Anodenstromkreis geschaltetes Amperemeter zeigt keinen Strom an, an einem zwischen Anode und Masse geschalteten Voltmeter wird die volle Betriebsspannung, z. B. 250 V abgelesen (siehe Abb. 7!). Nun gibt man auf den Eingang E einen kurzen Impuls von etwa 30 V_{ss}. Ist kein Impulsgeber vorhanden, so genügt auch ein kurzes „Antippen" mit einem Verbindungskabel positiven Potentials, d. h. es wird für einen Augenblick eine Verbindung zwischen dem Eingang E und der Buchse für die Einspeisung der Betriebsspannung U_B hergestellt. Der Anodenstrom geht jetzt sprungartig auf seinen Maximalwert, das Voltmeter zeigt die Brennspannung 8 V, so daß sich das Umschalten auf einen niederen Meßbereich notwendig macht. Erhöht man jetzt die negative Gittervorspannung $-U_G$ auf 50 . . . . . 100 V, so ist dadurch eine Löschung des Thyratrons nicht möglich. Erst eine kurze Unterbrechung des Anodenstromkreises (siehe Kapitel „Zubehör", Pos. 3!). bringt die Löschung mit sich.

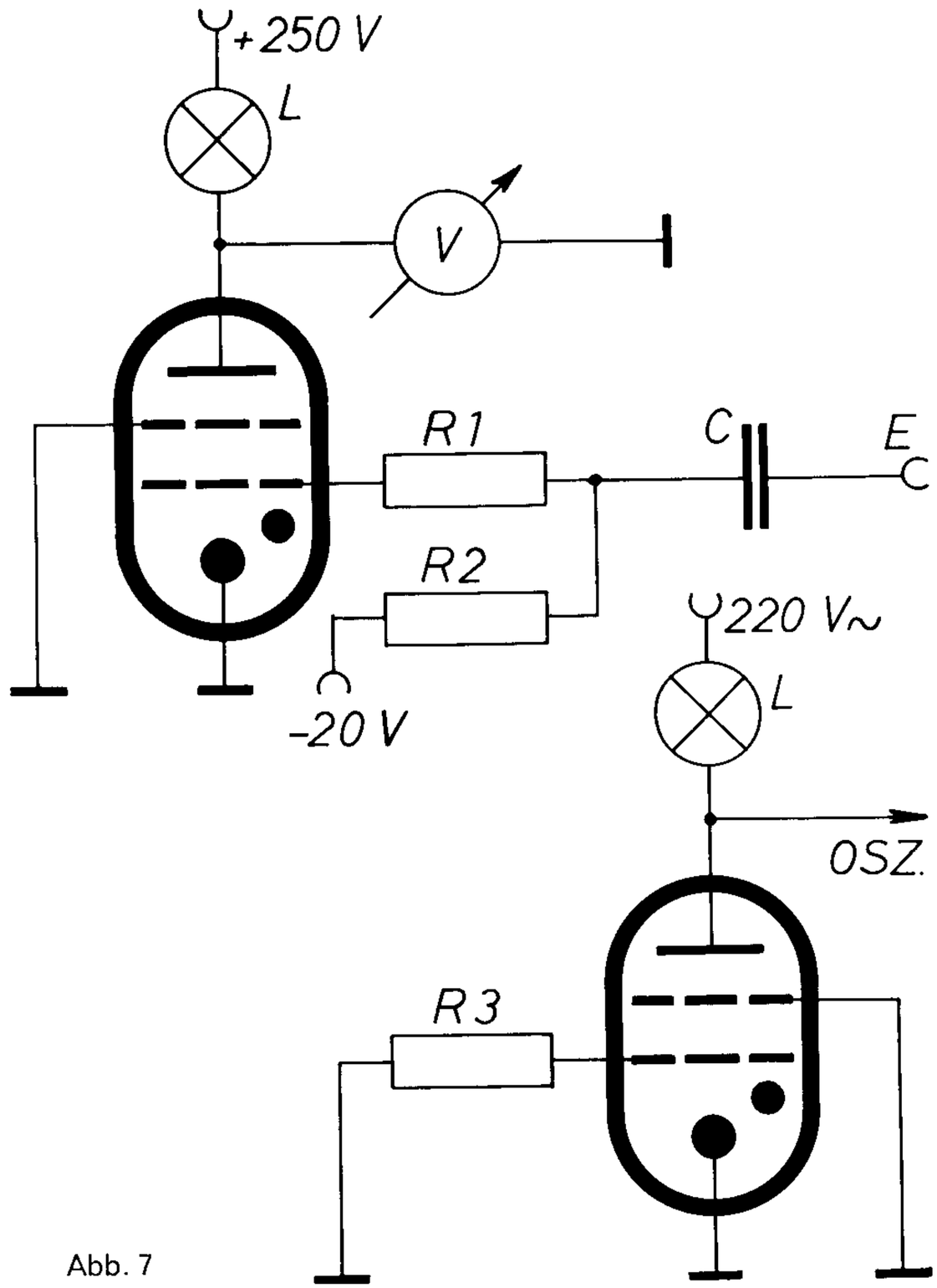


Abb. 7

Zündung durch Erhöhung der Anodenspannung

Eine entsprechende Schaltung ist in Abb. 7 unten dargestellt. Das Gitter G_1 bekommt Katodenpotential. Das Ansteigenlassen der Anodenspannung gestaltet sich sehr bequem, wenn man als Betriebsspannung 220 V~ aus der Steckdose benutzt. Dabei ist unbedingt auf die Polung zu achten. Während der negativen Halbwelle bleibt das Thyratron gesperrt. Erreicht U_a etwa 50 V, so zündet das Thyratron, und die Anodenspannung sinkt auf die Brennspannung von 8 V ab.

Stückliste zu Abb. 7

L	= Glühlampe 220 V/15 W
V	= Voltmeter 0—30—300 V o. ä.
R_1	= 100 kΩ
R_2	= 1 MΩ
R_3	= 100 kΩ
C	= 22 nF
E	= Impulseingang (Impulshöhe ca. 30 V)
OSZ	= Verbindung zu den Y-Platten des Oszillografen

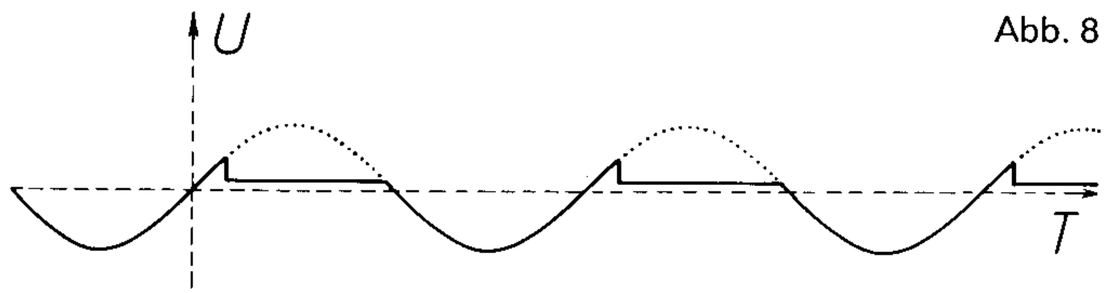


Abb. 8

Das Oszillogramm Abb. 8 zeigt den für diese Schaltung typischen Anodenspannungsverlauf. Zum Anschluß des Oszillografen an die Schaltung verwendet man den Spannungsteiler aus Abb. 6.
Will man durch Hochregeln der Anodenspannung „von Hand" den Zündpunkt genau feststellen, so ist auf gute Siebung der Gleichspannung zu achten.

Löschschaltung mit RC-Glied

Die Schaltung ist denkbar einfach, lediglich bei der Dimensionierung von R_1, R_2 und C_1 (Abb. 9 links) können Schwierigkeiten auftreten. R_1 darf einen bestimmten Wert nicht unter-, R_2 darf einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Zu einem fest gewählten Wert von R_1 gibt es dann auch einen Mindestwert für C_1. Die Stückliste zu Abb. 9 gibt darüber Aufschluß.

Die Schaltung gewinnt einen praktischen Wert, wenn R_2 als Zählwerk oder Relais ausgebildet wird. Grundsätzlich wäre es auch möglich, den Kondensator C_1 zwischen Anode und Katode zu schalten, es fließt jedoch in diesem Fall nach der Löschung des Thyratrons der Ladestrom für C_1 durch R_2, so daß unter Umständen das Relais bzw. das Zählwerk noch einmal anzieht.
Die Schaltung wird an E_1 mit 30 V_{ss}-Impulsen mäßiger Folgefrequenz angesteuert.

Stückliste zu Abb. 9

R_1 = mindestens 30 kΩ
R_2 = höchstens 70 Ω
R_3 = 100 kΩ
R_4 = 1 MΩ
R_5 = 10 . . . . . 100 kΩ
R_6 = 100 kΩ
R_7 = 1 MΩ
C_1 = mindestens 2 µF
C_2 = 22 nF
C_3 = 22 nF
E_1 = Impulseingang
E_2 = Impulseingang
T = Löschtransformator (siehe auch Abb. 10!)

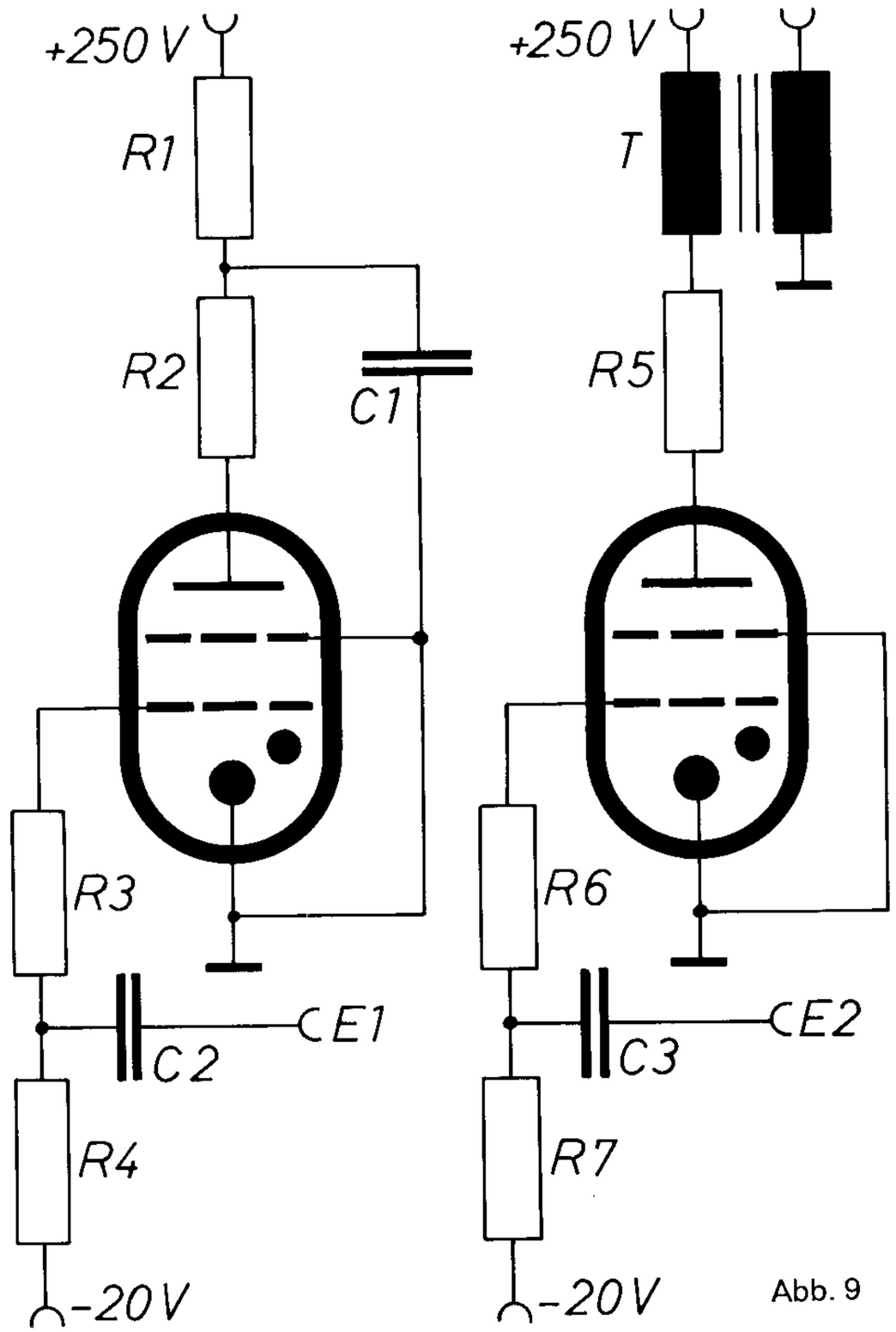


Abb. 9

Löschschaltung mit Hilfs-Wechselspannung

Abb. 9 rechts zeigt eine Schaltung, in der die Löschung durch eine Hilfs-Wechselspannung erfolgt. Diese Wechselspannung wird induktiv in die Anodenleitung eingespeist. Bei sinusförmigen Wechselspannungen ist die übertragene Leistung recht groß, z. B. 250 V × 0,1 A × 0,5 = 12,5 W. Wesentlich günstiger gestaltet sich die Leistungsbilanz, wenn im Impulsbetrieb gearbeitet wird. Die Löschspannung braucht ja nur 200 µs lang zu bestehen. Die Arbeit, die die Löschung herbeiführt, ist dann mit 2,5 mWs doch recht gering. Geeignete Impulstransformatoren stehen jedoch dem Amateur selten zur Verfügung. Deshalb ist in Abb. 10 eine Schaltung angegeben, die leicht mit amateurmäßigen Mitteln aufgebaut werden kann. Der Ladestrom für den Kondensator C_1 wird durch die Spule L_2 geführt. Der in der Spule L_1 induzierte Spannungsstoß reicht zur Löschung des Thyratrons aus. Natürlich können die beiden Wicklungen L_1 und L_2 auch auf einen gemeinsamen Spulenkörper aufgebracht werden, es ist dann auf die Polung zu achten. Für den Kondensator C_1 muß noch eine Entlademöglichkeit bestehen; dies geschieht am besten durch einen Widerstand in der Größenordnung 100 kΩ parallel zu C_1.

Stückliste zu Abb. 10

R_1	=	28 kΩ
R_2	=	100 kΩ
R_3	=	1 MΩ
C_1	=	10 µF
C_2	=	22 nF
L_1	=	600 Windungen
L_2	=	300 Windungen
S	=	Druckschalter 1 x kurzfristig EIN

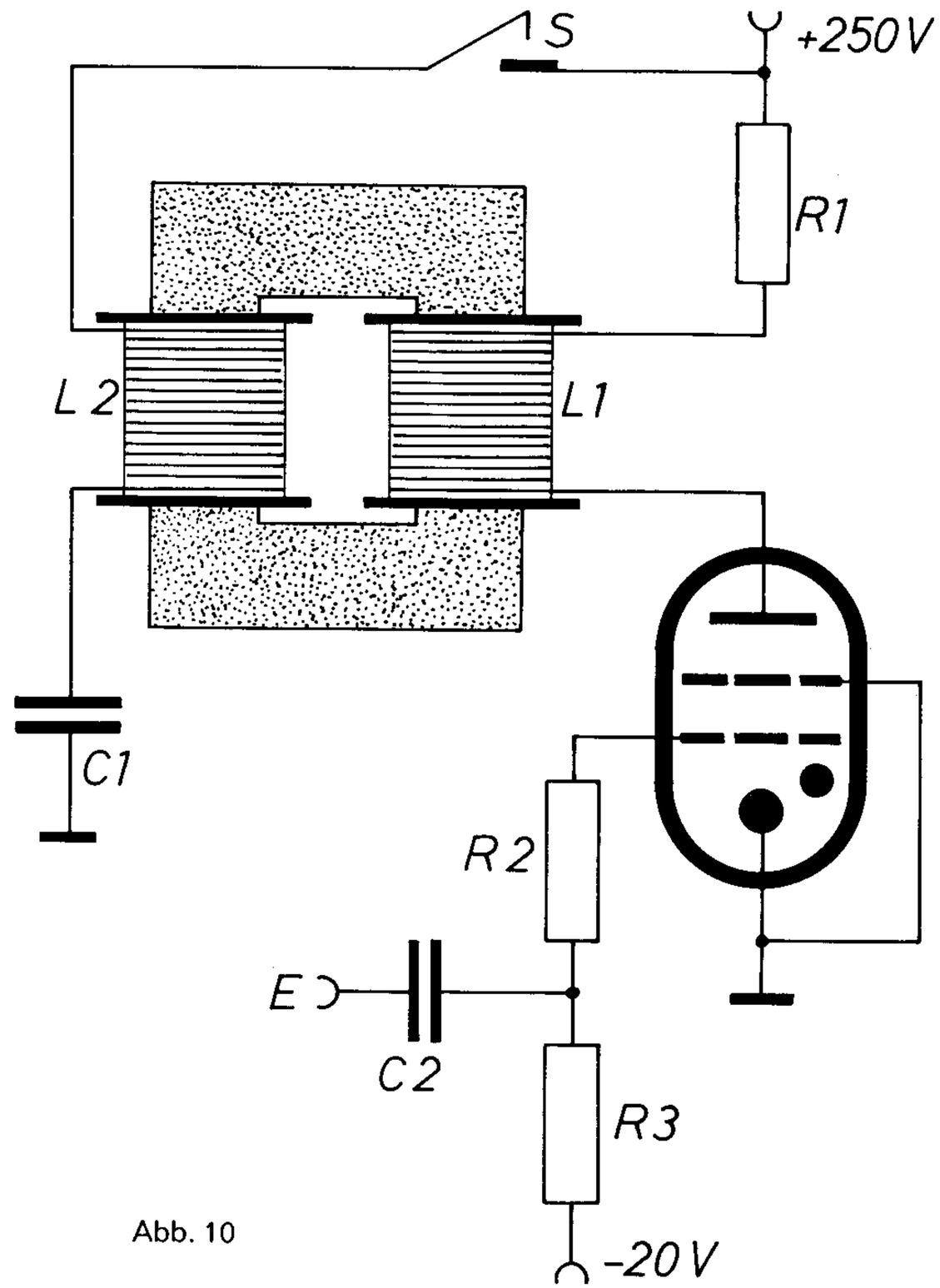


Abb. 10

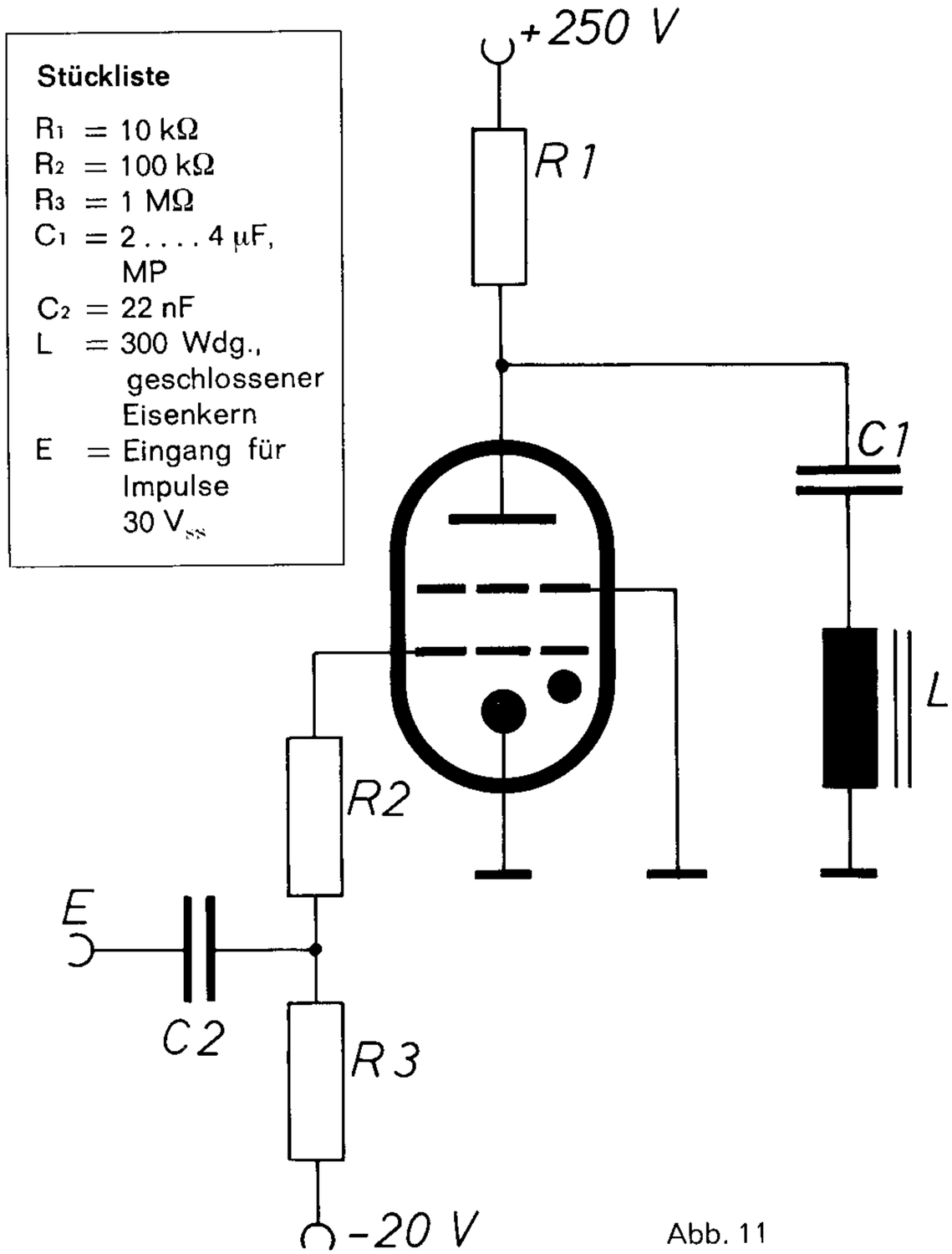


Abb. 11

Löschschaltung mit Schwingkreis

Diese Art der Thyratronlöschung ist die rentabelste, da hierbei günstige Werte für R_a gewählt werden können. (Abb. 11)

R_a kann dabei als Hochleistungsrelais ausgebildet sein. Mit einer Gleichspannung von 250 V und einem Strom von 100 mA sind gut 20 W Treiberleistung aufzubringen, was die große Leistungsfähigkeit unseres Kleinthyratrons unter Beweis stellt. Durch geeignete Wahl von L und C ist eine Anpassung an den Außenwiderstand möglich, allerdings wird dadurch auch für die Impulsfolgefrequenz eine obere Grenze festgelegt.

