

DR. REINHARD KRETZMANN

SCHALTUNGSBUCH  
DER  
INDUSTRIELLEN  
ELEKTRONIK

---

Herrn E. Rodenkis  
mit herzlichstem Dank für  
die erwiesene Unterstützung  
überreicht vom Verfasser,

Dr. R e i n h a r d K r e t z m a n n

**Schaltungsbuch der Industriellen Elektronik**

Schaltungsbuch  
der Industriellen Elektronik



VERLAG FÜR ELEKTROTECHNIK UND ELEKTRONIK  
BERLIN

DR. REINHARD KRETZMANN

# Schaltungsbuch der Industriellen Elektronik



VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH

Berlin-Borsigwalde

VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK  
Schaltungsbuch  
der industriellen Elektronik

Für alle in diesem Buch beschriebenen Schaltungen und Geräte wird weder vom Verlag noch vom Verfasser ein Patentobliegen übernommen. Nachbau oder irgendwie gestaltete gewerbliche Benutzungen sind ohne Einverständnis etwaig vorhandener Schutzrechtinhaber nach den gesetzlichen Bestimmungen unzulässig.

Alle Rechte vorbehalten

Copyright 1955 by VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH, Berlin-Borsigwalde

Printed in Germany · Satz und Druck: Oswald Schmidt KG

## VORWORT

In dem Maße, wie sich die Anwendung elektronischer Hilfsmittel auf nahezu allen Gebieten der industriellen Fertigung ausbreitet, wächst das Bedürfnis nach praktisch erprobten Schaltungen, die nicht allein dem Betriebsingenieur Hinweise auf bestimmte Möglichkeiten zur Lösung seiner Probleme geben, sondern auch dem Techniker Anregungen für seine Arbeit liefern, der sich mit der Entwicklung elektronischer Geräte befaßt. Da eine Sammlung solcher Schaltungen in der deutschsprachigen Literatur bisher nicht vorhanden war, habe ich mich entschlossen, dem HANDBUCH DER INDUSTRIELLEN ELEKTRONIK ein Schaltungsbuch folgen zu lassen, das in Inhalt und Darstellungsweise eine Art Fortsetzung und Ergänzung bildet. Verschiedentlich wurde daher auf bestimmte Abschnitte des HANDBUCHS hingewiesen.

Neben einigen Industrie-Schaltungen stand mir für das Schaltungsbuch ein Teil der Ergebnisse von Arbeiten zur Verfügung, die in den verschiedenen Applikations-Laboratorien der internationalen *Philips*-Organisation durchgeführt wurden. Für die freundliche Genehmigung zur Veröffentlichung der Schaltungen möchte ich den betreffenden Firmen und Organisationen, vor allem den *N. V. Philips Gloeilampenfabrieken*, Eindhoven (Holland), und der *Valvo GmbH*, Hamburg, an dieser Stelle meinen Dank aussprechen.

Die meisten Schaltungen sind im Laboratorium entwickelt. Aus Gründen besserer Übersicht wurden bei einigen Schaltbildern Bestandteile weggelassen, die für die einwandfreie Funktion eines Seriengerätes wichtig sind, zum Beispiel stabilisierte Netzteile, Einrichtungen zum Vorheizen der Röhren und dergleichen. Dies sollte bei etwaiger Übernahme einer Schaltung beachtet werden; auch die jeweilige Patentslage ist zu berücksichtigen. Ferner sei darauf hingewiesen, daß die Erwähnung bestimmter Geräte, Röhren oder sonstiger Bauteile keine Rückschlüsse auf deren Erhältlichkeit im Handel zuläßt.

Dem Buch ist ein Schrifttums- und Quellenverzeichnis angefügt, auf das die im Text in eckigen Klammern gesetzten Zahlen hinweisen.

Hamburg, 1955



# INHALT

## 1. Fotoelektrisch gesteuerte Einrichtungen

Lichtmengen-Messer .....	9
Einrichtung zur automatischen Begrenzung einer Größe .....	10
Überwachung von Verpackungsmaschinen .....	11
Fotoelektrisch gesteuerte Schlagschere .....	12
Zähleinrichtung für Produktionsmaschinen .....	13
Lichtelektrischer Trübungsanzeiger .....	15
Gerät zur Überwachung kleiner Helligkeits- oder Farbdichteunterschiede ..	18
Fotoelektrischer Temperaturindikator .....	19
Automatische Tubenfüllmaschine .....	22
Dämmerungsschalter .....	24
Seitensteuergerät .....	24
Rauchmeldegerät .....	29
Einrichtung zur Längenabtastung von Werkstücken .....	30
Zweifaches fotoelektrisches Relais .....	32
Fotoelektrische Sortiereinrichtung .....	33
Einfacher lichtelektrischer Schalter .....	36
Elektronisches Relais für Infrarotstrahlung .....	37
Fotoelektrische Steuerung einer Papierverarbeitungsmaschine .....	41

## 2. Zählschaltungen

150-kHz-Zähldekade mit vier Doppeltrioden und dekadischer Anzeige ....	44
Impulsformer-Eingangsstufe .....	47
Endstufe einer Dekadenkette .....	48
100-kHz-Zählstufe mit dekadischer Zählröhre .....	48
Eingangsimpulsformer für die 100-kHz-Zählstufe .....	51
Impulsformer für Dekadenzähler .....	53
Aperiodische Vorstufe für die dekadische Zählröhre E 1 T .....	54
Einfache Zählschaltungen mit E 1 T für niedrige Impulsfolgefrequenzen bis 2 kHz .....	56
Vereinfachte Zählschaltung für Impulsfolgefrequenzen bis 10 kHz .....	60
Treiberstufen für mechanische Zählwerke .....	61
Sechsstufige Untersetzerschaltung für GM-Zählrohre .....	62
Impulsgeber für die Untersuchung von Flip-Flop-Schaltungen .....	64
Impulsgeber für Zählschaltungen mit der E 1 T .....	66
Schaltung zum Vorwärts- und Rückwärtszählen mit dekadischer Zählröhre	69
Multiplikationsschaltung mit dekadischen Zählröhren .....	71
Ringzählerschaltung mit Relaisröhre Z 50 T .....	75
Zählwerk mit Speicher für zwei Dekaden .....	76
Impulsverzögerungsschaltung .....	78

### 3. Stabilisierungsschaltungen

Thermostat für Kunststoff-Schweißmaschinen .....	81
Einfache Schaltung zur Konstanthaltung von Temperaturen .....	83
Thermostat für medizinische Zwecke .....	85
Schaltung zur Konstanthaltung einer Wechselspannung .....	87
Dreiphasen-Gleichrichter mit konstanter Ausgangsspannung .....	89
Stabilisiertes Gleichstromversorgungsgerät .....	92
Pegelregelungsanlage .....	95
Heizstromstabilisierung .....	96

### 4. Schalt- und Steuereinrichtungen

Schaltung zur Steuerung einer Zentrifugal-Gießmaschine .....	99
Automatische Drehzahlregelung für eine Zentrifugal-Gießmaschine .....	100
Elektronische Schüttelvorrichtung .....	103
Preßeinrichtung für Brikettiermaschinen .....	104
Einfaches elektronisches Schaltschütz .....	105
Steuergerät für kleine Punktschweißmaschinen .....	107
Zeitschalter zum Vorheizen von quecksilberdampfgefüllten Röhren .....	109
Zeitgeber für zwei Intervalle .....	111
Dreiphasiges Zündgerät für Thyatronröhren .....	112
Zündgerät mit <i>RL</i> -Phasenbrücke .....	113
Schaltung zur Ladekontrolle bei Förderbändern .....	115
Thyatronsteuerung eines Motors mit Gleichspannung .....	118
Eisensuchgerät zur Überwachung von bahnförmigen Gütern .....	120
Metallmeldegerät für voluminöse Güter .....	125
Anordnung zur Zählung von Stanzvorgängen .....	131
Kontrolleinrichtung für Papierverarbeitungsmaschinen .....	133
Nachlaufsteuerung .....	135
Beleuchtungsregelgerät .....	138
Bühnenbeleuchtungsanlage .....	140
Lastverteilerschaltung für Ignitron-Schweißstakter .....	143
Weidezaungerät für Batteriebetrieb .....	146