Zur Wirkungsweise dieser Löschschaltung sei kurz folgendes gesagt: Nach der Entladung von C_1 über L und über das Thyratron kommt es zum „Überschwingen" des LC-Kreises, dabei wird kurzfristig die Anodenspannung unter 8 V gedrückt (in den meisten Fällen schwingt die Anodenspannung sogar zu negativen Werten über), so daß Löschung erfolgt. Der Innenwiderstand des Thyratrons wirkt dabei dämpfend, wegen $R_i = 80\ \Omega$ ist jedoch die Dämpfung recht klein, und die Schaltung arbeitet besonders zuverlässig. Für die Induktivität L kommen Werte zwischen 0,5 H und 5 H in Frage.

Taktgeber für zwei Schaltzeiten

Abb. 12 gibt eine interessante und vielseitig verwendbare Schaltung wieder. Bei der Betrachtung des Schaltbildes wird man an einen mit zwei Vakuumröhren aufgebauten astabilen Multivibrator erinnert. Im Unterschied dazu gibt es hier keine kontinuierliche Änderung des Anodenstroms; für den Röhrenstrom kommen nur 0 und ein zweiter, durch U_B und R_a definierter Wert in Frage.

Das Oszillogramm der Spannung an einer der beiden Anoden zeigt einen völlig „verrauschten" Dauerstrich und Nadelimpulse mit einer Folgefrequenz zwischen 10 und 50 Hz.

R_L wird sinnvollerweise als Relais ausgebildet, dadurch werden abwechselnd zwei Schaltzeiten produziert. Es ist dann nicht nötig, auch R_4 als Relais auszubilden,

Stückliste zu Abb. 12

	R_5 = 100 kΩ
U_B = +250 V	R_6 = 100 kΩ
R_1 = 10 . . . . . 30 kΩ	C_1 = 100 pF . . . . . 1 nF
R_2 = 1 . . . . . 5 MΩ	C_2 = 2 µF
R_3 = 1 . . . . . 5 MΩ	C_3 = 0,5 µF
R_4 = 10 . . . . . 30 kΩ	C_4 = 0,5 µF

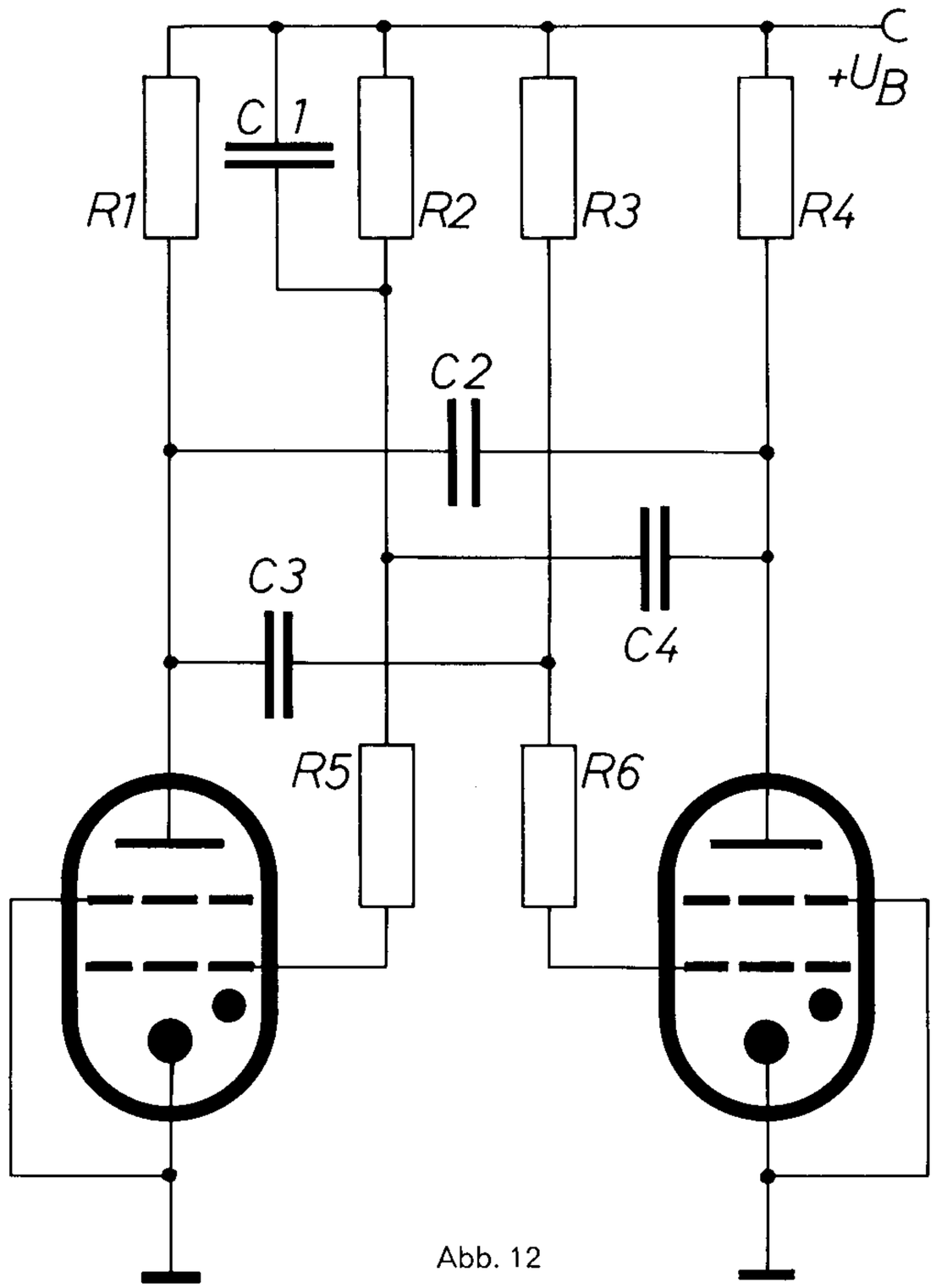


Abb. 12

denn die Ruhekontakte des Relais R_1 leisten das gleiche wie die Arbeitskontakte eines Relais R_4. Die erzeugten Schaltzeiten sind im wesentlichen von R_2 und R_3 abhängig. C_1 bringt eine kleine Desymmetrierung, so daß beim Einschalten das linke Thyratron zuerst zündet. Werden R_2 und R_3 unterschiedlich gewählt, so erübrigt sich C_1.

Zur Wirkungsweise der Schaltung ist folgendes zu sagen: Beim Durchzünden des linken Thyratrons sinkt auch U_{G1}, und zwar auf einen Wert unter 8 V. Über alle drei Kondensatoren C_2, C_3 und C_4 gehen negative Impulse zu Anode und G_1 des rechten Thyratrons und erzeugen dort für einen Augenblick ein Potential unter 8 V, so daß dieses Thyratron löscht. Erst wenn sich C_2 und C_4 aufgeladen haben (über R_2 geht das sehr langsam), kann das rechte Thyratron wieder zünden, dabei wird das linke gelöscht.

Stückliste zu Abb. 13

R_1	= R_2 = 28 kΩ
REL	= Relais 2 kΩ
T	= Transformator 2 x 600 Windungen
C	= 10 µF, MP
R_3	= R_4 = 100 kΩ
R_5	= R_6 = 1 MΩ

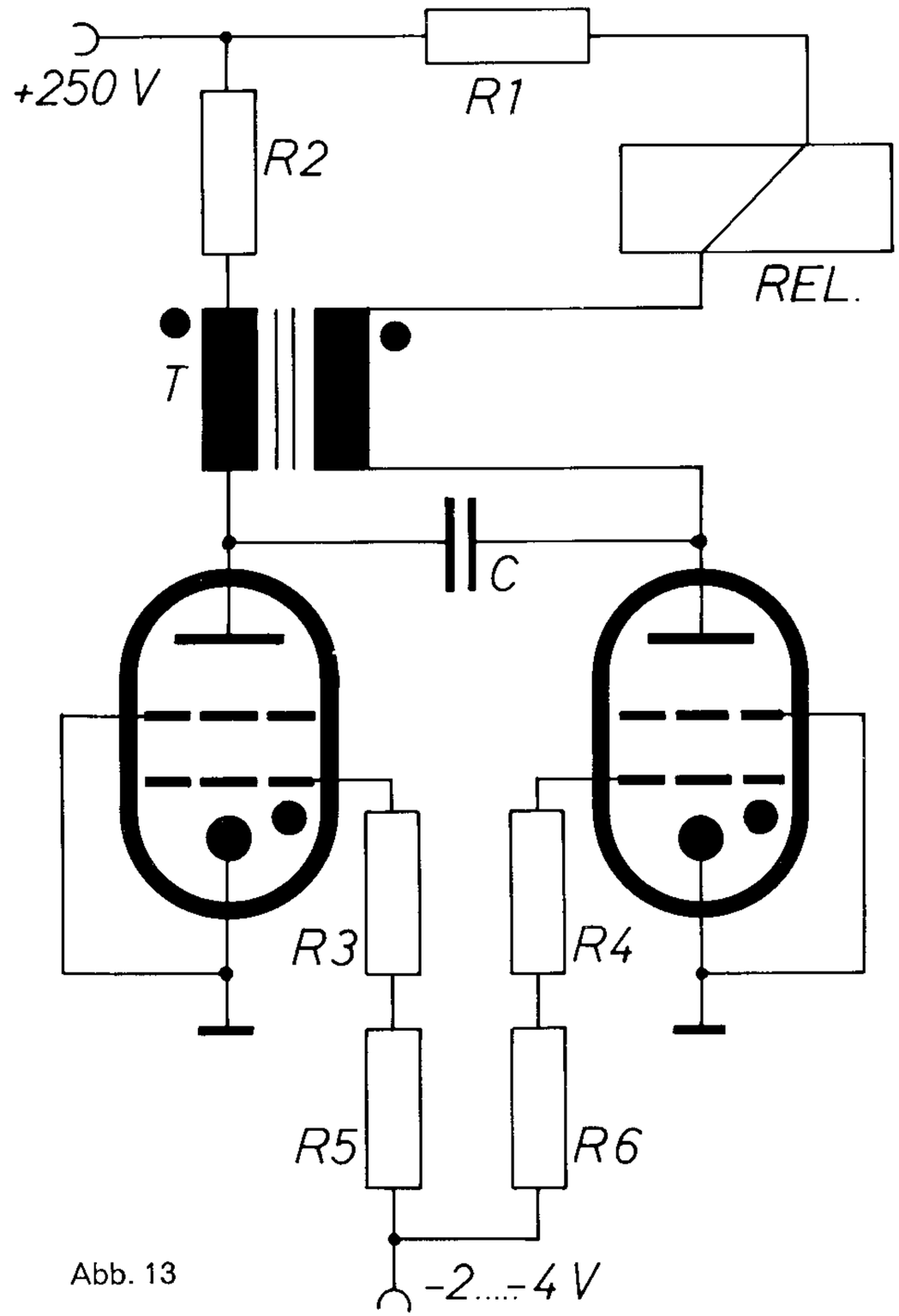


Abb. 13

Taktgeber mit Übertrager 1:1

Die Schaltung in Abb. 13 hat ähnliche Anwendungsmöglichkeiten wie die in Abb. 12 dargestellte. Der Unterschied besteht darin, daß jetzt die Löschimpulse induktiv auf die Anode der Gegenröhre übertragen werden. Die Gitter G_1 der beiden Röhren bleiben dabei leicht negativ vorgespannt.
Werden die Anschlüsse einer Spule vertauscht, so bleibt die Schaltung trotzdem funktionstüchtig, da der LC-Zweig auch beim nächsten „Überschwingen" die Anodenspannung der Gegenröhre noch unter 8 V drückt. Die Schaltfrequenz ist leicht durch Änderung von $-U_{G1}$ zu beeinflussen, der Regelbereich ist jedoch sehr eng, die Spannungen müssen etwa zwischen 2 und 4 V liegen. $-U_{G1}$ ist „mit Fingerspitzengefühl" einzustellen, gegebenenfalls ist eine eigene Stromversorgung für das Steuergitter aufzubauen, am besten mit einer Taschenlampenbatterie von 4,5 V und einem linearen 1-kΩ-Potentiometer.

Taktgeber mit Spartrafo

Zur vorangegangenen Schaltung ist noch eine kleine Variante möglich; dabei wird anstelle des Übertragers 1:1 ein „Spartrafo" verwendet, wie er zum Anschluß von 110-V-Geräten an 220 V~ üblich ist (Abb. 14 oben). Dieser Trafo hat eine durchgehende Wicklung mit einer Mittelanzapfung, die hier zur Zuführung des Anodenstroms für beide Röhren dient. R_1 ist kapazitiv überbrückt, um die Dämpfung des Schwingkreises gering zu halten, in Serie mit R_2 kann ein Relais in die Schaltung genommen werden. Die Feineinstellung der Schaltfrequenz geschieht wieder durch Änderung der Gitterspannung $-U_{G1}$ zwischen 2 und 4 Volt.

Zählwerk-Treiber

(Abb. 14 unten)

Dem Amateur stehen meist nur niederohmige Zählwerke zur Verfügung, z. B. als Post-Ausschlachtteil mit einem Widerstand von 100 Ohm. Für solche Zählwerke muß die Schaltung ein wenig ungewöhnlich aufgebaut werden. Die Erregerwicklung des Zählwerks befindet sich im Entladekreis des Kondensators C_3. Beim Durchzünden des Thyratrons entlädt sich dieser Kondensator über die Röhre und über die Induktivität L. Das Überschwingen dieses LC-Kreises besorgt die

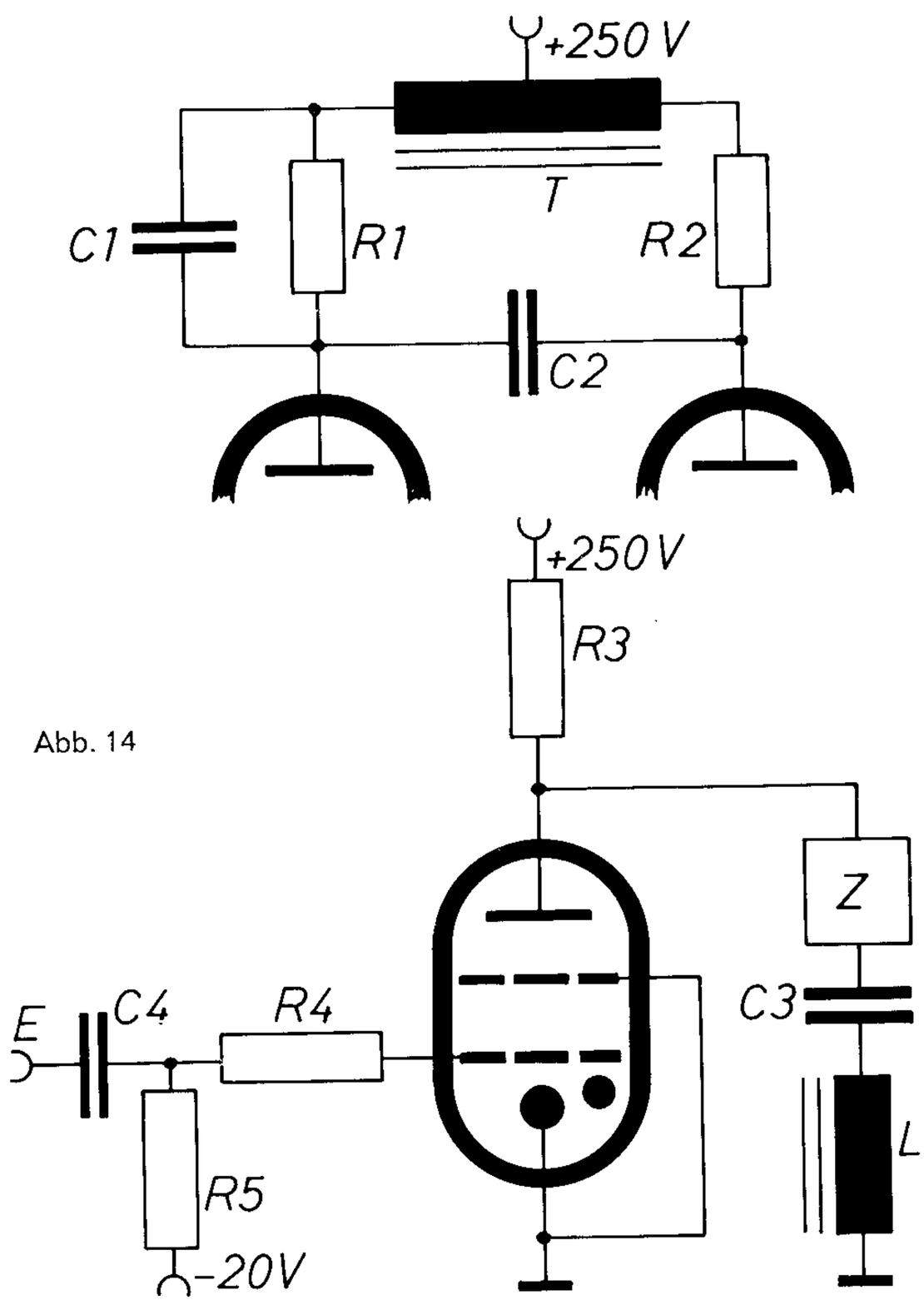


Abb. 14

Löschung des Thyratrons. Die Neuaufladung des Kondensators C_3 geschieht über den Widerstand R_3. Sein Wert ist mit 28 kΩ recht hoch gewählt, dadurch wird verhindert, daß das Zählwerk durch den Ladestrom noch einmal anspricht. Dies hat weiter zur Folge, daß die Zählgeschwindigkeit recht niedrig ist. Gegebenenfalls kann auch mit einem kleinen Wert für R_3 gearbeitet werden, man legt dann parallel zum Zählwerk eine niederohmige Diode, die für den Entladestrom in Sperrichtung, für den Ladestrom in Durchlaßrichtung gepolt ist. Ist ein hochohmiges Zählwerk vorhanden (2,5 kΩ oder mehr), so kann es in den Anodenkreis genommen werden.

Für L kommen Spulen mit einer Induktivität von 200 mH bis 2 H in Frage.