### 5. Oszillator- und Verstärkerschaltungen

Einfacher selbsterregter HF-Generator für Halbwellenbetrieb .....	148
Selbsterregter HF-Generator für Speisung durch gleichgerichtete Wechselspannung .....	152
700-Watt-HF-Gegentaktverstärker .....	156
30-Watt-HF-Senderverstärker auf 430 MHz .....	158
250-Watt-HF-Verstärker .....	163
50-Watt-HF-Oszillator auf 500 MHz .....	167
Radiosonde .....	169
Oszillator kleiner Leistung auf 470 MHz .....	170

Gegentakt-Oszillator auf 470 MHz .....	171
Oszillator mit EC 55 für 750...1250 MHz .....	172
3-kW-Generator auf 220 MHz .....	176
Generatorschaltung für schmale Impulse .....	178
Magnetostriktiver 400-Watt-Ultraschallgenerator .....	179
500-Watt-NF-Verstärker .....	184
200-Watt-NF-Generator .....	188
Meßverstärker für Laborzwecke .....	189

## 6. Gleichrichterschaltungen

Transformatorloser gesteuerter Dreiphasen-Vollweg-Gleichrichter .....	193
Spannungsregelnder Sechsphasen-Gleichrichter für Buchhaltungsmaschinen	198
Leonard-Feldstromrichter .....	204
Zweiphasige Motorsteuerungsschaltung mit Drehzahl-Stabilisierung durch Tacho-Dynamo .....	206
Zweiphasige Motorsteuerungsschaltung mit Drehzahl-Stabilisierung und <i>IR</i> - Kompensation .....	208
Zweiphasige Motorsteuerungsanlage mit Drehmoment-Stabilisierung .....	209
Wickelantriebssteuerung .....	210
Vorschubantrieb .....	210
Transformatorlose dreiphasige Motorsteuerungsanlage .....	215
Sechsphasiger Motor-Umkehrstromrichter für eine Aufzugsteuerung .....	215

<b>Schrifttums- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>221</b>
--	------------

<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>223</b>
------------------------------	------------



## Einrichtung zur automatischen Begrenzung einer Größe [40]

Eine fotoelektrische Steuereinrichtung, deren Schaltbild *Abb. 1-2* zeigt, vermag eine physikalische Größe, zum Beispiel Druck, Temperatur, Drehzahl oder auch das Längenmaß eines Werkstückes, innerhalb zweier vorgegebener Grenzen zu halten. Der Sollzustand entspricht einer mittleren Beleuchtung der Fozelle 90 CG, so daß die Brückenschaltung, deren Bestandteil die Langlebensdaueröhre E 80 F bildet, eine Ausgangsspannung von solcher Größe liefert, daß das linke Thyatron PL 21 gelöscht und das rechte gezündet ist. Zur Einjustierung dient das Potentiometer  $R_1$ , während mit  $R_2$  und  $R_3$  die obere und untere Grenze des Toleranzbereiches eingestellt werden kann. Bei zunehmender Beleuchtung der Fozelle wird die Brückenausgangsspannung negativer, so daß bei Erreichen der oberen Grenze beide Thyatrons gelöscht sind. Umgekehrt sind beide Röhren gezündet, wenn die untere Grenze erreicht ist. Die Relaiskontakte sind so geschaltet, daß bei Erreichen der unteren oder oberen Grenze jeweils ein Stromkreis geschlossen wird.

Um zu verhindern, daß das Gerät auf momentane Änderungen der Beleuchtungsstärke anspricht, die auf kurzzeitige Abweichungen der kontrollierten Größe von ihrem Sollwert zurückzuführen sind, ist im Gitterkreis der E 80 F ein  $RC$ -Glied vorgesehen, dessen Zeitkonstante in 5 Stufen geändert werden kann. In der sechsten Position ist das  $RC$ -Glied ausgeschaltet. Bei der angezeigten Dimensionierung ergeben sich Zeitkonstanten von 0-1,5-3-6-12-24 s.

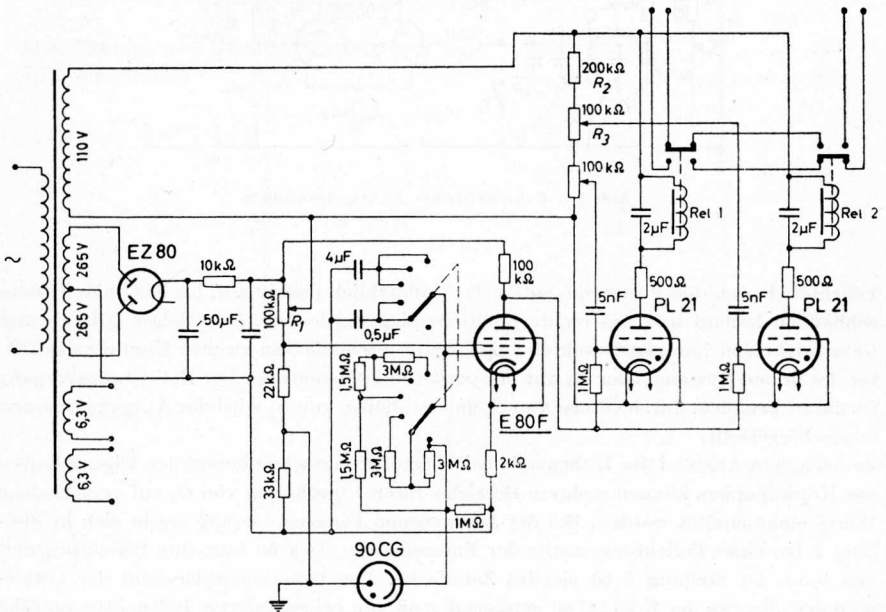


Abb. 1-2. Fotoelektrische Steuereinrichtung zur automatischen Begrenzung einer Größe

## Überwachung von Verpackungsmaschinen [33]

Bei Verpackungsmaschinen besteht häufig die Notwendigkeit, einen Aufdruck oder beispielsweise die Aufreißbänder auf ihr Vorhandensein zu überwachen. Hierzu dient eine fotoelektrische Abtastvorrichtung, deren Schaltbild in Abb. 1-3 wiedergegeben ist. Ein von der Lampe  $La$  gelieferter Lichtstrahl fällt auf das Verpackungsmaterial und wird auf die Fozelle  $F$  reflektiert. Die in regelmäßigen Abständen erscheinenden andersfarbigen Aufreißbänder verursachen eine kurzzeitige Verstärkung des auf die Fozelle fallenden Lichtes, so daß an der Zelle negative Spannungsimpulse entstehen, die über  $C_2$  an das linke Gitter der Doppeltriode  $V_1$  geführt werden. Falls die Bänder eine Schwächung des reflektierten Lichtstrahls hervorrufen, vertauscht man  $F$  und  $R_3$ . Die beiden