Stückliste zu Abb. 14

R_1	= 10 kΩ		
R_2	= 10 kΩ	C_1	= 1 µF
R_3	= 28 kΩ	C_2	= 10 µF
R_4	= 100 kΩ	C_3	= 10 µF
R_5	= 1 MΩ	C_4	= 22 nF

T = Spartrafo 110—220 V~
Z = Zählwerk 100 Ω
L = 600 Windungen, offener Eisenkern
E = Eingang für Impulse 30 V_{ss}

Hochspannungserzeugung

Abb. 15 zeigt eine Schaltung zur Erzeugung einer Hochspannung. Zur Wirkungsweise ist folgendes zu sagen: Bei zunächst ungeladenem Kondensator C besteht zwischen Anode und Katode keine Spannung und somit kein Anlaß zur Zündung. Während des Ladevorgangs fließt durch den Katodenwiderstand R_2 der Ladestrom und erzeugt dort einen Spannungsabfall, der dem Gitter G_1 gegenüber der Katode ein negatives Potential verleiht, so daß es auch jetzt zu keiner Zündung kommt. Erst wenn der Ladestrom abklingt (er nimmt exponentiell ab) und der Spannungsabfall am Katodenwiderstand unter einen bestimmten Wert absinkt, zündet das Thyratron. Nun entlädt sich C über L_1 und die Röhre. C

Stückliste zu Abb. 15

R_1	=	100 kΩ
R_2	=	4 . . . . . 30 kΩ
L_1	=	300 Windungen
L_2	=	3000 . . . . . 30 000 Windungen
RÖ	=	Stroboskop oder Glimmlampe höherer Leistung oder ausgebrannte (nicht beheizte) Leuchtstoffröhre 20 W

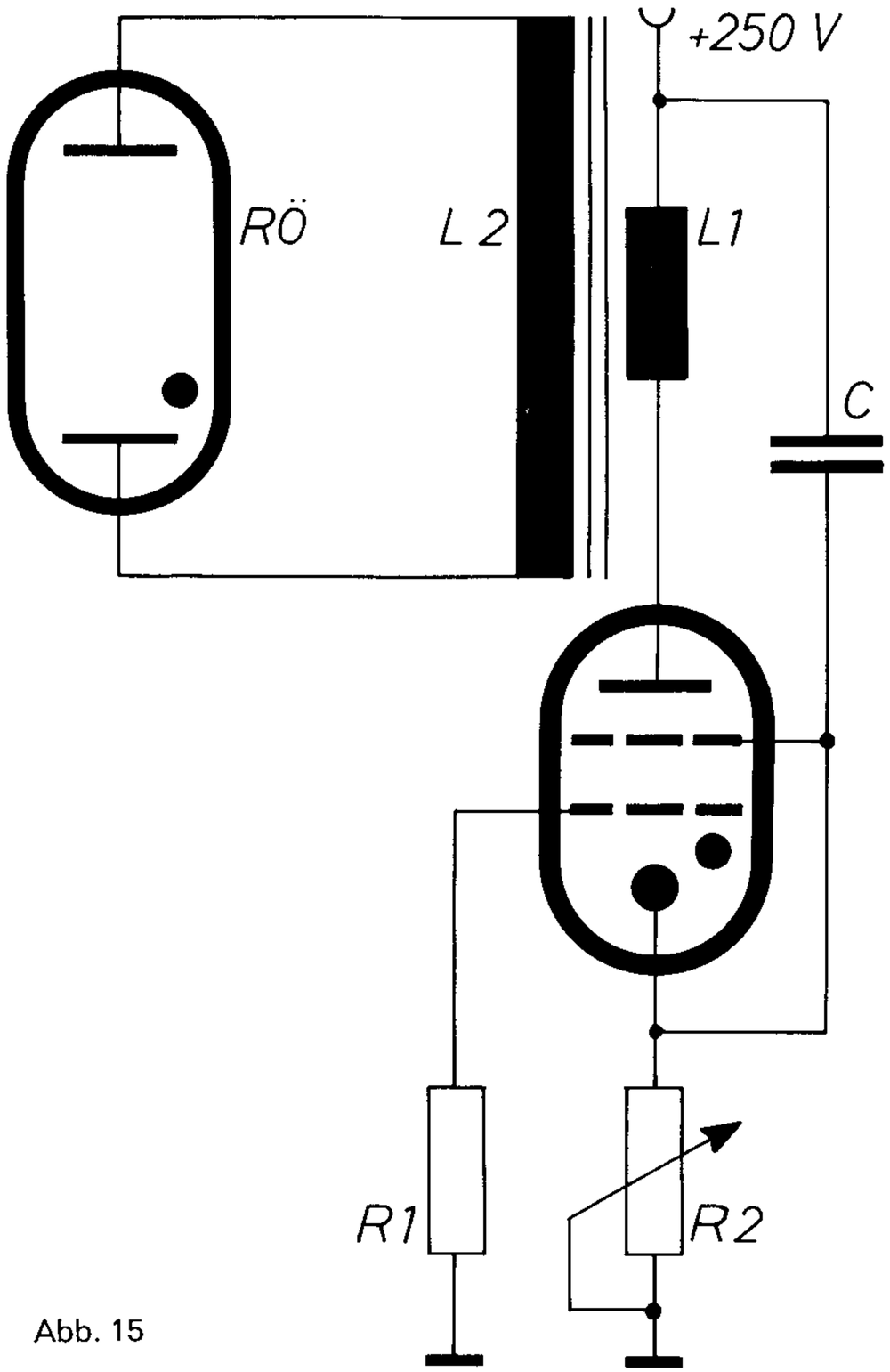


Abb. 15

und L_1 bilden dabei einen Schwingkreis, der durch den Innenwiderstand des Thyratrons (in der Größenordnung 50 Ohm) nur mäßig bedämpft wird, so daß es zum „Überschwingen" kommt, d. h. C lädt sich mit entgegengesetzter Polung auf. Die Anodenspannung (besser: die Potentialdifferenz zwischen Anode und Katode) sinkt unter Null, also auch unter die Brennspannung, das Thyratron löscht, und der Ladevorgang beginnt von neuem.

Bei den in der Schaltung verwendeten Bauteilen ist auf folgendes zu achten: C darf keine gepolte Type sein, und R_2 muß höher belastbar sein. Steht ein Potentiometer (drahtgewickelte Ausführung) in der Größenordnung 4 kΩ bis 30 kΩ zur Verfügung, so kann die Arbeitsfrequenz fein eingestellt werden.

Sinnvollerweise wird L_1 als Primärwicklung eines Transformators ausgebildet. Je nach benötigter Sekundärspannung werden 3000 bis 30 000 Windungen als Sekundärwicklung aufgebracht. Als Verbraucher kann eine ausgediente Leuchtstoffröhre verwendet werden, die durch Heizfadenbruch unbrauchbar geworden ist.

Erzeugung von Kippschwingungen

Ähnlich wie mit einer Glimmlampe lassen sich mit dem Thyratron Kippschwingungen erzeugen; dabei wird die Differenz zwischen Zündspannung und Brennspannung ausgenutzt (ungefähr 40 V). Frequenzbestimmend ist die Zeitkonstante $R_1 \cdot C_1$ (Abb. 16 oben). Für R_1 = 125 kΩ und C_1 = 80 nF ergibt sich beispielsweise eine Zeitkonstante von einer Hundertstelsekunde und dementsprechend eine Kippfrequenz von 100 Hertz. Setzen für kleinere Zeitkonstanten die Schwingungen aus, so ist R_2 zu verkleinern. Kommt man mit der Zeitkonstanten in die Größenordnung der Entionisierungszeit (Erholzeit) des Thyratrons, so können keine Schwingungen mehr zustande kommen, da dann die Röhre im gezündeten Zustand verharrt. Das Abreißen der Schwingungen wird am besten auf dem Schirm des Oszillografen verfolgt.

Stückliste zu Abb. 16

R_1 = 125 kΩ
R_2 = 100 kΩ
R_3 = 50 . . . . . 100 kΩ
R_4 = 100 kΩ
R_5 = Potentiometer 100 kΩ linear
C_1 = 15 nF . . . . . 0,5 µF
C_2 = 5 . . . . . 10 nF

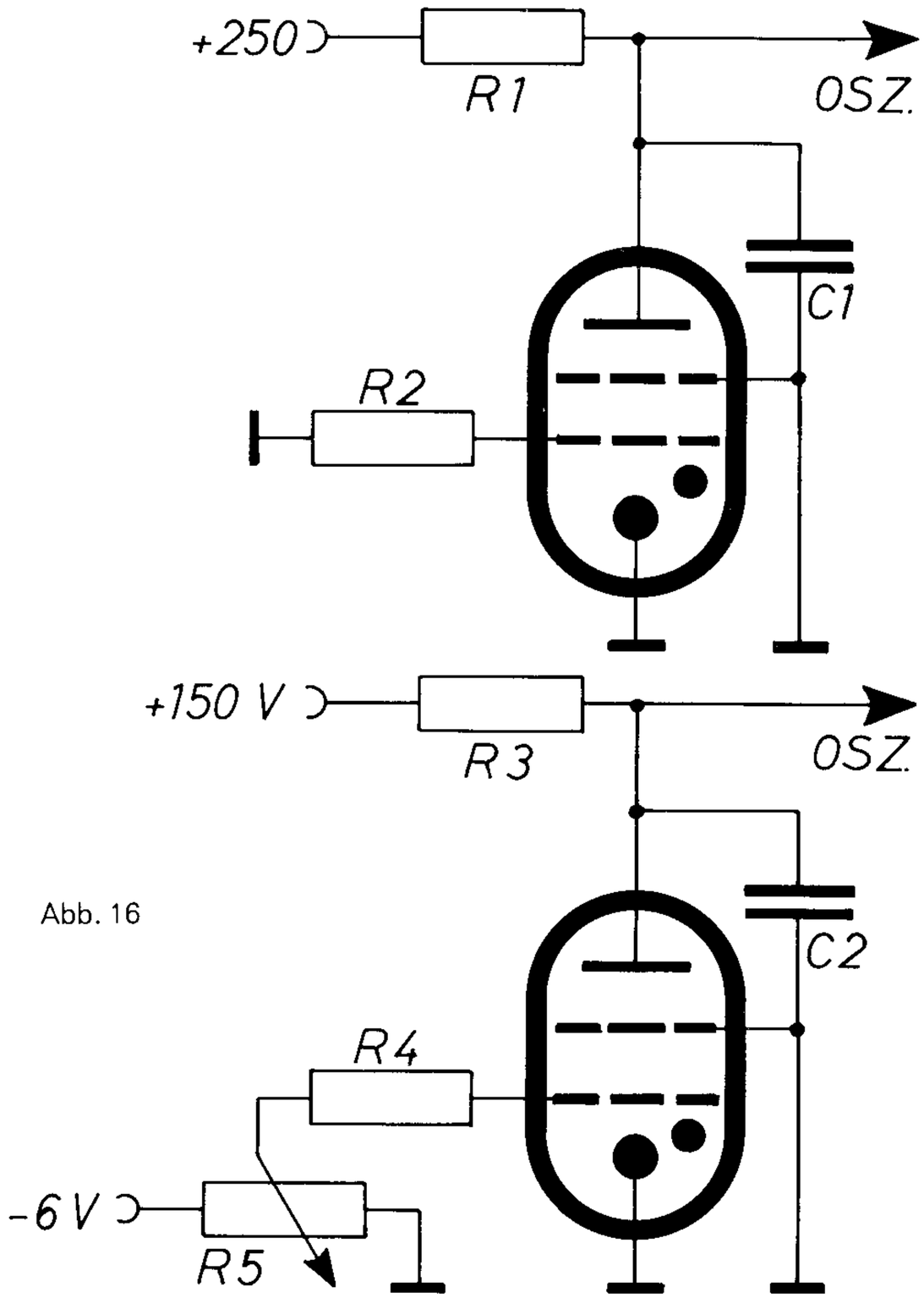


Abb. 16

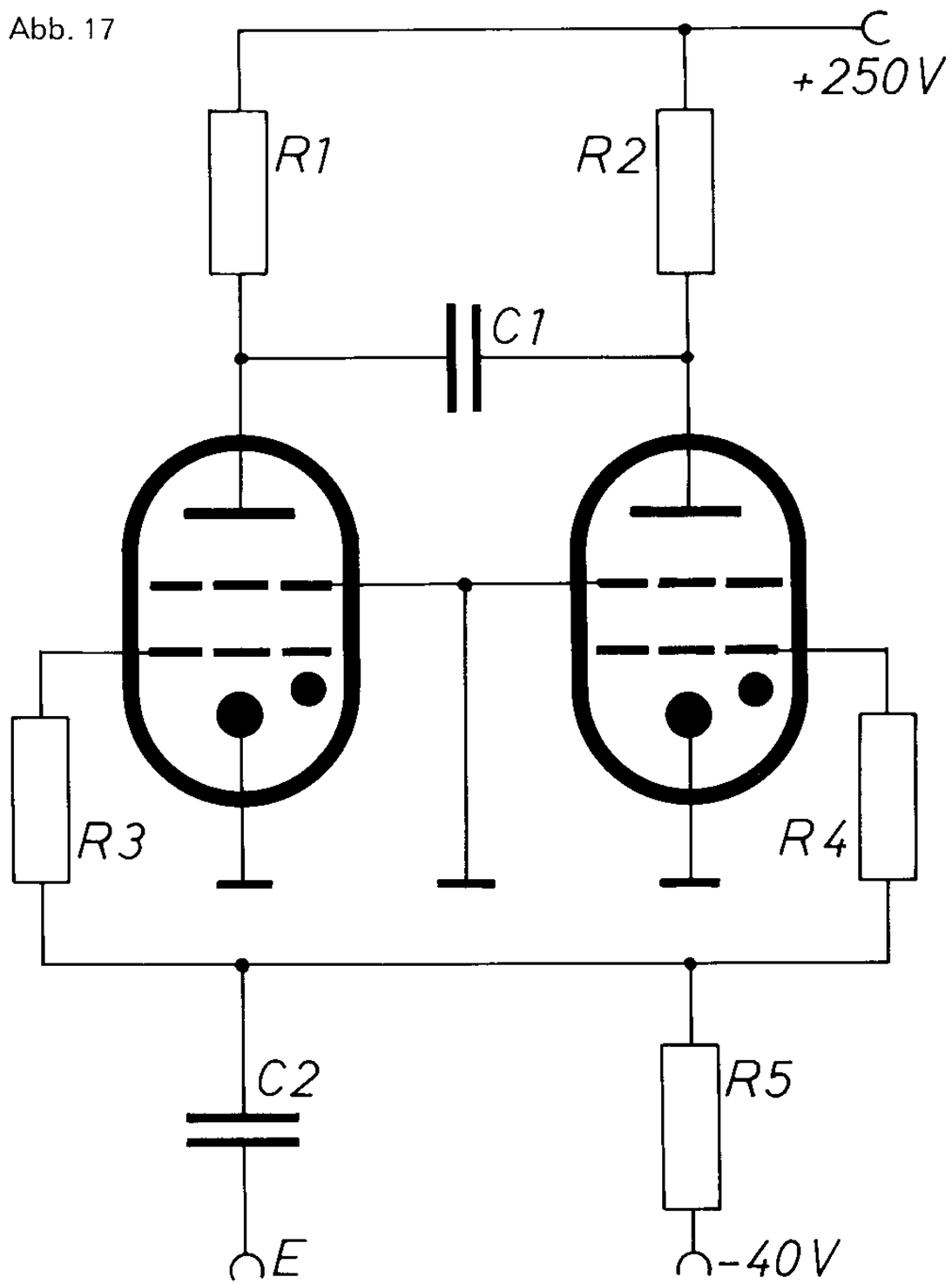
Sägezahngenerator mit Feinregelung

Die Schaltung in Abb. 16 unten sieht eine Regelmöglichkeit für die Gitterspannung vor. Damit sind in gewissen Grenzen auch Kippfrequenz und Kippspannungsamplitude einstellbar. Die Linearität des Spannungsanstiegs ist hier wesentlich besser als in der vorhergehenden Schaltung, so daß der Aufbau auch als Generator für die Zeitablenkung einfacher Oszillografen verwendet werden kann. R_3 und C_2 sollten dann umschaltbar oder in anderer Weise veränderlich sein (Ausbildung als Potentiometer bzw. Drehkondensator). R_3 darf den Wert 1,5 kΩ nicht unterschreiten, außerdem ist dann auf die Belastbarkeit der Widerstände zu achten. Die höchste mit dieser Schaltung erreichbare Kippfrequenz wird bei 10 kHz liegen.

Flip-Flop mit zwei Thyratrons

Bei den beiden stabilen Zuständen der Schaltung ist jeweils ein Thyratron gezündet und das andere gelöscht. Durch Ansteuerung mit einem Impuls ausreichender Höhe „kippt" die Schaltung von einem stabilen Zustand in den anderen. Die Beobachtung dieses Vorgangs ist leicht durch eine Glimmlampen-Betriebswertanzeige (siehe Abb. 4!) möglich.

Abb. 17



Die Schaltung wird wie folgt in Betrieb genommen: Die Gitterspannung wird auf —40 V eingestellt und dann die Anodenspannung angelegt. Die beiden Thyratrons bleiben zunächst gelöscht. Dann nimmt man die Gitterspannung auf „Null" zurück; sogleich zünden beide Röhren. Jetzt wird die negative Gittervorspannung wieder erhöht, bis eins der beiden Thyratrons löscht. Eine Rückstellung auf die Ausgangsposition ist dann immer durch eine kurzfristige Verbindung von G_1 eines der Thyratrons mit Masse möglich.

Die Schaltung liefert eine Untersetzung der Impulszahl im Verhältnis 2 : 1. Von einer Anode aus können weitere Flip-Flop-Stufen angesteuert werden, gegebenenfalls unter Verwendung von Dioden und RC-Gliedern zur Impulsformung.

Stückliste zu Abb. 17

R_1 = 100 kΩ
R_2 = 100 kΩ
R_3 = 100 kΩ
R_4 = 100 kΩ
R_5 = 500 kΩ
C_1 = 2 . . . . . 4 µF
C_2 = 22 nF
E = Eingang für Impulse 30 V_{ss}

Kippgenerator mit Amplitudenregelung

Die Schaltung Abb. 18 stammt aus einem einfachen Kippgerät für die Zeitablenkung eines Oszillografen und war ursprünglich für die Gastriode AC 50 entworfen worden. Soll in mehreren Frequenzbereichen gearbeitet werden, so sind für C_2 umschaltbare Kondensatoren einzusetzen; in Frage kommen: 750 pF, 4 nF, 20 nF, 0,1 µF, 0,5 µF. In diesen 5 Bereichen können dann Frequenzen von 10 Hz bis 20 kHz erzeugt werden. Mit R_4 kann die Amplitude der Kippspannung eingestellt werden; die Amplitudenänderung bringt allerdings auch eine Frequenzänderung mit sich. Bei größerer Amplitude, wie sie zur Ablenkung des Elektronenstrahls benötigt wird, ist die Linearität des Spannungsanstiegs recht schlecht. Abhilfe schafft eine „Ladepentode", die man anstelle von R_4 in die Schaltung nimmt. Die Typen EF 41, EF 85 und andere sind dafür in gleicher Weise geeignet. G_1, G_3 und Katode werden an Masse gelegt, die Schirmgitterspannung wird von 0 bis 200 V regelbar eingerichtet (Spannungsteiler ähnlich wie R_2 und R_4 in Abb. 18). Mit der Schirmgitterspannung ändert sich der Innenwiderstand der Röhre und dementsprechend die Arbeitsfrequenz der Schaltung. Die Ladepentode und das Thyratron sind aus getrennten Heizleitungen zu speisen.

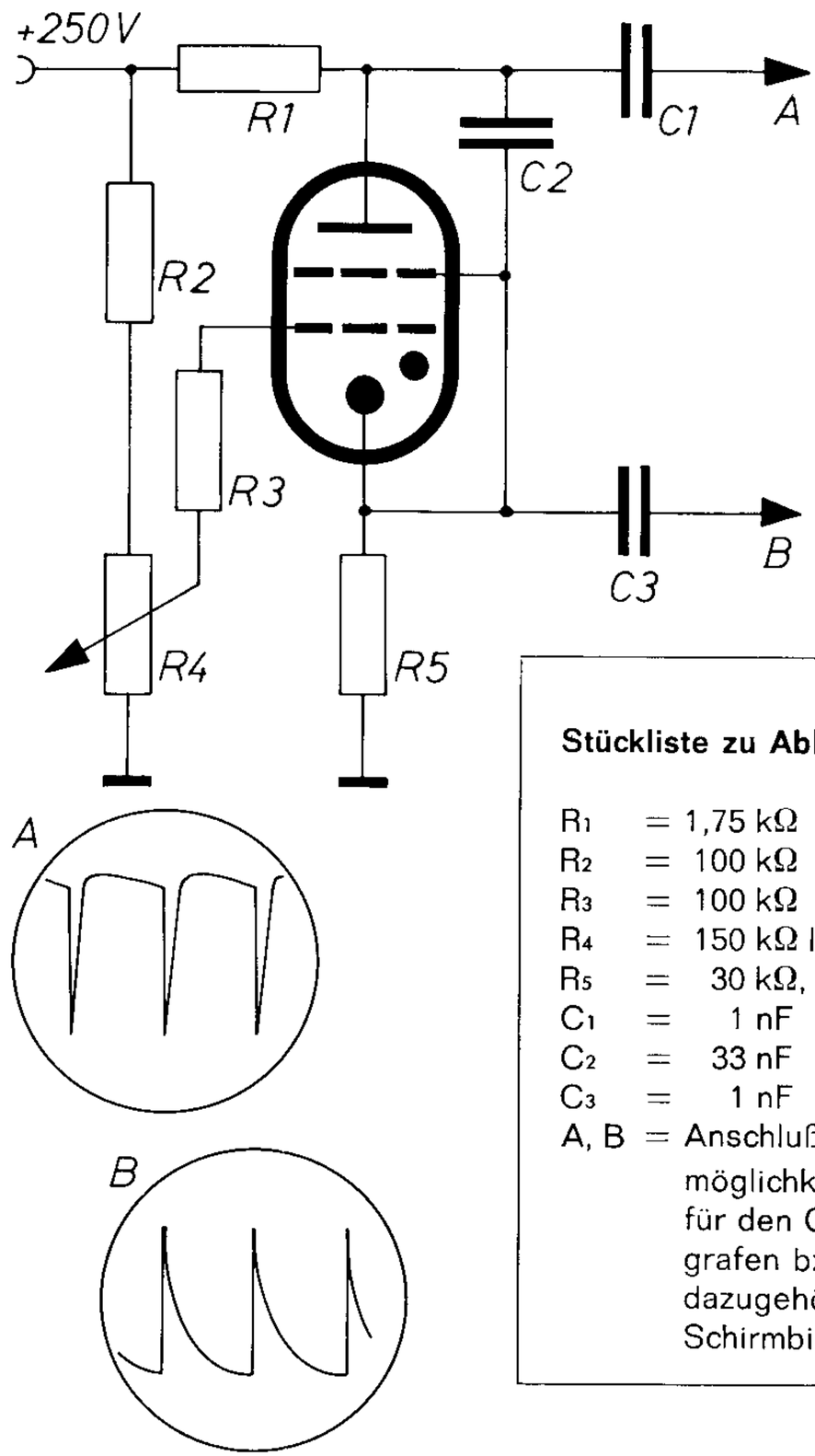


Abb. 18

Stückliste zu Abb. 18

R_1	=	1,75 kΩ
R_2	=	100 kΩ
R_3	=	100 kΩ
R_4	=	150 kΩ linear
R_5	=	30 kΩ, 3 W
C_1	=	1 nF
C_2	=	33 nF
C_3	=	1 nF
A, B	=	Anschlußmöglichkeiten für den Oszillografen bzw. die dazugehörigen Schirmbilder

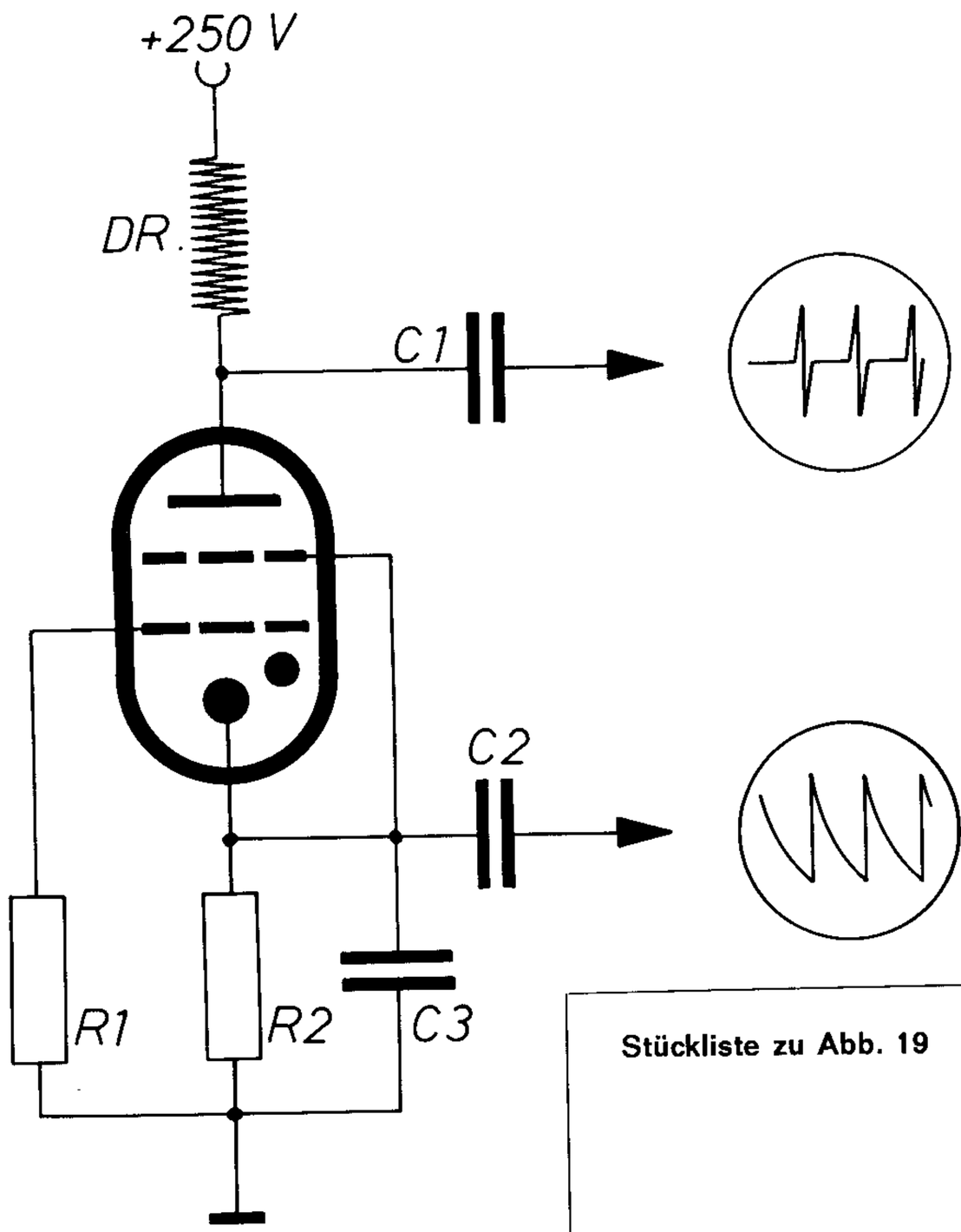


Abb. 19

Erzeugung von Nadelimpulsen

Gelegentlich benötigt man einen Generator für positive oder negative Nadelimpulse. Eine entsprechende Schaltung kann nach Abb. 19 aufgebaut werden. Sie liefert positive und negative Impulse; durch Einsatz einer Diode kann erreicht werden, daß nur positive bzw. negative Impulse den Ausgang verlassen. Im Unterschied zum Aufbau in Abb. 18 liegt hier der Ladekondensator (C_3) parallel zum Katodenwiderstand (R_2), d. h. der Ladestrom fließt über das Thyratron, der Entladestrom dagegen über R_2. An der Katode haben wir wieder den gewohnten Spannungsablauf (siehe Abb. 19, unteres Schirmbild) in Sägezahnform. Um an der Anode Impulse abgreifen zu können, wurde eine Drossel DR eingefügt. Im danebenstehenden Schirmbild ist die Kurvenform an diesem Ausgang zu erkennen. R_2 und C_3 sind in weiten Grenzen variabel, so daß Frequenzen zwischen 1 Hz und 10 kHz bereitgestellt werden können.

Stückliste zu Abb. 19

R_1	= 100 kΩ	C_1	= 1 nF
R_2	= 12 kΩ, 3 W	C_2	= 1 nF
		C_3	= 33 nF

oberer Kreis: Oszillogramm der Anodenspannung
unterer Kreis: Oszillogramm der Katodenspannung
DR = HF-Drossel 2,5 mH

Grenzfrequenz des Thyratrons PL 21

Abb. 20 zeigt eine Schaltung, mit der die Grenzfrequenz festgestellt und die Erholzeit (Entionisationszeit) errechnet werden kann. Bei E schließt man einen Tonfrequenzgenerator an, der bis mindestens 30 kHz durchstimmbar ist und eine Spannung von 10 V_{eff} abzugeben vermag. Sollte die Ausgangsspannung des Generators geringer sein, so ist die negative Gittervorspannung U_{G1} auf — 5 V herabzusetzen.
Der Spannungsverlauf an der Anode des Thyratrons wird mit dem Oszillografen verfolgt. Es erscheint

Stückliste zu Abb. 20

R_1	=	100 kΩ
R_2	=	100 kΩ
R_3	=	1 MΩ
C_1	=	300 pF
C_2	=	2 nF
C_3	=	22 nF
E	=	Eingang für Wechselspannungen 10 V_{eff}, beliebige Kurvenform
OSZ	=	Anschluß an den Oszillografen

Schirmbilder: siehe Text

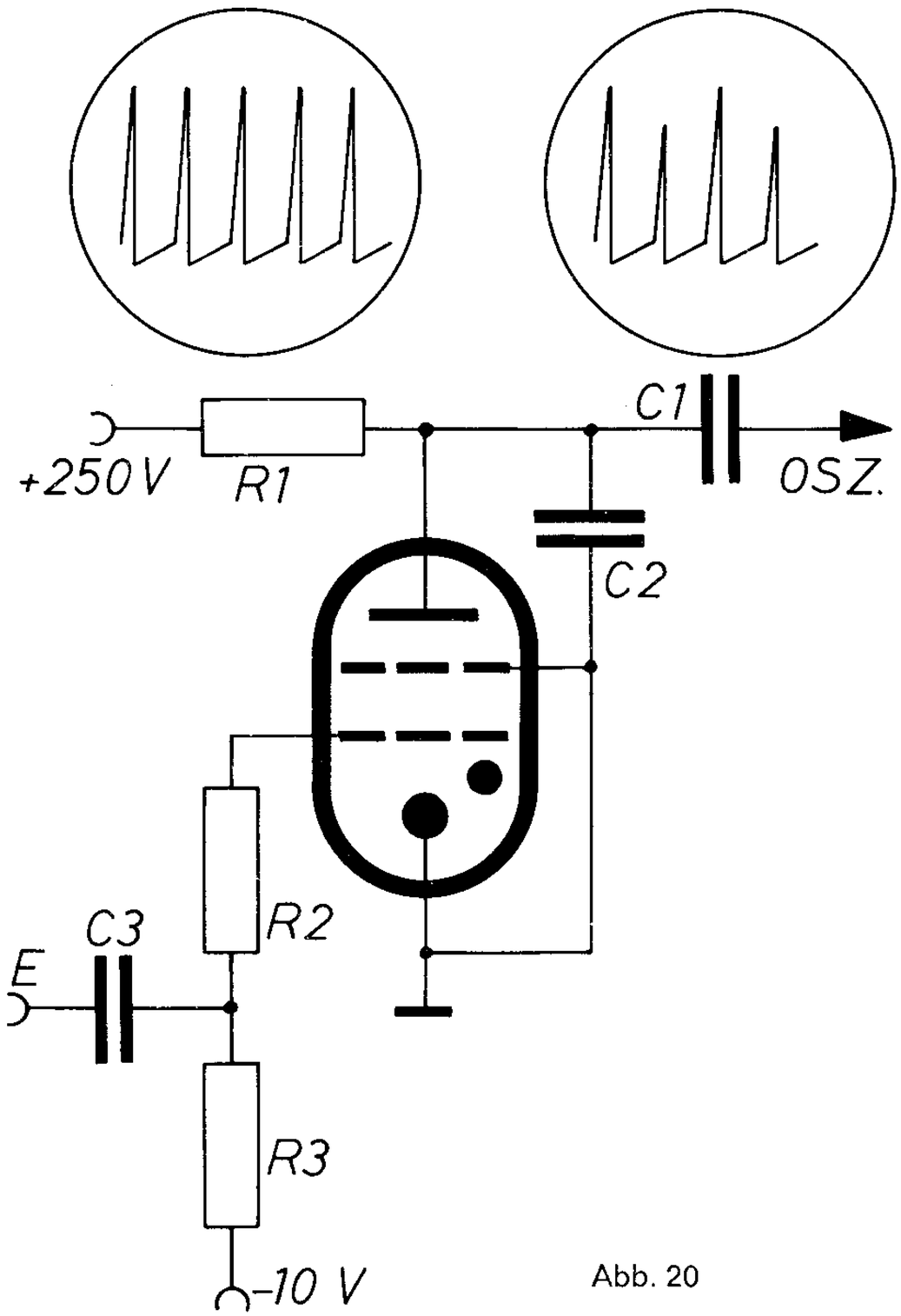


Abb. 20

ein Schirmbild gemäß Abb. 20 links oben. Die „Ab"-Striche der Spannungsimpulse sind sehr dünn, die Schreibgeschwindigkeit des Elektronenstrahls ist dort sehr hoch, was auf eine sehr kurze Zündzeit schließen läßt.
Kommt man in das Frequenzgebiet über 25 kHz, so wird jeder zweite Impuls etwas „niedriger" (Abb. 20 oben rechts), was darauf hindeutet, daß die Synchronisierbarkeit kurz vor dem „Zusammenbruch" steht. Bei 28 kHz ist dann hierfür die Grenze ereicht. Darüber hinaus gibt es nur noch „wilde Schwingungen", da jetzt der nächste Steuerimpuls ankommt, bevor die Röhre entionisiert und dementsprechend „gelöscht" ist. Aus dieser Grenzfrequenz von 28 kHz läßt sich nun die Erholzeit des Thyratrons leicht errechnen; sie beträgt

$$T = \frac{1}{28\ \text{kHz}} = 36\ \mu\text{s}$$

Schutzschaltung für Senderendstufen

In Amateursendern sind die Endstufenröhren (PA-Röhren) wegen der großen Katodenergiebigkeit besonders gefährdet. Nachdem diese Röhren auch verhältnismäßig kostspielig sind, lohnt sich eine Schutzschaltung, die das „Hochgehen" der PA-Röhren verhindert. Abgesehen von der high-μ-Schaltung (G_1 und G_2 an Masse, Ansteuerung an der durch Drossel oder Eingangskreise hochgelegten Katode) werden Senderendstufen mit negativen Gittervorspannungen betrieben. Fällt nun diese negative Spannung aus, so fließt ein unzulässig hoher Anodenstrom, die Anoden werden rotglühend, Metallteile verdampfen, und binnen weniger Augenblicke ist die Röhre unbrauchbar geworden. Um dies zu verhindern, führt man den Schirmgitterstrom über den Ruhekontakt eines Relais, das im Anodenkreis des Thyratrons liegt. Das Steuergitter der PA-Röhre ist gleichstrommäßig mit dem Steuergitter des Thyratrons (bei großen negativen Gittervorspannungen am besten über einen Spannungsteiler, z. B. R 2 — R 4 in Abb. 21) verbunden. Geht nun $-U_{G1}$ unter einen bestimmten Wert zurück, so zündet das Thyratron, das Relais zieht an, der Ruhekontakt löst sich, und die Schirmgitterleitung ist unterbrochen.
Bei dieser Gelegenheit sei darauf hingewiesen, daß es falsch wäre, die Anodenleitung zu unterbrechen und die Schirmgitterleitung bestehen zu lassen. In diesem Fall fließt ein zu großer Schirmgitterstrom, so daß die Röhre Schaden nimmt.
Abweichend von den Angaben in Abb. 21 kann das Thyratron PL 21 auch mit anderen Anodenspannungen betrieben werden, z. B. mit 300 V, vor allem dann, wenn die Schirmgitterspannung in dieser Größenordnung liegt. Gegebenenfalls können auch 220 V ~ oder 110 V ~ verwendet werden. Man spart dadurch den

Unterbrecher S, weil bei Wechselstrombetrieb das Thyratron nach Wiedereinsetzen der negativen Gittervorspannung von selbst wieder löscht. Das Relais muß dann allerdings mit einem Parallelkondensator von 4 µF „beruhigt" werden; es treten sonst Flattererscheinungen auf.

Stückliste zu Abb. 21

R_1	=	10 kΩ
R_2	=	500 kΩ
R_3	=	100 kΩ
R_4	=	Einstellpotentiometer 50 kΩ
C_1	=	20 nF
C_2	=	20 nF
PA	=	Senderöhre, z. B. 6146
A	=	Einspeisungspunkt für die HF-Ansteuerung
B	=	Einspeisungspunkt für die negative Gittervorspannung
DR_1	=	2,5 mH
DR_2	=	2,5 mH
K	=	Relaiskontakt (Ruhekontakt)
S	=	Unterbrecherkontakt (Ruhekontakt), manuell zu betätigen
REL	=	Relais 1 . . . . . 10 kΩ

Abb. 21

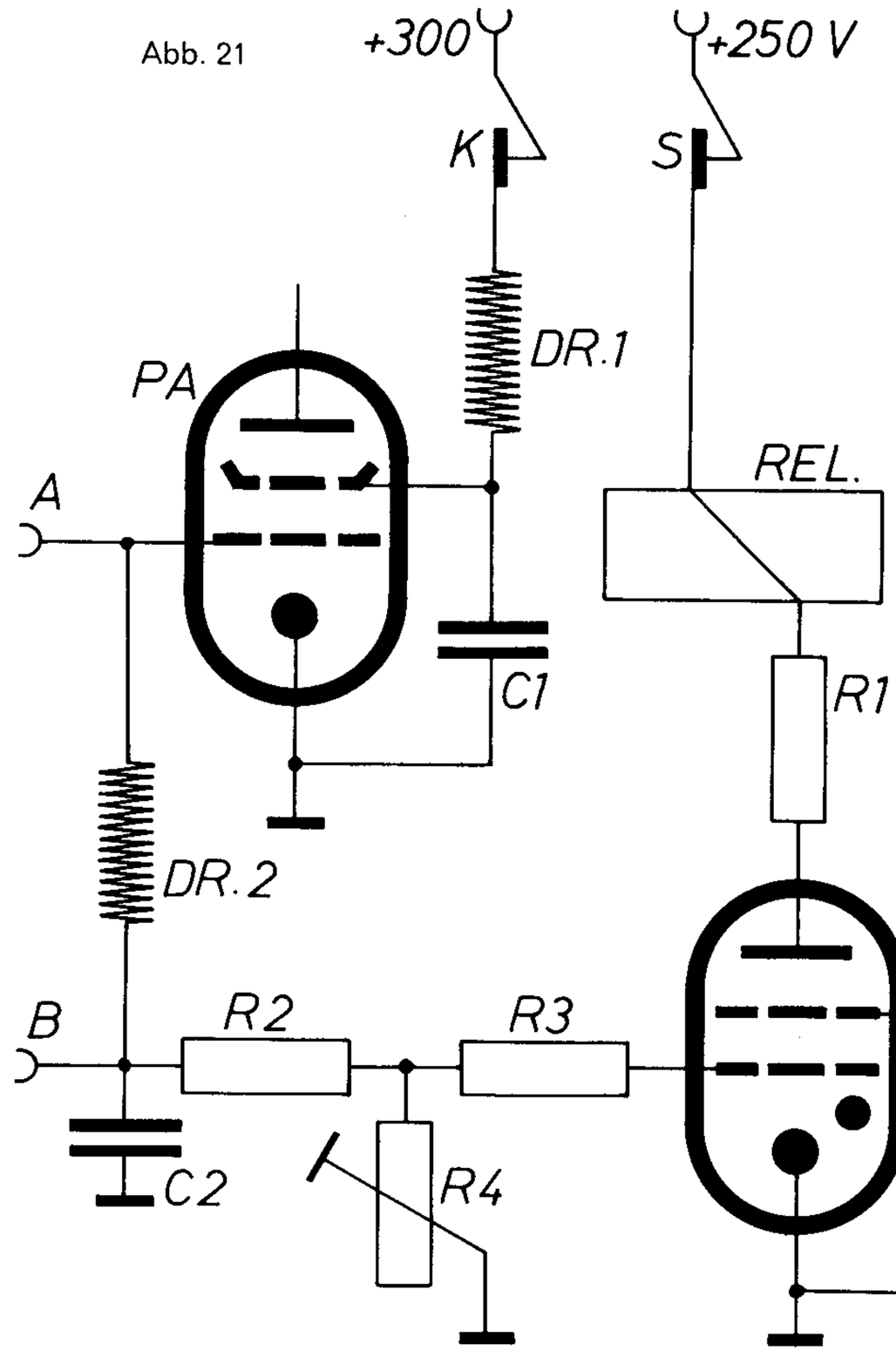
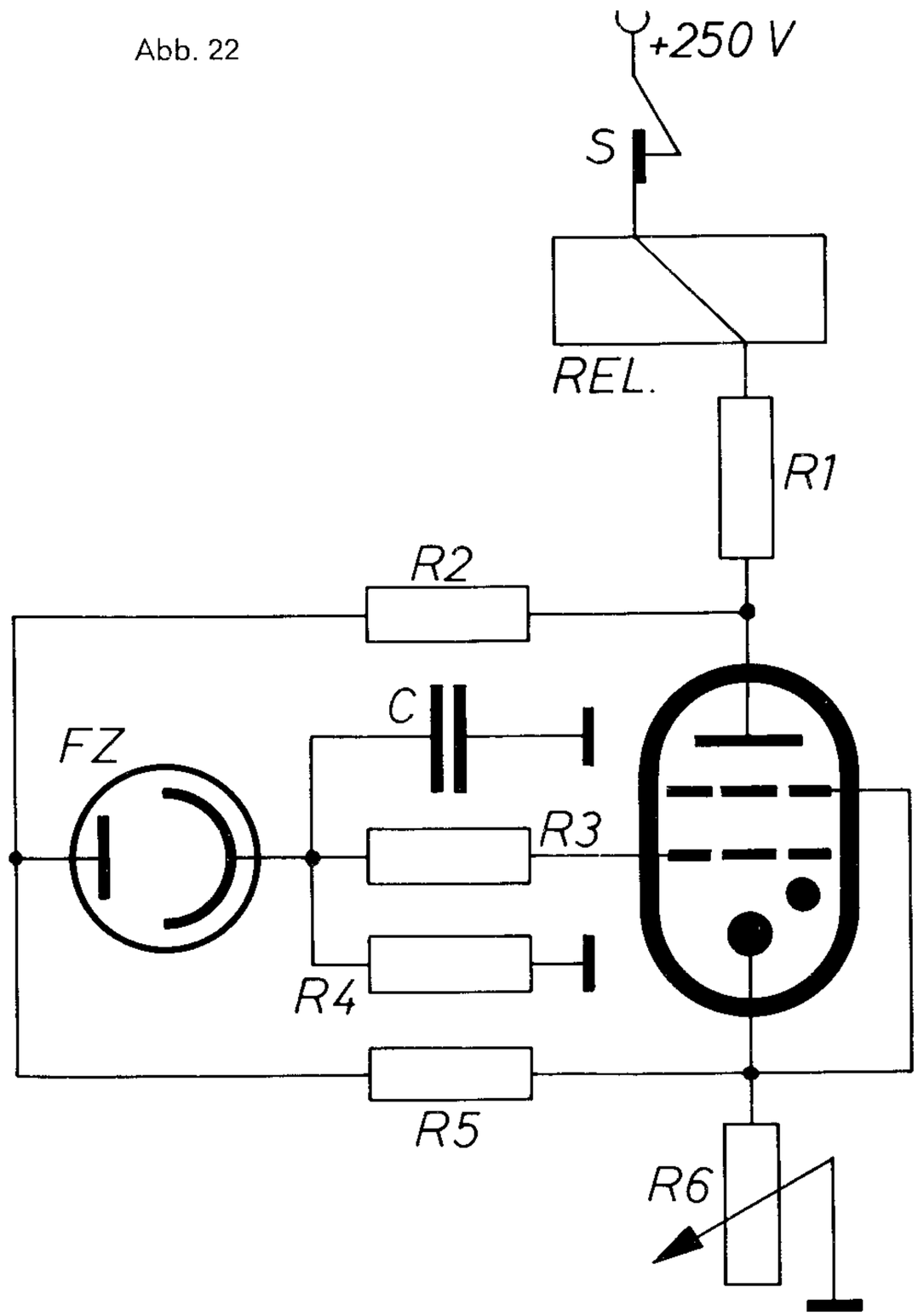