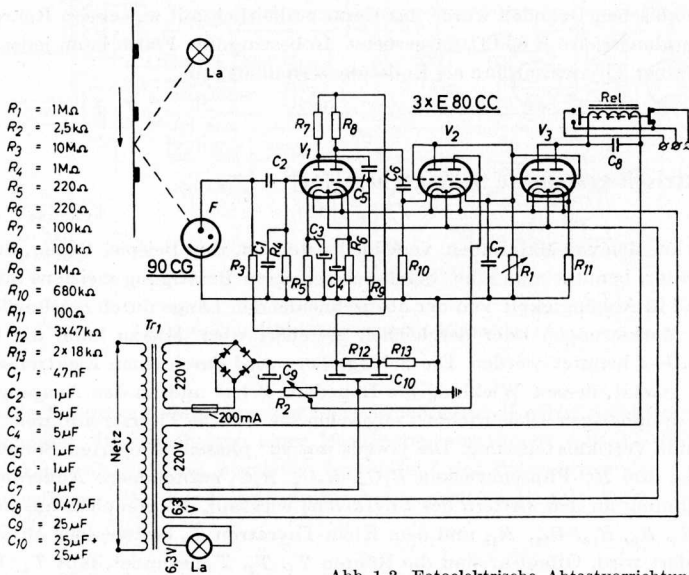


Abb. 1-3. Fotoelektrische Abtastvorrichtung

Systeme von  $V_1$  sind in Kaskade geschaltet, so daß an der Anode des rechten Systems etwa um den Faktor 150 verstärkte negative Spannungsimpulse entstehen, die über  $C_6$  an die Katode des linken Systems von  $V_2$  geführt werden. Dieses ist als Diode geschaltet, und der entstehende Richtstrom ruft an  $R_1$  einen Spannungsabfall hervor, der  $C_7$  auflädt. Das rechte System von  $V_2$  ist ebenfalls als Diode geschaltet, deren Anode durch  $R_2$  eine einstellbare negative Vorspannung erhält. Übersteigt die Spannung an  $C_7$  den Betrag dieser Vorspannung, so wird das rechte System leitend und schneidet die Überspannung ab. Damit erreicht man, daß die von  $F$  gelieferten Impulse, sofern sie nur in regelmäßigen Abständen eintreffen, unabhängig von ihrer jeweiligen Höhe eine Spannung bestimmter Größe an  $C_7$  hervorrufen. Diese Spannung liegt mit negativem Vor-

zeichen an den Steuergittern der beiden parallel geschalteten Systeme der Doppeltriode  $V_3$  und verhindert damit das Ansprechen des Relais *Rel*. Falls nun jedoch ein Impuls wegen Fehlens eines Aufreißbandes oder dergleichen ausbleibt, entlädt sich  $C_7$  über  $R_1$  so weit, daß  $V_3$  leitend wird und eine Alarmvorrichtung in Tätigkeit setzt. Mit der gewählten Dimensionierung von  $C_7$  und  $R_1$  können Verzögerungszeiten bis zu 1,5 s eingestellt werden.

Bei Inbetriebnahme der Einrichtung wird zuerst das Potentiometer  $R_2$  so justiert, daß alle Impulse einen gleichmäßigen Beitrag zur Spannung an  $C_7$  liefern. Nun kann  $R_1$  entsprechend der Impulsfolgefrequenz, das heißt der Arbeitsgeschwindigkeit der Maschine, so eingestellt werden, daß während der Pausen zwischen den Impulsen das Relais gerade noch nicht anzieht.

Aus ökonomischen Gründen wurde das Gerät einheitlich mit nur einem Röhrentyp, der Langlebensdaueröhre E 80 CC, ausgerüstet. In bestimmten Fällen kann jedoch die Verwendung einer Thyatronröhre als Endstufe vorteilhaft sein.

## Fotoelektrisch gesteuerte Schlagschere [41]

Zum Abschneiden von Materialien verschiedenster Art, zum Beispiel Papier, Stoff, Blech und so weiter, benutzt man eine Schlagschere, deren Betätigung meistens automatisch erfolgt und in Abhängigkeit von der abzuschneidenden Länge durch regelmäßig wiederkehrende Markierungen oder dergleichen gesteuert wird. Hierzu kann die Schaltung nach *Abb. 1-4* benutzt werden. Die Schlagschere wird durch einen Elektromagneten in Tätigkeit gesetzt, dessen Wicklung die Impedanz  $Z$  hat und an den Ausgang eines gesteuerten dreiphasigen Gleichrichters angeschlossen ist. Die Thyatronröhren  $T_1, T_2, T_3$  arbeiten mit Vertikalsteuerung. Die jeweils um  $90^\circ$  phasenverzögerten Steuerspannungen werden drei  $RC$ -Phasenbrücken  $R_4C_4, R_5C_5, R_6C_6$  entnommen. Außerdem ist eine Gleichspannung an den Gittern der Thyatrons wirksam, die von einer aus den Widerständen  $R_8, R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}$  und dem Klein-Thyatron  $T_4$  bestehenden Brückenschaltung geliefert wird. Offenbar sind die Röhren  $T_1, T_2, T_3$  gezündet, falls  $T_4$  (PL 21) gelöscht ist. Der Zündwinkel und damit der durch den Elektromagneten der Schlagschere fließende Strom kann durch Verändern des Potentiometers  $R_{10}$  nach Bedarf eingestellt werden. Im Ruhezustand ist  $T_4$  jedoch gezündet, da das Gitter dieser Röhre über  $R_{14}$  und  $R_{13}$  mit dem positiven Pol der Stromversorgung verbunden ist. Das Thyatron  $T_5$  bleibt dagegen gelöscht, da es gitterseitig eine negative Vorspannung erhält, deren Größe mit  $R_7$  eingestellt werden kann. Die Kondensatoren  $C_8$  und  $C_9$  sind dann auf etwa 100 V aufgeladen. Wird nun  $T_5$  durch einen gitterseitig auftretenden Impuls gezündet, so wird  $T_4$  wegen der Ladung auf  $C_8$  gelöscht und die Schlagschere betätigt.  $T_4$  bleibt gelöscht, bis sich  $C_9$  über  $R_{14}$  auf etwa  $10 \dots 8$  V entladen hat. Bei der gewählten Dimensionierung ist dies in etwa 0,25 s der Fall. Durch Verkleinern des variablen Widerstandes  $R_{14}$  kann das Zeitintervall nach Bedarf verkürzt werden. Hierauf zündet  $T_4$  wieder, wodurch gleichzeitig  $T_5$  wegen des inzwischen mit umgekehrter Polarität aufgeladenen Kondensators  $C_8$  gelöscht wird und der Ruhezustand wiederhergestellt ist.



disches Zählwerk angeschlossen, wie es bereits an anderer Stelle beschrieben wurde<sup>1)</sup>. Das Steuergitter der E 80 F ist mit dem Anodenkreis des rechten Systems der Doppeltriode E 90 CC verbunden, die in bistabiler Kippschaltung (Flip-Flop-Schaltung) arbeitet. Wenn das rechte System leitend wird, erhält das Steuergitter der E 80 F ein so stark negatives Potential in bezug auf Katode, daß diese Röhre gesperrt ist und die von der Fozelle gelieferten Impulse das Zählwerk nicht erreichen können. Die Steuerung der Flip-Flop-Stufe geschieht durch eine zweite Doppeltriode E 90 CC, die in monostabiler Kippschaltung arbeitet. Im Ruhezustand ist das linke System stromführend und das rechte gesperrt.