Abb. 22



Lichtgesteuertes Relais

Über Relaisschaltungen, die auf Helligkeitswerte ansprechen, ist schon viel veröffentlicht worden; der Amateur greift dabei gerne zu Aufbauten, die mit geringem Aufwand arbeiten und in der Regel als aktives Element einen Transistor enthalten. Das Fotorelais mit einem Thyratron hat demgegenüber eine Reihe von Vorteilen: Die Stromversorgung ist völlig unkritisch (gegebenenfalls wird mit Wechselstrom aus dem Netz gearbeitet), die mögliche Treiberleistung ist groß, es können leicht Leistungsrelais (auch mehrere in Serie) betrieben werden. Die Empfindlichkeitsregelung ist denkbar einfach, und die Foto-Bausteine können ohne Schwierigkeit durch Paralleltypen oder ähnliche Typen ersetzt werden.

Stückliste zu Abb. 22

		R_3	= 100 kΩ
R_1	= 10 kΩ	R_4	= 1 MΩ
R_2	= 60 kΩ	R_5	= 18 kΩ

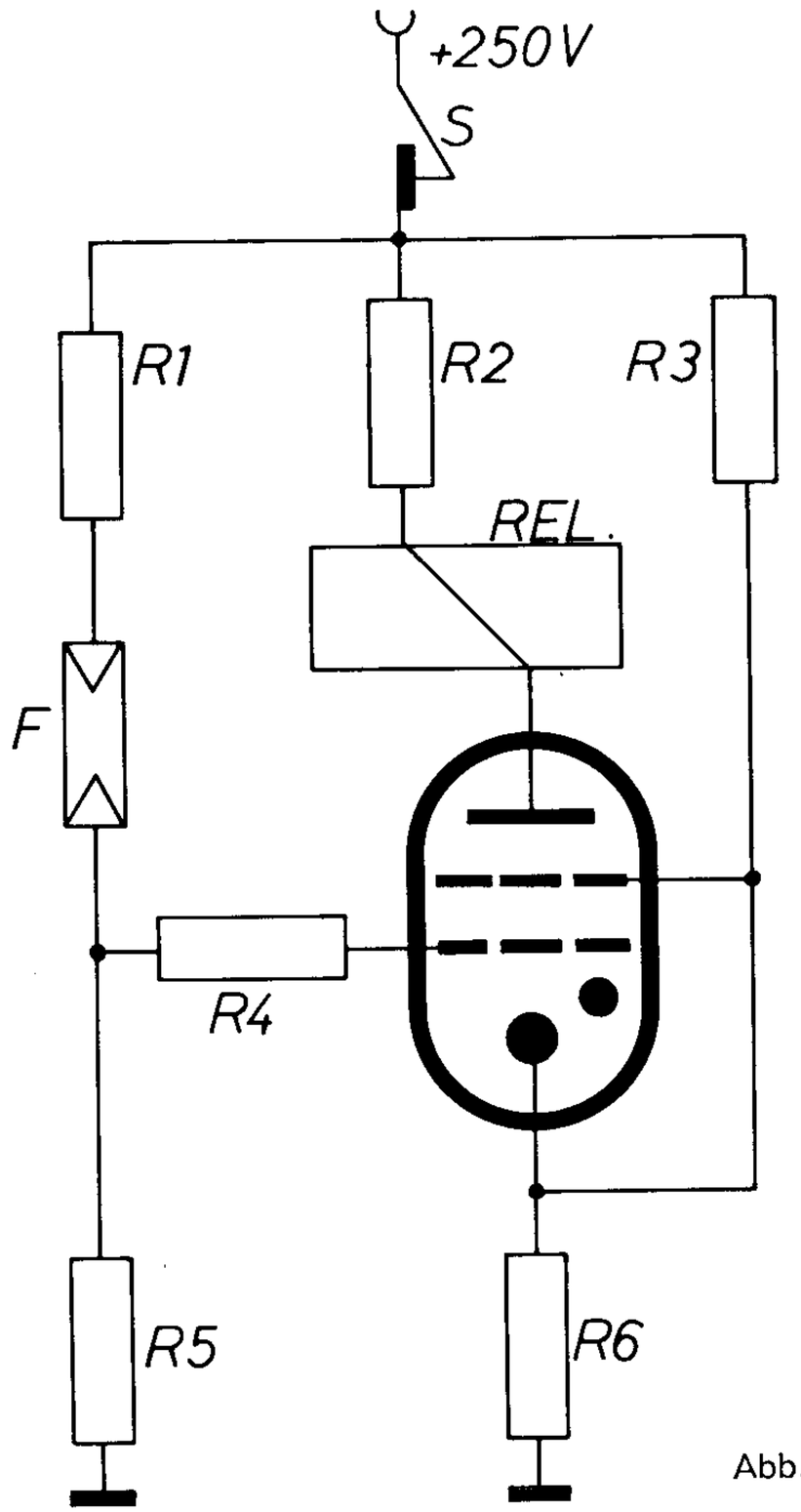
R_6 = Potentiometer 4 kΩ linear
C = 15 nF
FZ = Fotozelle 9012 V o. ä.
S = Unterbrecher (Ruhekontakt), manuell zu betätigen
REL = Relais 1 . . . . . 5 kΩ

Abb. 22 zeigt so ein Foto-Relais. Die Stromversorgung der Fotozelle geschieht durch einen Spannungsteiler. Das Gitter G_1 des Thyratrons hat Massepotential, die Katode liegt über das Potentiometer R_6 (zusammen mit den Widerständen R_1, R_2 und R_5 bildet R_6 ja einen Nebenschluß, durch den auch bei gelöschtem Thyratron ein Strom fließt) hoch. Der Kondensator C hat zwei Aufgaben: Er kann verhindern, daß die Schaltung auf kurze „Lichtblitze" reagiert. Und er muß das durch den Fotostrom langsam ansteigende Gitterpotential bei der Zündung einen Augenblick aufrechterhalten; durch den Zusammenbruch der Spannung an der Anode und den Spannungsanstieg an der Katode wegen des großen Stromflusses durch R_6 wird ja auch das Gitterpotential stark verändert.

Das Einregeln der Empfindlichkeit geschieht wie folgt: Das Potentiometer wird auf den vollen Wert (4 kΩ) eingestellt und durch Drücken des Schalters S (Unterbrecher) das Thyratron gelöscht. Sodann wird ganz langsam der Wert von R_6 verringert, bis das Thyratron zündet. Die Betriebssicherheit der Schaltung kann man dadurch nachprüfen, daß man eine lichtundurchlässige oder auch halbtransparente Kappe über die Fotozelle stülpt und durch Betätigung des Schalters S das Thyratron löscht. Die Röhre muß sodann im gelöschten Zustand verbleiben. Nimmt man die Kappe ab, so zündet das Thyratron nach einer von C abhängigen Verzögerungszeit wieder.

Lichtrelais mit Fotowiderstand

Abb. 23 zeigt eine stark vereinfachte, aber voll funktionsfähige Schaltung eines Lichtrelais. Sie zeichnet sich durch große Übersichtlichkeit aus. Gegenüber der Schaltung in Abb. 22 besitzt sie keine Regelmöglichkeit, es ist jedoch sehr einfach, durch Variation des Widerstands R_5 den gewünschten Helligkeits-Ansprechwert einzustellen. Die Funktionsweise der Schaltung ist leicht zu erkennen. Bei gelöschter Röhre legt der Spannungsteiler R_3—R_6 das Katodenpotential fest, das Gitterpotential wird durch den Spannungsteiler R_1 — F — R_5 bestimmt. Bei Dunkelheit liegt das Katodenpotential höher, somit bleibt die Röhre gelöscht. Bei Lichteinfall verringert der Fotowiderstand F seinen Wert, das Gitterpotential übersteigt das Katodenpotential, und das Thyratron zündet. Zur Löschung dient wieder der Schalter S (Unterbrecher); er kann auch so in die Schaltung genommen werden, daß er nur mit R_2 in Serie liegt. Dadurch erhöht sich die Betriebssicherheit, weil dann auch bei gedrücktem Schalter S die beiden Spannungsteiler mit der Stromversorgung verbunden bleiben. Gegebenenfalls kann dem Widerstand R_5 ein kleiner Kondensator (10 nF . . . 0,1 μF) parallelgeschaltet werden.



Stückliste zu Abb. 23

R_1	=	40 kΩ
R_2	=	10 kΩ
R_3	=	80 kΩ
R_4	=	100 kΩ
R_5	=	150 kΩ
R_6	=	10 kΩ
F	=	Fotowiderstand ORP 60 o. ä.
S	=	Schalter Unterbrecher
REL	=	Relais 2 kΩ

Abb. 23

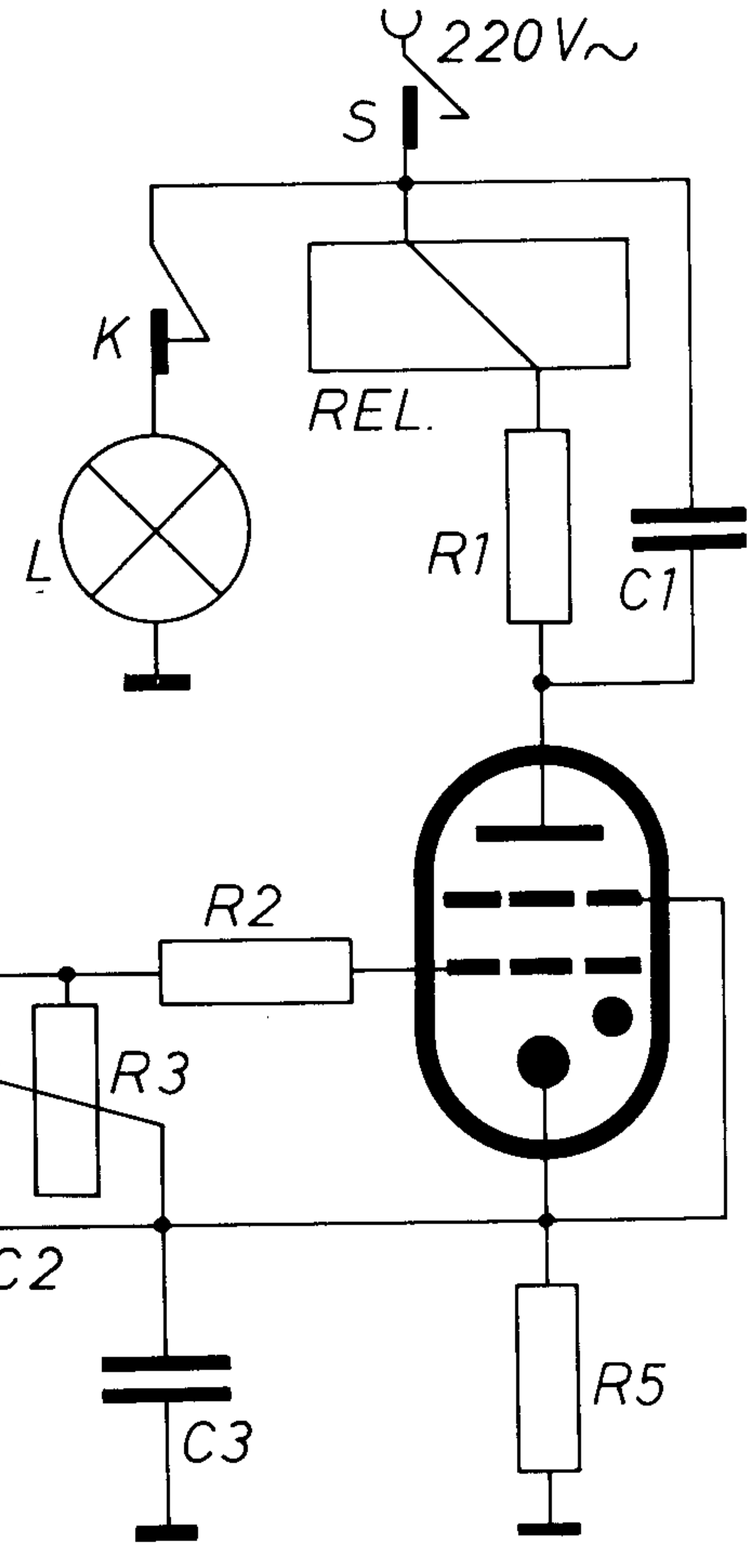


Abb. 24

Stückliste zu Abb. 24

R_1 = 10 kΩ
R_2 = 100 kΩ
R_3 = 1 . . . . . 10 MΩ
R_4 = 10 kΩ
R_5 = 10 kΩ
C_1 = 4 µF
C_2 = 1 . . . . . 10 µF
C_3 = 2 µF
S = Schalter (Einschalter) manuell zu betätigen
U = Schalter (Umschalter) manuell zu betätigen
REL = Relais 2 kΩ
K = Relaiskontakt (Ruhekontakt)
L = Lampe 220 V, z. B. 150 W (Lampe im Vergrößerungsgerät)

Zeitschalter für Wechselstrombetrieb

Abb. 24 zeigt einen einfachen, aber zuverlässig arbeitenden Zeitschalter. Die Betriebsspannung wird dem Netz entnommen; dabei sind die im letzten Kapitel dieses Buches beschriebenen Vorsichtsmaßregeln zu beachten. Das Relais ist nur mit einem Ruhekontakt (1 x AUS) bestückt und ganz billig zu haben. Die Schaltung wird nun wie folgt betrieben: Nach einer Vorheizzeit von 10 Sekunden wird der Schalter S geschlossen, das Thyratron zündet sodann, das Relais zieht an und die Lampe L (z. B. Lampe im Vergrößerungsgerät) erlischt. Am Widerstand R_5 entsteht ein Spannungsabfall; auf diese Spannung laden sich die beiden Kondensatoren C_2 und C_3 auf. Der dem Schalter U zugewandte Teil des Kondensators C_2 hat negative Polung. Wird nun der Umschalter U manuell betätigt, so bekommt das Gitter G_1 des Thyratrons dieses negative Potential, das Thyratron löscht, die Lampe L brennt. Dem Kondensator C_2 liegt aber der einstellbare Widerstand R_3 parallel, so daß sich C_2 langsam entladen kann. Ist die negative Gittervorspannung unter einen bestimmten Wert gesunken, so zündet das Thyratron von neuem, und die Lampe L erlischt wieder. Der Kondensator $C_1 = 4$ µF ist von großer Wichtigkeit, er verhindert das Flattern des Relais. Die Schaltzeit beträgt in grober Näherung $T = 0{,}7 \cdot R_3 \cdot C_2$.
Verzögerungen von 1 min sind leicht zu erreichen.

Zeitschalter mit Kondensator-Umladung

In Abb. 25 ist eine bekannte Schaltung wiedergegeben, die mit zwei Gleichspannungen 100 V und — 100 V — jeweils gegen Masse — arbeitet. Diese Spannungswerte sind nicht weiter kritisch, sie sind hier so eingerichtet, daß ein Netztransformator mit sekundär 2 x 110 V verwendet werden kann. Einweggleichrichtung und einfache Siebmittel (z. B. 16 µF — 2 kΩ — 16 µF) genügen vollauf. Das Relais ist mit zwei Umschaltkontakten ausgerüstet. Als Vorteile gegenüber der Schaltung in Abb. 24 ist die einfache Auslösung der Schaltzeit per Druckknopf zu erwähnen; außerdem ist das Gerät nach Ablauf der Schaltzeit sofort wieder betriebsbereit. Für Dunkelkammeruhren ist auch der Einsatz eines Spartrafos 0 — 110 — 220 V ~ möglich, wenn die Katode keine Erdverbindung erhält, alle Teile berührungssicher in einem Kunststoffgehäuse untergebracht sind und die Heizwicklung galvanisch getrennt aufgebracht ist.

Kurz etwas zur Funktionsweise der Schaltung: Nach einer Anheizzeit von 10 Sekunden und nach dem Anlegen der Betriebsspannungen zündet das Thyratron. Die Lampe L ist über einen Ruhekontakt des Relais an das Netz angeschlossen und bleibt während der Brennzeit des Thyratrons dunkel.

Der Kondensator C lädt sich über den Arbeitskontakt EF negativ auf, was jedoch wegen des Gleichstrombetriebs nicht zu einer Löschung führt. Wird nun der Unterbrecher S gedrückt, so löscht das Thyratron und zündet nach Loslassen des Druckknopfkontakts S wegen des negativen Gitterpotentials nicht wieder. Der Kondensator C lädt sich allerdings über das Potentiometer R_1 um. Während dieser Umladezeit brennt die Lampe L. Bei Erreichen einer gewissen Spannung am Kondensator zündet das Thyratron wieder, die Lampe L erlischt und der Kondensator C lädt sich von neuem wieder negativ auf. Die Schaltzeiten sind durch Potentiometereinstellung regulierbar, gegebenenfalls werden für C mehrere umschaltbare Kondensatoren in die Schaltung genommen. Es kann eine Skala angebracht und empirisch geeicht werden.