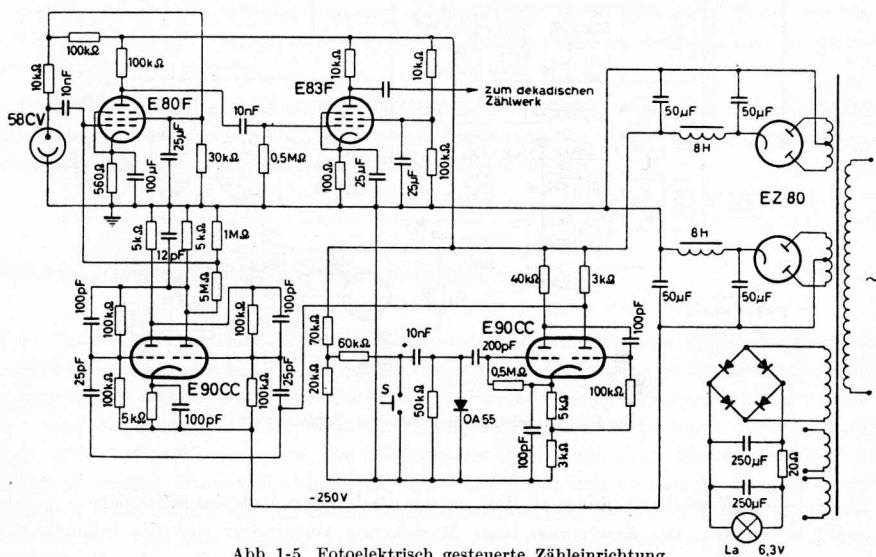


Abb. 1-5. Fotoelektrisch gesteuerte Zählleinrichtung

Wenn der Schalter *S* kurzzeitig geschlossen wird, tritt am Steuergitter des linken Systems ein negativer Impuls auf, der die Röhre kippen läßt, so daß an der Anode des rechten Systems ein kräftiger negativer Impuls entsteht. Hierdurch wird die Flip-Flop-Stufe in den anderen Zustand gekippt. Erneute Betätigung von *S* stellt dann die ursprünglichen Verhältnisse wieder her.

Die Lampe *La* dient zur Beleuchtung der Fozelle. Zur Vermeidung von Störimpulsen wird sie mit gesiebter Gleichspannung betrieben.

Das Gerät bietet auch die Möglichkeit, die Dauer von Zeitintervallen sehr genau zu bestimmen, wenn an Stelle der Fozelle der Ausgang eines Impulsgenerators mit bekannter Frequenz, zum Beispiel 10 kHz, an das Steuergitter der ersten Verstärkerröhre gelegt wird. Das Zählwerk gibt dann das Zeitintervall zwischen zwei Betätigungen des Schalters *S* in zehntel Millisekunden an.

<sup>1)</sup> Kretzmann, R.: HANDBUCH DER INDUSTRIELLEN ELEKTRONIK. VERLAG FÜR RADIO-FOTO-KINOTECHNIK GMBH, Berlin-Borsigwalde 1954. II.11. Seite 132

### Lichtelektrischer Trübungsanzeiger

Der lichtelektrische Trübungsanzeiger ist eine Relaiseinrichtung, die es gestattet, prozentual geringe Lichtschwächungen zu erfassen und bei Überschreitung eines vorgegebenen Wertes anzuzeigen. Zu diesem Zwecke werden meistens Brückenanordnungen mit zwei Fotozellen verwendet, die von zwei getrennten Lichtbündeln einer Beleuchtungs-lampe belichtet werden. Das eine Lichtbündel durchsetzt die Meßstrecke, das andere erreicht die zugehörige Fotozelle direkt. Die Brücke wird bei ungetrübter Meßstrecke abgeglichen. Eine solche Anlage ist, wie jede Brückenanordnung, weitgehend unempfindlich gegen Speisespannungsschwankungen; sie erfordert aber einen hohen Aufwand.

Im vorstehend genannten Gerät wurde mit Erfolg versucht, genügende Konstanz des Ansprechwertes mit nur einem Lichtbündel und einer Fotozelle durch Stabilisierung aller wesentlichen Spannungen des Gerätes und der Fadenspannung der Beleuchtungslampe zu erreichen. Es gelang, den relativen Ansprechwert des Relais mit ausreichender Sicherheit auf 5% Lichtschwankung festzusetzen, was in den meisten praktisch vorkommenden Fällen genügt.