Stückliste zu Abb. 25

R_1	= Potentiometer 1 . . . . . 10 MΩ
R_2	= 10 kΩ
R_3	= 100 kΩ
C	= 0,1 . . . . . 10 µF
BD	= Ruhekontakt des Relais
FG	= Ruhekontakt des Relais
EF	= Arbeitskontakt des Relais
S	= Druckknopfschalter (Unterbrecher), manuell zu betätigen
REL	= Relais 2 kΩ, Kontaktbestückung: 2 x UM oder 1 x UM, 1 x AUS

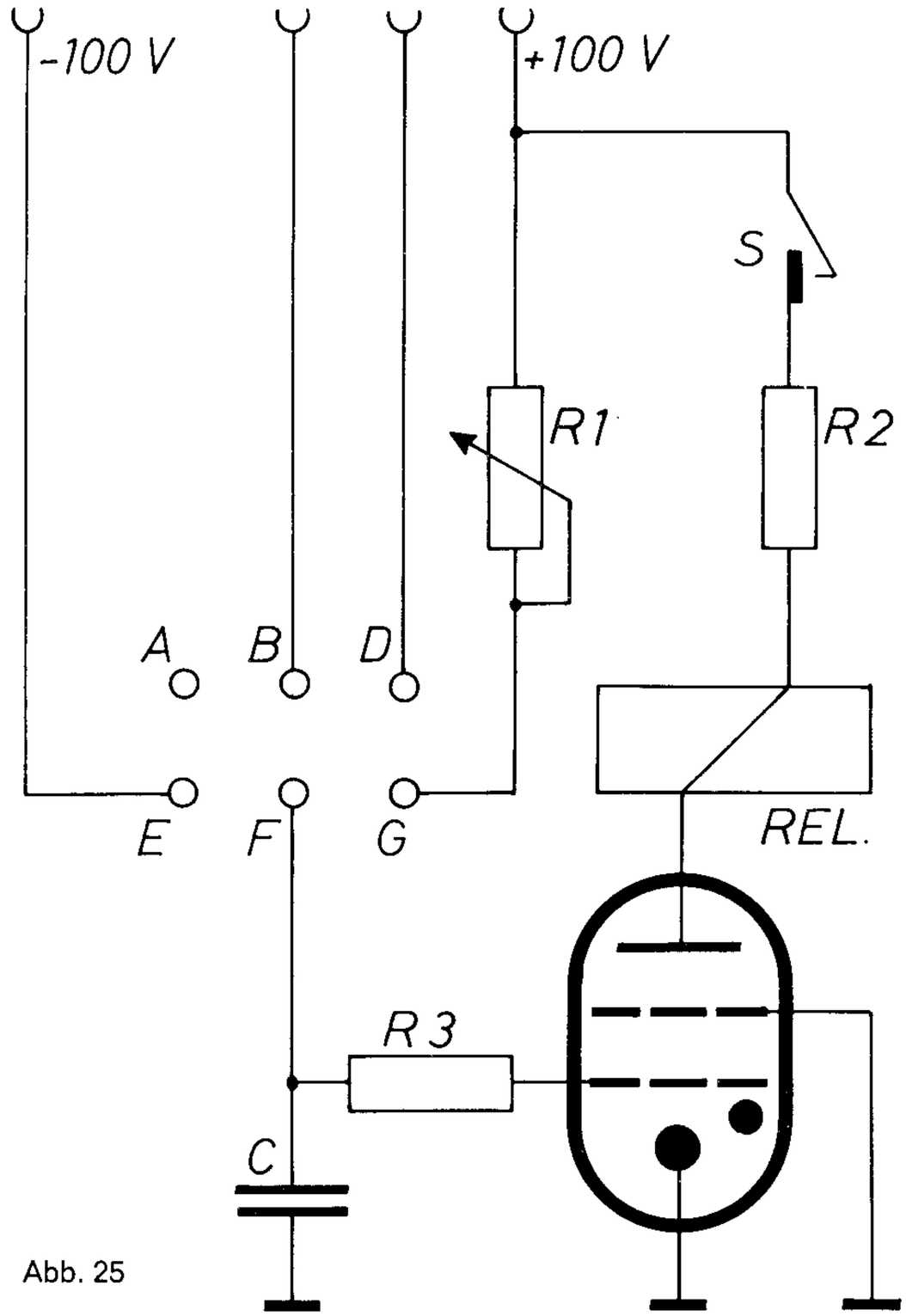


Abb. 25

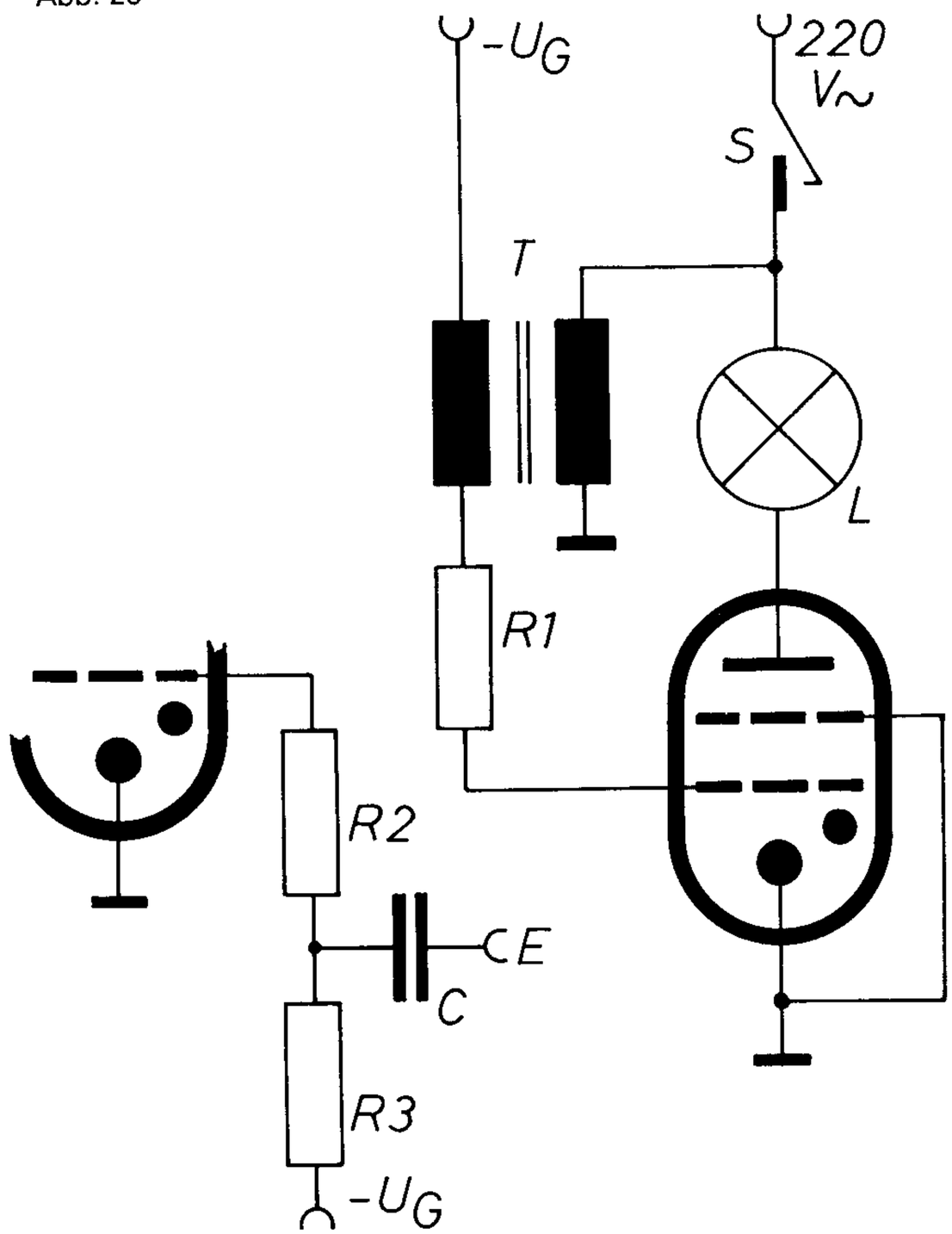
Vertikalsteuerung

Die Steuerung durch Thyratrons bringt eine Reihe von Vorteilen mit sich. Soll die Leistungsaufnahme des Verbrauchers vermindert werden, so geschieht das völlig verlustfrei, d. h. die überschüssige Leistung muß nicht in Vorwiderständen „verbraten" werden. Die Steuerung durch Thyratrons ist in gleicher Weise für Gleichstrom- und Wechselstromverbraucher geeignet, also auch für Leuchtstofflampen. Durch Antiparallelschaltung zweier Thyratrons werden Wechselstromquellen voll ausgenutzt. Die Gitteransteuerung des Stromtors geht leistungsfrei vor sich, der Aufbau gestaltet sich denkbar einfach, und die ganze Anlage wird ausgesprochen preiswert.

Abb. 26 zeigt eine Schaltung zur Helligkeitsregelung einer Glühlampe, und zwar rechts einen kompletten Aufbau mit induktiver Einspeisung der Gitterwechselspannung, links unten eine Variante für kapazitive Einspeisung. Für den Transformator T sei hier noch der Hinweis gegeben, daß die Primärwicklung rechts, die Sekundärwicklung links eingezeichnet ist.

Um die Funktionsweise der Vertikalsteuerung besser zu verstehen, betrachte man die grafischen Darstellungen in Abb. 27. In Teilfigur A ist der normale zeitliche Ablauf der Betriebsspannung, z. B. 220 V_{eff} dargestellt. Das Bild beginnt mit der negativen Halbwelle; auf eine Maßeinteilung der horizontalen Achse (= Zeitachse)

Abb. 26



und der vertikalen Achse (= Spannungsachse) wurde hier verzichtet, die Zeichnung ist somit für alle Spannungen und Frequenzen gültig.

Teilfigur B stellt die Zündkennlinie dar. Man vergleiche dazu auch Abb. 1 (Steuerkennlinie), aus der hervorgeht, daß zu jeder Anodenspannung ein bestimmter Gitterspannungswert gehört, bei dessen Unterschreitung die Zündung erfolgt. Hier ist nun nur während der positiven Halbwelle der Anodenspannung eine Zündung möglich, und zwar dann, wenn die Gitterspannung einen Wert oberhalb der Zündkennlinie erreicht. Es wurde in der Zeichnung darauf verzichtet, für die möglichen Streuungen statt der Zündkennlinie eine „Zündzone" anzugeben.

Teilfigur C zeigt wieder die Zündkennlinie und — unterbrochen gezeichnet — den Verlauf der Gitterwechselspannung mit einem Gleichspannungsanteil. Sobald

Stückliste zu Abb. 26

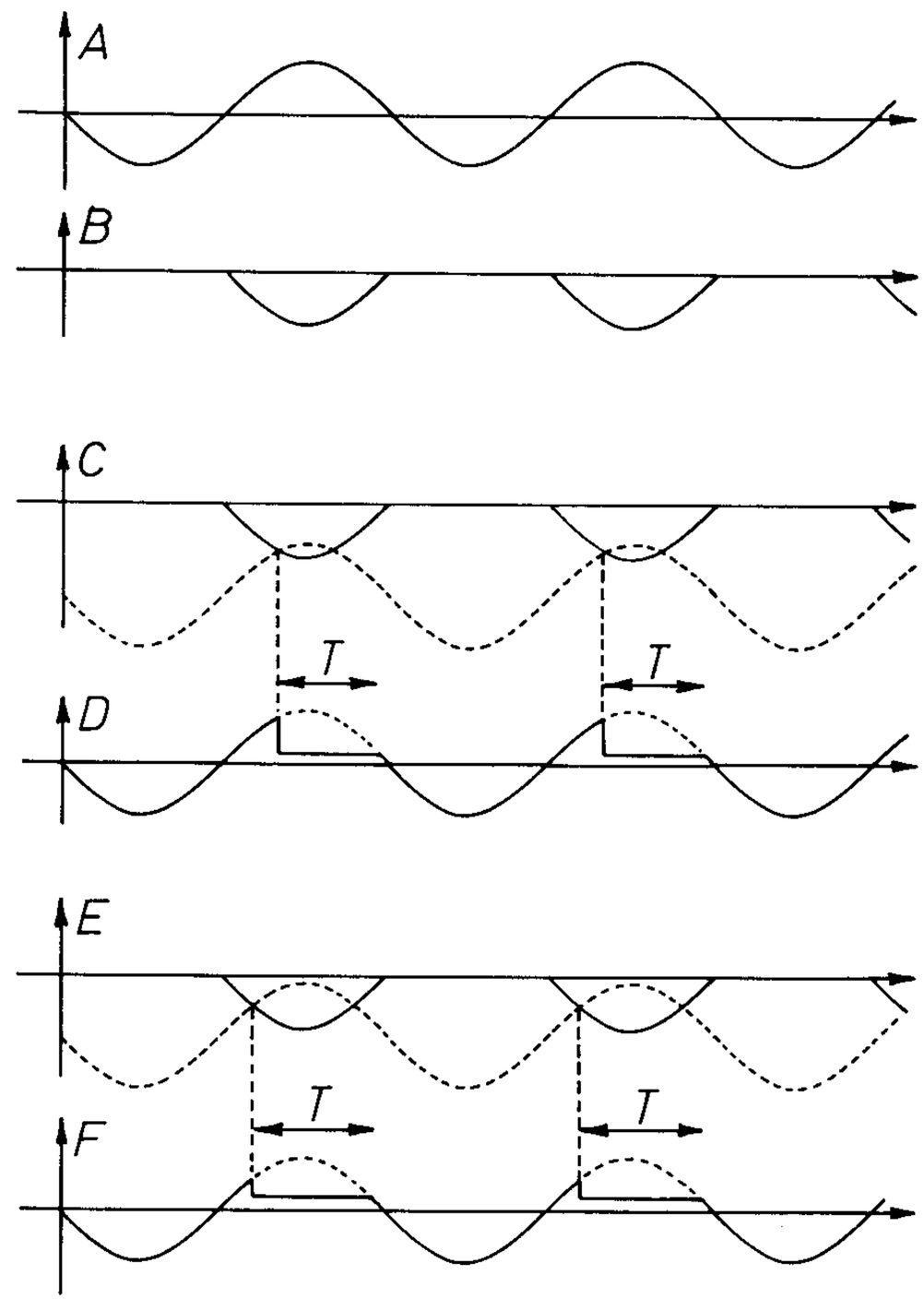
R_1	= 100 kΩ	R_3	= 1 MΩ
R_2	= 100 kΩ	C	= 22 nF

E = Wechselspannungseingang, z. B. 6,3 V
L = Lampe, z. B. 220 V 40 W
S = Schalter 1 x EIN
T = Transformator, z. B. primär 220 V, sekundär 6,3 . . . . . 12,6 V, Kern EI 42
$-U_G$ = 0 . . . . . 20 V je nach Größe der Wechselspannung am Gitter G_1 und gewünschtem Zündwinkel

die Gitterspannungskurve die Zündkennlinie schneidet, erfolgt die Zündung des Thyratrons.
Teilfigur D gibt den Anodenspannungsverlauf an, der sich einstellt, wenn die Gitterspannungskurve die in Teilfigur C gezeichnete Form und Lage hat. Das Absinken der Anodenspannung auf einen Wert nahe Null bringt die Löschung. Dazwischen liegt also die Brennzeit des Thyratrons, in der Zeichnung als T erkennbar.
In Teilfigur E hat die Gitterwechselspannung einen anderen Gleichspannungsanteil, die Gitterspannungskurve ist gegenüber Teilfigur C vertikal verschoben; daher auch der Name Vertikal-Steuerung. Die Zündung erfolgt jetzt früher, die Löschung jedoch auf die gleiche Art wie bei C. Somit verlängert sich die Brenndauer — siehe Teilfigur F! — und die durchschnittliche Leistungsaufnahme des Verbrauchers.

Erklärungen zu Abb. 27

A = Schaubild der Betriebsspannung
B = Zündkennlinie
C = Zündkennlinie und Schaubild der Gitterwechselspannung mit Gleichspannungsanteil
D = Schaubild der Anodenspannung
E = Zündkennlinie und Schaubild der Gitterwechselspannung mit verändertem Gleichspannungsanteil
F = Schaubild des gegenüber D veränderten Anodenspannungsverlaufs
T = jeweilige Brenndauer des Thyratrons



weitere Erklärungen im Text

Abb. 27

Horizontalsteuerung

Das „Herz" einer Horizontalsteuerungsanlage ist das im Kapitel „Zubehör" beschriebene Phasenschieberwerk. Der Vollständigkeit halber ist dieser Phasenschieber in Abb. 28 noch einmal eingezeichnet. Die Mittelanzapfung der Sekundärwicklung ist gegebenenfalls nicht mit Masse, sondern mit der Spannungsquelle für $-U_G$ zu verbinden. Wird U_G einem sehr hochohmigen Spannungsteiler entnommen, so empfiehlt es sich, die Mittelanzapfung über einen Kondensator 0,1 . . . 1 µF MP mit Masse bzw. Katode zu verbinden.

Zur Erklärung der Funktionsweise sollen die Teilfiguren A, B und C dienen. A enthält außer der Zündkennlinie (ausgezogene Linie) noch zwei phasenverschobene Gitterspannungskurven (unterbrochen gezeichnet). Man kann sich die eine aus der anderen durch eine Horizontal-Verschiebung hervorgegangen denken; daher stammt der Name Horizontal-Steuerung. Die Teilfiguren B und C lassen die zu den beiden Gitterspannungskurven gehörigen Anodenspannungsabläufe erkennen. Man sieht leicht, daß im zweiten Fall die Brennzeit wesentlich kürzer ausfällt und die durchschnittliche Leistungsaufnahme des Verbrauchers zurückgeht.

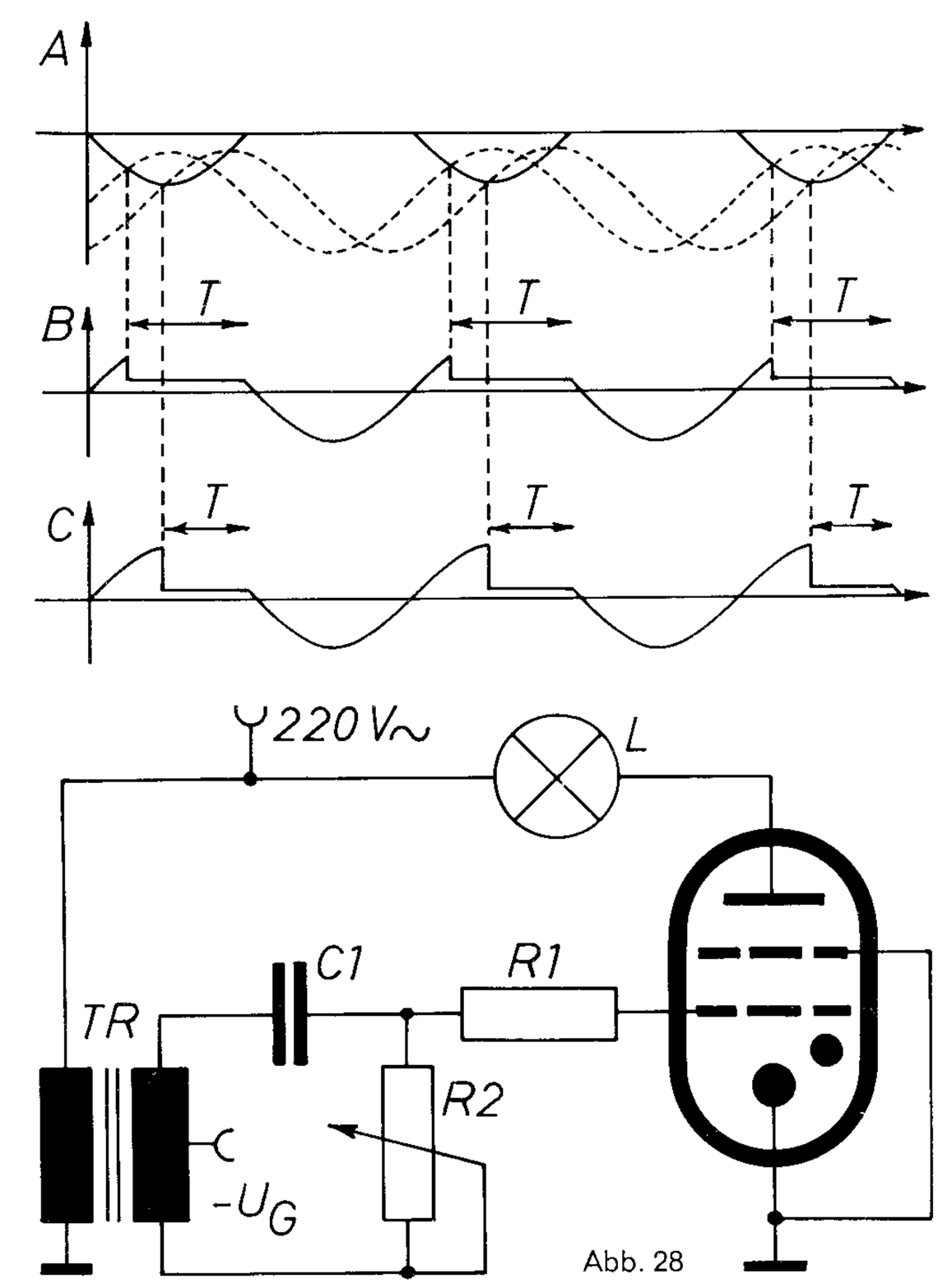


Abb. 28

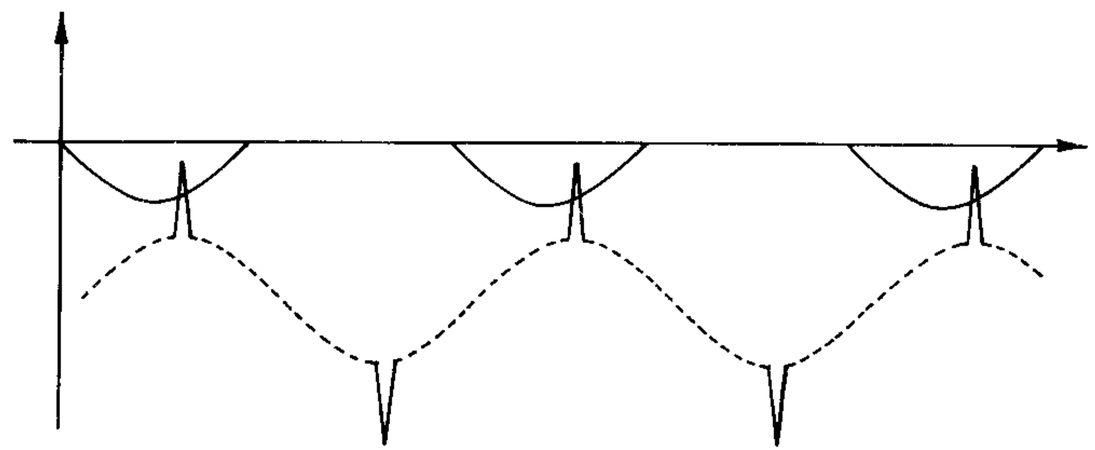
Erklärungen und Stückliste zu Abb. 28

A = Zündkennlinie und Schaubild zweier phasenverschobener Gitterspannungen
B = Schaubild der Anodenspannung
C = Schaubild der Anodenspannung bei veränderter Phasenlage der Gitterspannung
L = Glühlampe, z. B. 220 V 40 W
R_1 = 100 kΩ
R_2 = Potentiometer 4 kΩ linear
C_1 = 4 µF
TR = Transformator, Kern EI 42, primär 220 V, sekundär z. B. 0—6,3—12,6 V
$-U_G$ = 0 . . . . . 10 V je nach Sekundärspannung des Transformators und gewünschtem Zündwinkelbereich
T = jeweilige Brenndauer des Thyratrons

Impulssteuerung

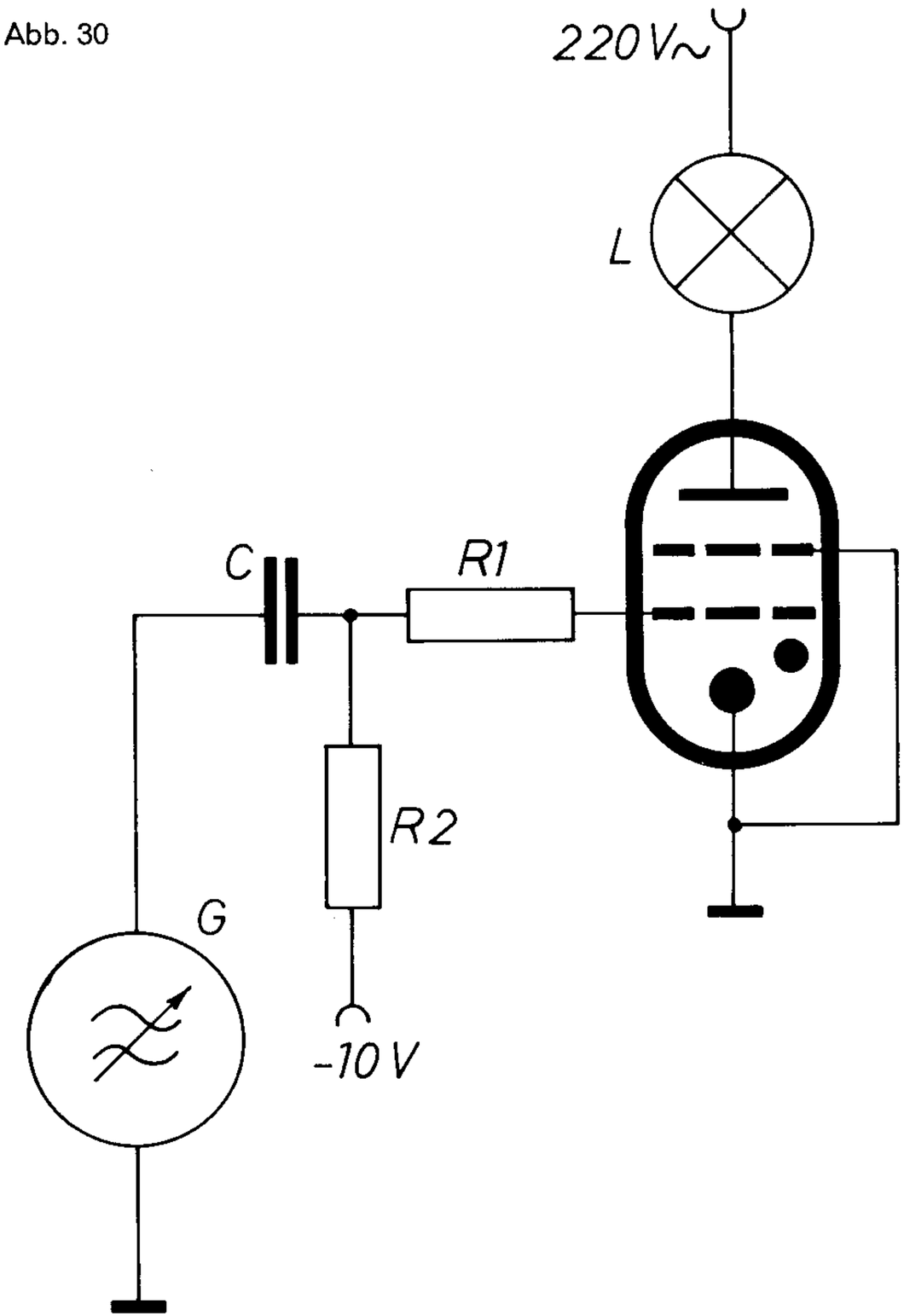
Wird von der Horizontalsteuerung hohe Präzision gefordert, so müssen die störenden Einflüsse der Streuwerte weitgehend beseitigt oder umgangen werden. Letzteres geschieht am besten durch Ansteuerung des Thyratrons mit Impulsen. Dabei ist weniger eine kurze Impulsdauer als vielmehr die Steilheit der Anstiegsflanke maßgebend; Streuungen können sich dann nicht mehr auswirken, der Zündwinkel bleibt über lange Zeiten und auch nach Röhrenwechsel konstant. Die Impulse müssen mit 50 Hz synchronisiert sein oder aber aus dem Netz mit Hilfe eines Impulstransformators gewonnen werden. Solche Impulstransformatoren werden von verschiedenen Firmen, z. B. PHILIPS, hergestellt und verformen eine sinusförmige Wechselspannung auf die aus Abb. 29 erkenntliche Art.

Abb. 29



Die Zündkennlinie wird dann nicht mehr von der Sinuskurve, sondern von der steilen Anstiegsflanke der Zündimpulse geschnitten.
Beim Erwerb des Impulstransformators achte man auf die angegebene Arbeitsfrequenz (= Impulsfolgefrequenz), da solche Transformatoren auch für höhere Frequenzen (1 kHz . . . . . 100 kHz) gefertigt werden.

Abb. 30



Schwebungen

Steht ein durchstimmbarer NF-Generator mit einer Ausgangsspannung von ca. 10 V_{eff} zur Verfügung, so sollte auf keinen Fall auf die Durchführung der nachstehend beschriebenen interessanten Versuche verzichtet werden. Abb. 30 zeigt den einfachen Schaltungsbau, mit dem die Experimente über Schwebungen und Frequenzmischung ausgeführt werden. Der Außenwiderstand wird durch eine Glühlampe gebildet. Da sie im Halbwellenbetrieb läuft, kann es eine 110-V-Type sein; sie bringt dann bei einer Anschlußspannung von 220 V~ ihre volle Leistung. Allerdings gibt es während der einen Halbperiode eine starke Überlastung, so daß die Lebensdauer der Lampe beeinträchtigt wird.

Stückliste zu Abb. 30

R_1 = 100 kΩ
R_2 = 1 MΩ
C = 22 nF
L = Glühlampe 110 V, 25 W
G = NF-Generator mit einer Ausgangsspannung von etwa 10 V_{eff} und einem Durchstimmbereich von mindestens 10 Hz . . . . . 200 Hz

Erhält das Thyratron eine Gitteransteuerung mit einer Wechselspannung von genau 25 Hz, so ergibt sich gemäß Abb. 31 nur bei jeder zweiten positiven Halbwelle der Anodenspannung eine Zündung und je nach Phasenlage der Steuerspannung ein Helligkeitsmittelwert bis zu 50% der Volleistung.

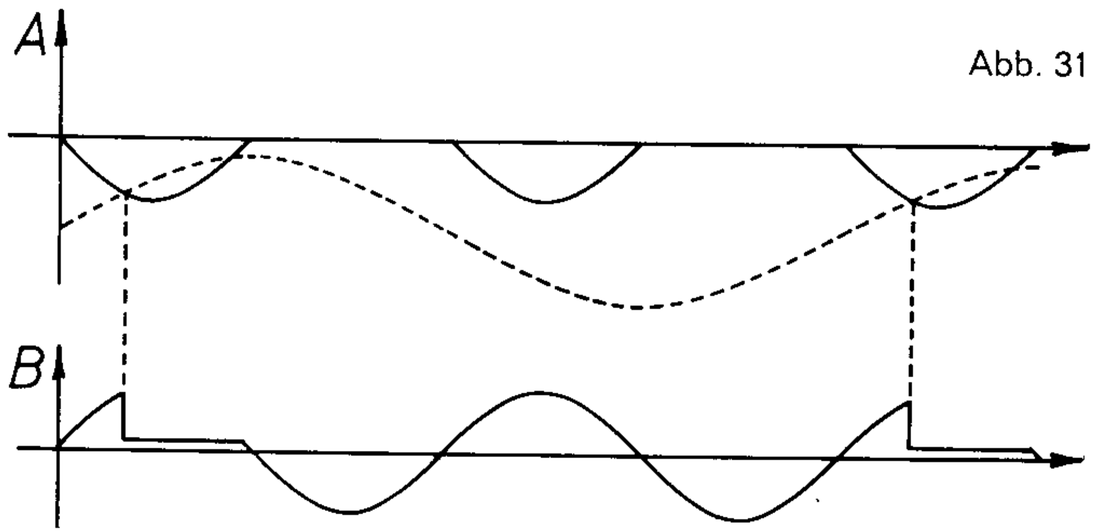


Abb. 31

Ganz deutlich ist dabei ein „Flackern" der Glühlampe mit der Frequenz 25 Hz zu beobachten. Beträgt die Steuerfrequenz nicht genau 25 Hz, so „pumpt" die Lampe, d. h. ihre mittlere Helligkeit schwankt im Rhythmus der Frequenzdifferenz, z. B. mit 1 Hz.
Bei einer Steuerfrequenz von genau 50 Hz kann je nach Phasenlage der Gitterwechselspannung vollkommene Dunkelheit über lange Zeiträume hinweg herrschen. Kleine Abweichungen der Steuerfrequenz von der Netzfrequenz führen gemäß Abb. 32 wieder zu Schwebungserscheinungen.

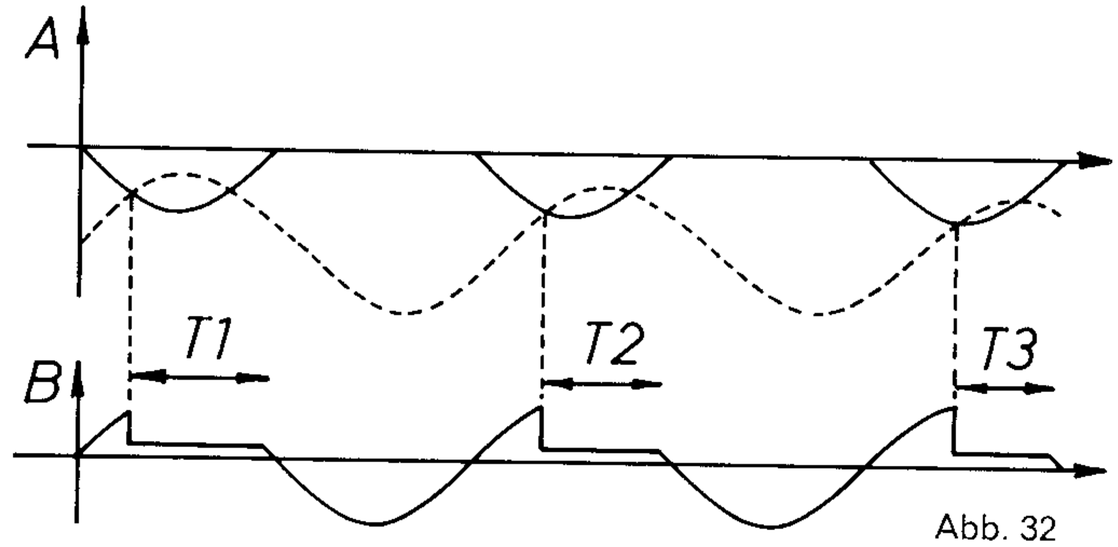


Abb. 32

Jede Zündung erfolgt gegenüber der vorhergehenden unter einem etwas veränderten Zündwinkel. In Abb. 32 ist gut zu erkennen, wie die Brenndauer des Thyratrons stetig abnimmt; damit verringert sich auch die mittlere Helligkeit der Lampe. Allerdings nimmt die Helligkeit der Lampe nicht wieder allmählich zu, sondern nach einer kurzen Dunkelpause leuchtet die Lampe mit nahezu maximaler Helligkeit wieder auf. Liegt die Steuerfrequenz höher als die Netzfrequenz, so nimmt die Helligkeit allmählich zu, sodann stellt sich schlagartig Dunkelheit ein.
Bei einer Ansteuerung mit 100 Hz kommt man zu ähnlichen Ergebnissen; bei günstiger Phasenlage ist wieder volle Helligkeit zu erreichen. Merke: Während einer Periode der Anodenspannung kann das Thyratron nur einmal zünden, somit ist der stroboskopische Effekt auf Frequenzen bis 50 Hz beschränkt. In Frage kommen noch stroboskopische Erscheinungen mit Frequenzen von 25 Hz, $16^2/_3$ Hz, $12^1/_2$ Hz, 10 Hz etc.

Koinzidenzschaltung

In Abb. 33 ist eine Schaltung angegeben, die die Möglichkeit ausnutzt, das Thyratron auch am Gitter G_2 anzusteuern. Die Funktionsweise der Schaltung überprüft man am besten mit einer Gitterwechselspannung von 15 V_{eff}; die Gittergleichspannung soll dabei —20 V betragen. Es ergeben sich folgende Resultate:

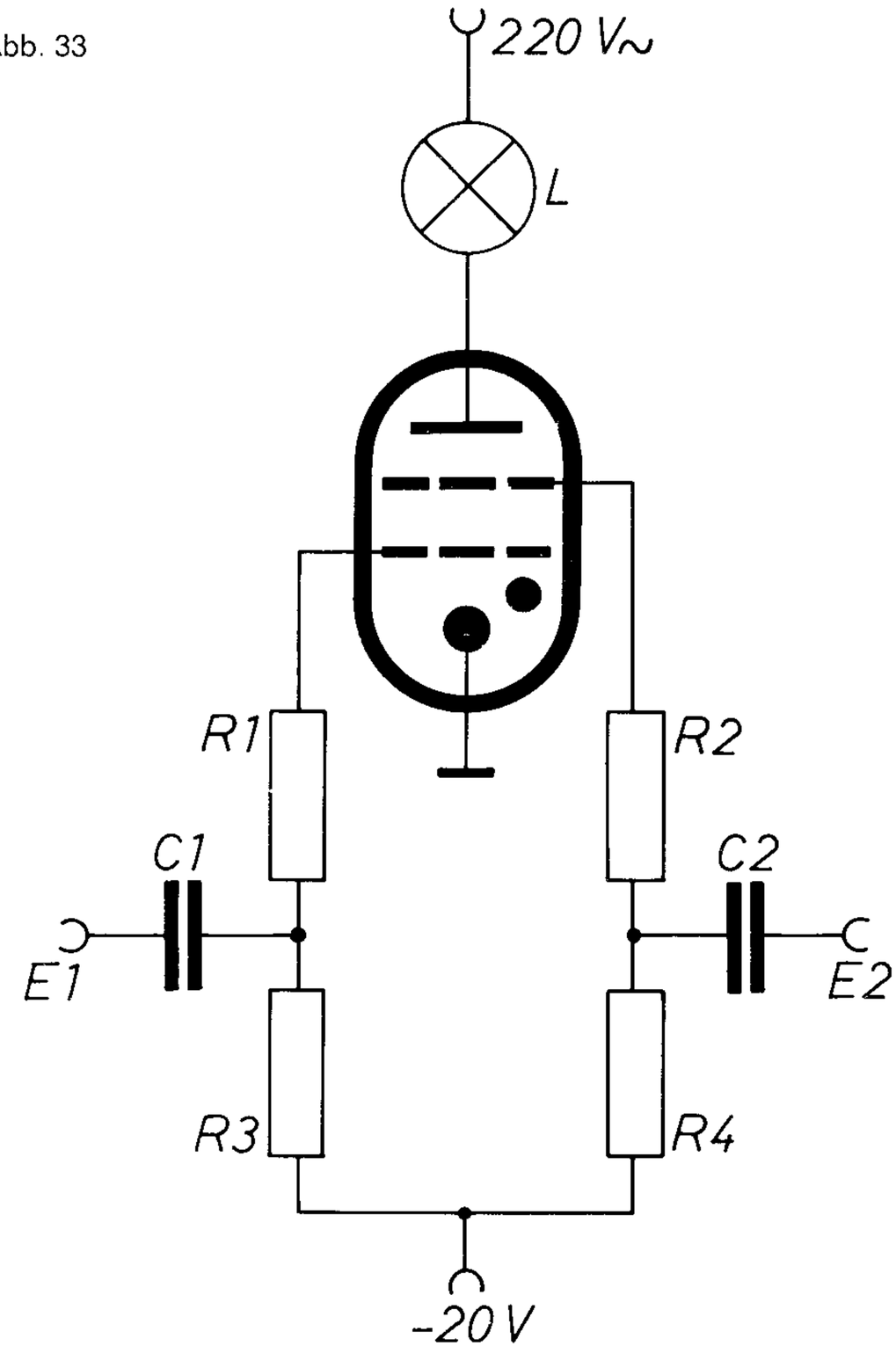
1) G_1 nicht angesteuert G_2 nicht angesteuert	Lampe bleibt dunkel
2) G_1 angesteuert G_2 nicht angesteuert	Lampe bleibt dunkel
3) G_1 nicht angesteuert G_2 angesteuert	Lampe bleibt dunkel
4) G_1 angesteuert G_2 angesteuert	Lampe brennt

Der Aufbau gehört zu den sogenannten Logischen Schaltungen; es tritt ein bestimmtes Ereignis (hier: Brennen der Lampe) nur dann ein, wenn die Bedingung A erfüllt ist (= G_1 wird mit 15 V_{eff} angesteuert) und gleichzeitig die Bedingung B erfüllt ist (= G_2 wird mit 15 V_{eff} angesteuert).
Folgende Schaltungsvariante ist noch möglich: Man steuert nur G_1 an und vermindert sodann die negative Gittervorspannung, bis das Thyratron zündet und die Lampe L brennt. Durch eine gegenphasige Ansteuerung an G_2 kann dann die Lampe wieder zum Löschen gebracht werden.

Stückliste zu Abb. 33

R_1 = 100 kΩ
R_2 = 100 kΩ
R_3 = 1 MΩ
R_4 = 1 MΩ
C_1 = 22 nF
C_2 = 22 nF
E_1 = Wechselspannungseingang phasengleich mit Anodenwechselspannung, 15 V_{eff}
E_2 = Wechselspannungseingang phasengleich mit Anodenwechselspannung, 15 V_{eff}
L = Glühlampe 220 V 25 W

Abb. 33



Steuerbarer Gleichrichter

Gasgefüllte Dioden haben gegenüber den Vakuumdioden mancherlei Vorteile. Sie können größere Ströme leiten, an ihnen können höhere Spannungen liegen, sie haben einen bemerkenswert kleinen Innenwiderstand. Wird anstelle der gasgefüllten Diode eine Gastriode oder Gastetrode verwendet, so kommt der Vorteil der Steuerbarkeit hinzu.

Die in Abb. 34 wiedergegebene Schaltung soll nur als Beispiel dienen. Als Verbraucher ist dort ein Widerstand von 8 kΩ angegeben. Durch eine Gitterspannungsregelung von 0 bis +8 V ändert sich die an R_1 abfallende Spannung zwischen 150 und 225 V. Die Siebmittel sind hier reichlich bemessen, obwohl das Thyratron als Gleichrichter seine Stärke gerade dort hat, wo es auf gute Siebung nicht ankommt. Einen kleinen Nachteil bringt der Umstand mit sich, daß der Verbraucherwiderstand nicht einseitig an Masse gelegt werden kann. Abhilfe bringt ein Trenntrafo; es wird dann anstelle der Katode die Anode des Thyratrons mit Masse verbunden. Für die Ansteuerung der Gitter G_1 kommen auch Wechselspannungen in Frage. Die an R_1 abfallende Spannung ist selbstverständlich auch vom Wert des Widerstands R_1 abhängig.

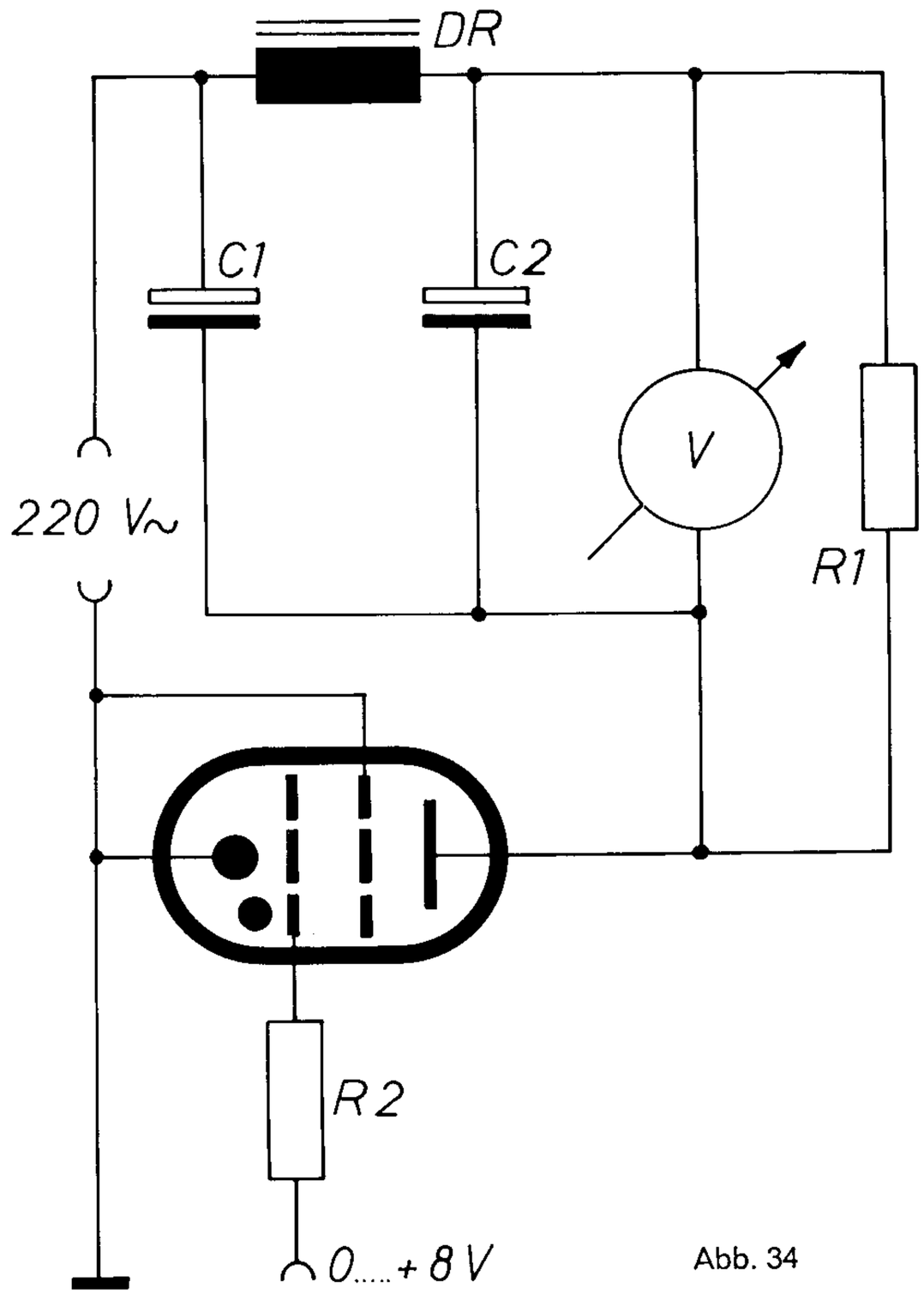


Abb. 34

Stückliste zu Abb. 34

R_1 = Verbraucherwiderstand, z. B. 8 kΩ 5 W
R_2 = 100 kΩ
C_1 = 100 µF
C_2 = 100 µF
DR = Siebdrossel, z. B. 1 H
V = Voltmeter, Meßbereich 300 V

Stückliste zu Abb. 35

R_1 = 600 Ω . . . . . 6 kΩ (siehe Text!)
R_2 = 100 kΩ
C = 4 µF MP
L = Glühlampe 220 V 15 W
S = Kippschalter 1 x EIN

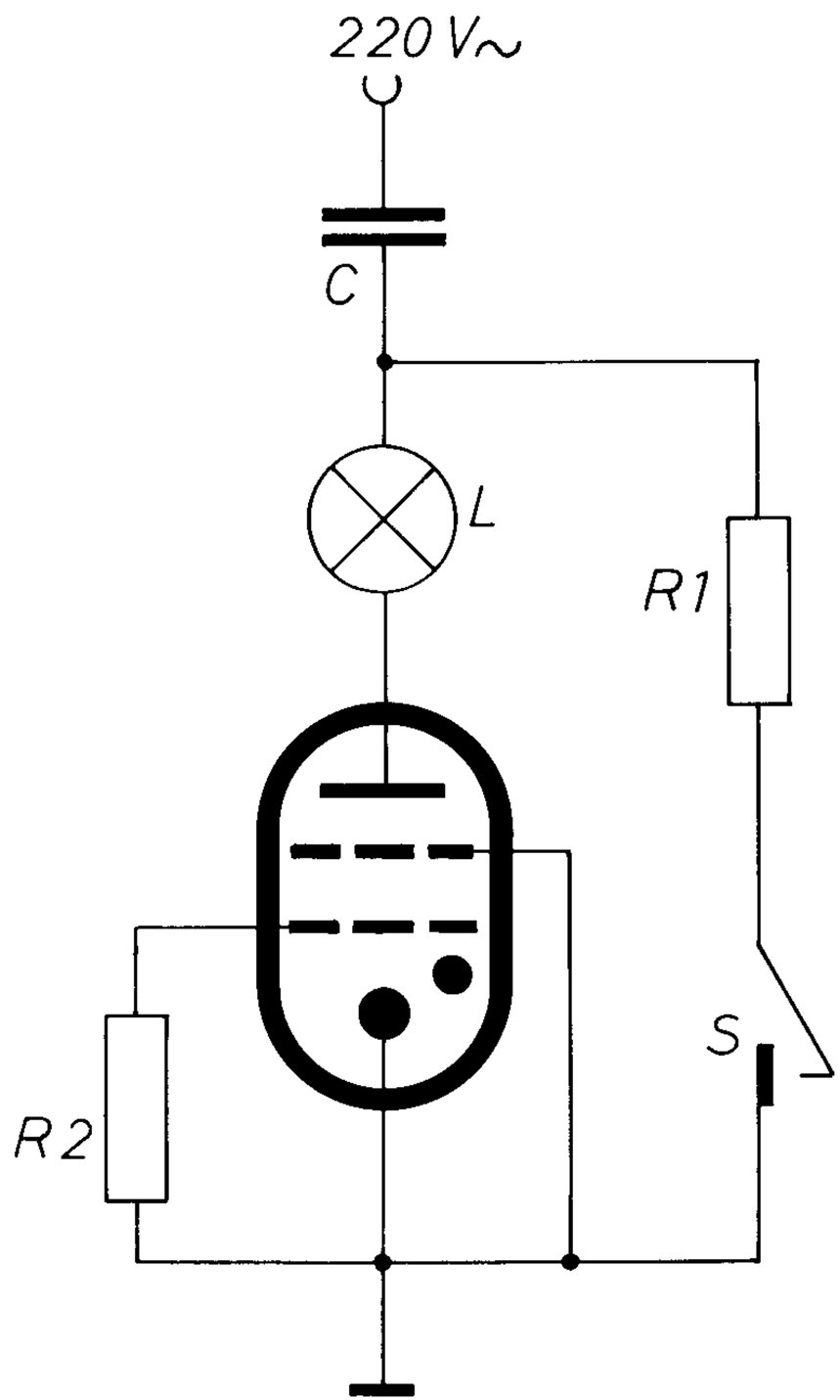


Abb. 35

Blindwiderstand im Thyratronkreis

Eine eigenartige und schwer zu erklärende Erscheinung tritt auf, wenn das Thyratron durch einen Kondensator mit dem Netz verbunden wird (siehe Abb. 35!). Es erfolgt keine Zündung, obwohl an der Anode die volle Wechselspannung (in der positiven Halbperiode maximal 310 V!) gemessen wird. Das Gitter G_1 hat dabei Massepotential. Die Lampe L bleibt also dunkel. Stellt man indessen mit dem Schalter S und dem Widerstand R_1 einen Nebenschluß her, so leuchtet auf einmal die Lampe L mehr oder weniger hell auf. Beträgt $R_1 = 600\ \Omega$, so beobachtet man beim Öffnen des Schalters S gelegentlich ein sehr helles Aufblitzen der Lampe, was damit zusammenhängt, daß der Kontakt bei verschiedenen Augenblickswerten der Spannung am Kondensator unterbrochen wird. Beträgt $R_1 = 2{,}5\ k\Omega$, so brennt die Lampe im allgemeinen heller, das Aufblitzen ist jedoch nicht mehr festzustellen. Um sicher zu sein, ob das Thyratron gezündet hat oder nicht, schließt man zur Messung der Anodenspannung den Oszillografen an. Dazu bedient man sich des Anschlußkabels aus Abb. 6 oder man verbindet die Anode des Thyratrons mit dem Oszillografeneingang auf die in Abb. 36 gezeigte Art. Die zur Betriebswertanzeige eventuell vorhandene Glimmlampe ist unbedingt aus der Schaltung zu entfernen, der Oszillografenanschluß wäre für sie eine Art Vorwiderstand; sie würde entweder konti-

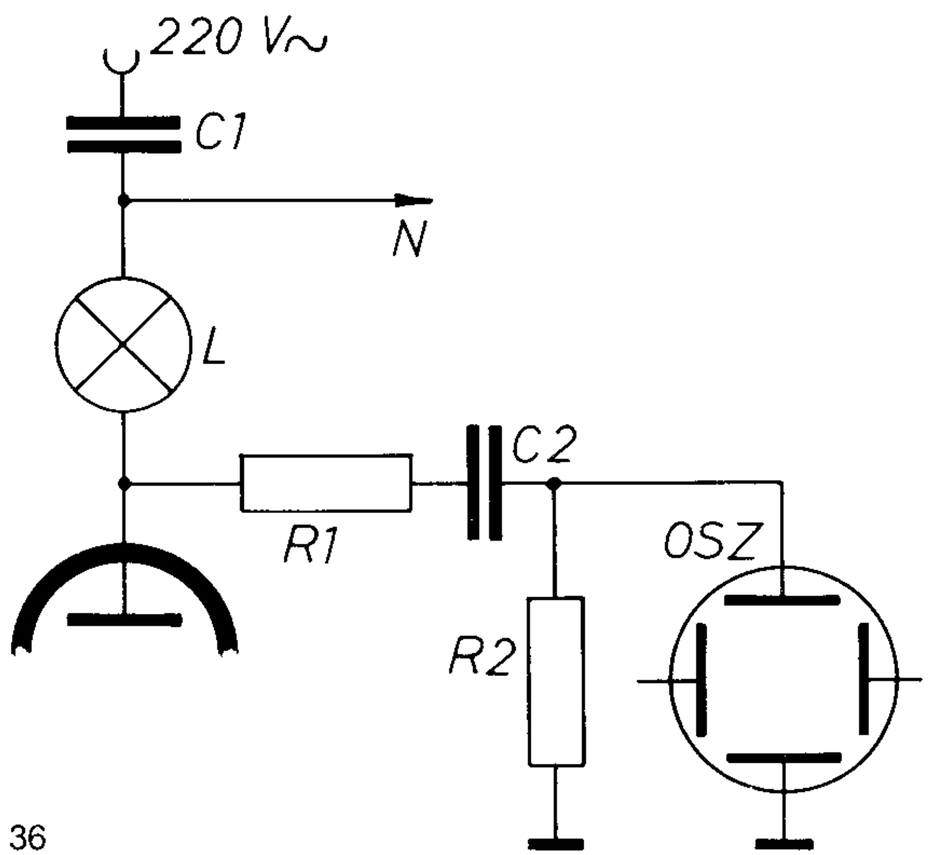


Abb. 36

nuierlich leuchten oder zu Kippschwingungen angeregt werden. Zeigt das Oszillogramm eine HF-Erregung, so wird die hochfrequente Schwingung nicht vom Thyratron, sondern vom Oszillografen produziert! Bei Einhaltung der beschriebenen Vorsichtmaßnahmen sehen wir ohne Nebenschluß eine rein sinusförmige Kurve auf dem Bildschirm, mit Nebenschluß dagegen ein Schirmbild, wie es in Abb. 27 D oder 27 F dargestellt ist.

Stückliste zu Abb. 36

R_1 = 150 kΩ
R_2 = 1 kΩ
C_1 = 4 µF MP
C_2 = 0,5 µF
N = Nebenschluß
L = Glühlampe 220 V 15 W
OSZ = Oszillograf (unsymmetrische Ablenkung)

Stückliste zu Abb. 37

R = 100 kΩ
D = Diode 1 N 4004 oder BY 100 o. ä.
FF = Feldwicklung des Motors } ca. 10 W
M = Ankerwicklung des Motors } ca. 10 W
ST = Steuergerät (siehe Text!)

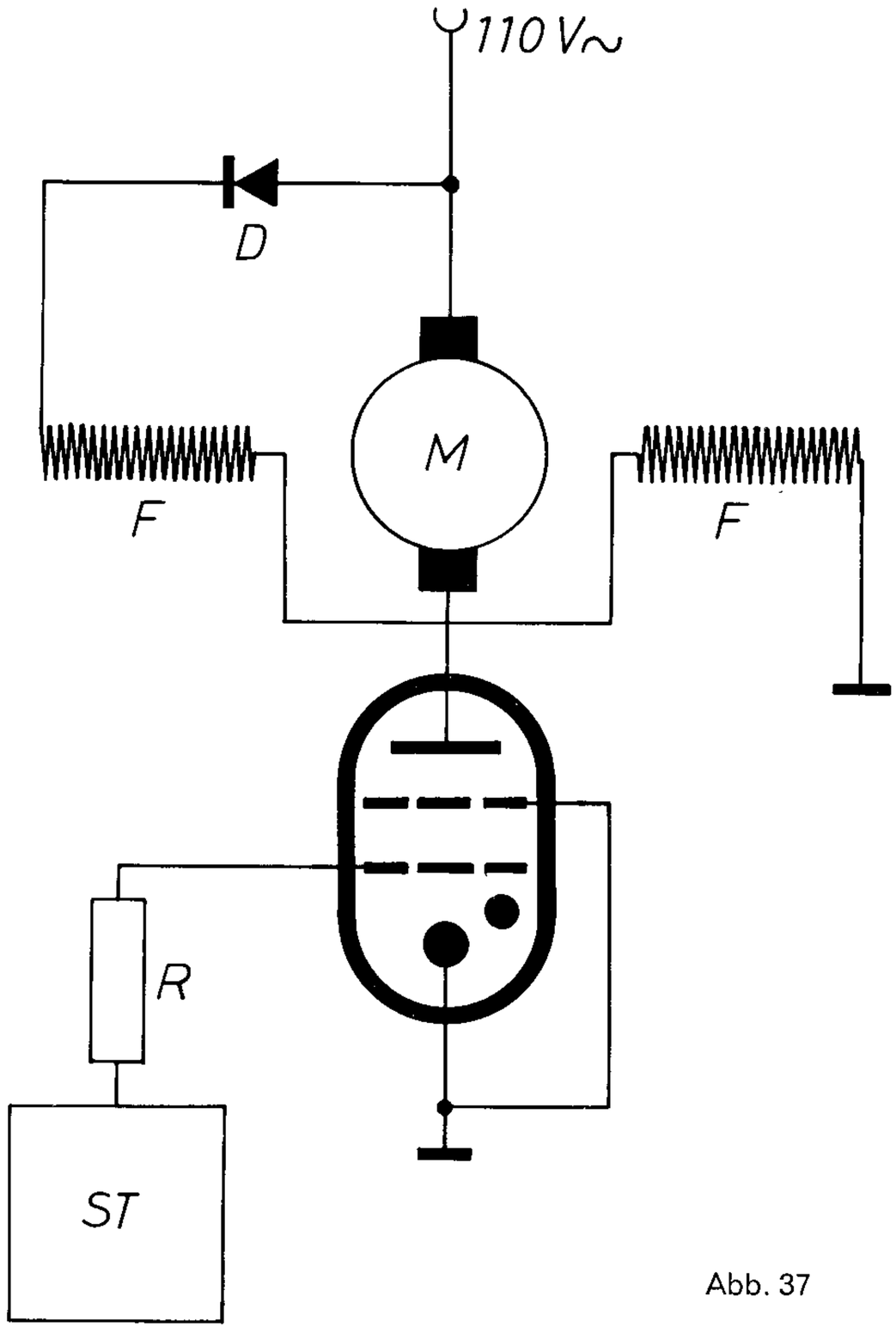


Abb. 37

Motorsteuerung

Nicht alle Motortypen eignen sich für die Steuerung durch ein Thyratron. Am besten greift man zu einem Kollektor-Allstrommotor, bei dem Feld- und Ankerwicklung getrennt herausgeführt sind. Abb. 37 zeigt eine Motorsteuerungsschaltung. Industriellen Vorbildern folgend wird nur der Ankerstrom geregelt. Natürlich können hier nur solche Motoren verwendet werden, deren Ankerstrom unter 100 mA liegt; in einem Vorversuch wird man also den Ankerstrom bei maximaler Leistungsaufnahme messen müssen. Die Betriebsspannung ist in unserem Versuch mit 110 V~ angegeben, für den Motor kommt dann eine 90-V-Type in Frage. Die Thyratronsteuerung bringt einen Halbwellenbetrieb mit sich; damit beim Feldstrom nun die negative Halbwelle nicht „verpufft", nimmt man eine Diode in den Feldstromkreis. ST kennzeichnet das „Steuerwerk". Es kann mit Horizontal-, Vertikal- oder Impulssteuerung gearbeitet werden. Man schlage bei den entsprechenden Schaltungen in diesem Buche nach. Mit stärkeren Thyratrontypen (z. B. PL 5544) lassen sich auch recht beachtliche Motorleistungen steuern. Größere Anlagen, z. B. Drehstrommotorsteuerung oder Motor-Umsteuerung bedingen einen großen Aufwand an Schaltmitteln und übersteigen die Möglichkeiten des Amateurs.

Vorsichtsmaßnahmen und Unfallschutz

Thyratronschaltungen werden bisweilen aus dem „blanken Netz" betrieben. Das bringt natürlich mancherlei Gefahren mit sich. Der Amateur sollte, um sich selbst nicht zu gefährden und um bestehende Vorschriften einzuhalten, eine Reihe von Sicherheitsmaßnahmen ergreifen:

1. An der Steckdose werden mit einem Spannungsprüfer „Null" und „Phase" festgestellt und deutlich und dauerhaft gekennzeichnet.
2. Bei portablen Anlagen, die auch an „unbekannten" Steckdosen angeschlossen und von fremden Personen bedient werden, ist ein Trenntransformator 1 : 1 oder 2 : 1 zu verwenden. Es kann dann auch gefahrlos an Steckdosen gearbeitet werden, die nicht der Schuko-Norm entsprechen (etwa im Ausland).
3. Beim Anschluß eines Geräts, das über längere Zeit in Betrieb bleiben soll, empfiehlt sich der „Stecker nach DJ 8 BL" (siehe Abb. 38!).

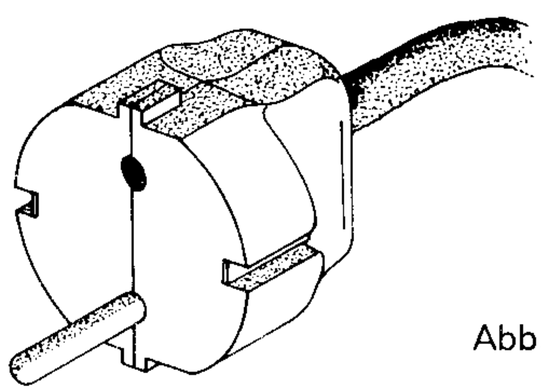


Abb. 38

Er kann nur an Schukosteckdosen angeschlossen werden. Dabei ist ein Steckerstift entfernt, der verbleibende Stift dient zur Zuführung von „Phase", „Null" wird dem Schutzleiter entnommen. Wird nun dieser Stecker aus Versehen falsch eingesetzt, so arbeitet das Gerät nicht; man wird dann den Stecker ziehen und um 180° gedreht wieder einsetzen. Auf keinen Fall kann hier vorkommen, daß bei versehentlich falscher Polung „Phase" am Chassis des Geräts liegt und der Amateur beim Anfassen seines Versuchsaufbaus körperlichen Schaden nimmt.

Literaturhinweise

1) Kretzmann, Dr. Reinhard: „Schaltungsbuch der Industriellen Elektronik" — Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik GmbH Berlin-Borsigwalde
2) Cubasch, Dipl.-Ing. Fritz: „Spezialröhren" — Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik Berlin-Borsigwalde
3) Handbuch für Hochfrequenz- und Elektrotechniker, Band II Seite 605 ff — Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik Berlin-Borsigwalde
4) Swenne, C.M.: „Thyratrons" — Philips Technische Bibliothek
5) Hechler, OStR. August: „Bauelemente der Elektronik" — Verlagsgesellschaft Rudolf Müller Köln-Braunsfeld