Das Gerät eignet sich besonders zur Feststellung von Trübungen oder Farbänderungen in Flüssigkeiten, als Rauchanzeiger oder für ähnliche Zwecke. Es kann überall da angewendet werden, wo sich die Belichtung einer Fotozelle durch Änderung von Färbung, Durchlässigkeit oder Reflexionsvermögen eines Prüflings ändert.

Die Schaltung eines solchen Gerätes als Rauchmelder zeigt *Abb. 1-6*. Es besteht im wesentlichen aus einer Fotozelle, einem einstufigen Verstärker und einem Thyatron zur

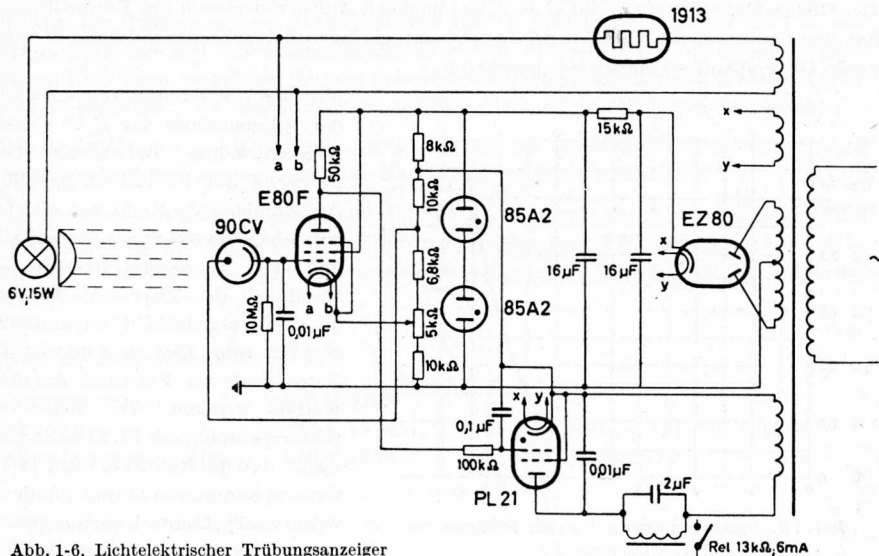


Abb. 1-6. Lichtelektrischer Trübungsanzeiger

Betätigung eines Schaltrelais. Wegen der erforderlichen Konstanz wird eine Vakuumzelle (*Valvo* 90 CV) verwendet. Aus dem gleichen Grunde geschieht die Verstärkung durch eine Pentode E 80 F, die sich bei Unterheizung durch sehr hohe Gitterisolation auszeichnet und daher die Verwendung eines Gitterableitwiderstandes von  $10\text{ M}\Omega$  gestattet, was eine genügend hohe Ansprechempfindlichkeit ergibt. Die benötigten Gleichspannungen werden einem Netzgleichrichter mit der Zweiweg-Gleichrichterröhre EZ 80 entnommen und durch zwei in Reihe geschaltete Stabilisatorröhren 85 A 2 stabilisiert, so daß unabhängig von Netzspannungsschwankungen eine konstante Spannung von etwa  $170\text{ V}$  entsteht. Die Betriebsspannungen für die Fotozelle und die Verstärkerpentode werden von einem Spannungsteiler abgegriffen, in dem ein  $5\text{-k}\Omega$ -Potentiometer enthalten ist, das die Einstellung des Katodenpotentials der E 80 F und damit des Arbeitspunktes dieser Röhre gestattet. Damit wird der gewünschte Ansprechwert für die Thyatronschaltung eingestellt.

Der Heizfaden der E 80 F und die Glühlampe sind parallel geschaltet. Die Fadenspannungen stabilisiert ein in Reihe liegender Eisen-Wasserstoff-Widerstand *Valvo* 1913. Die Spannung der Heizwicklung ist so gewählt, daß die beiden Fäden mit Unterspannung betrieben werden. Sie ergibt hohe Lebensdauer und gleichmäßige Lichtausbeute der Beleuchtungslampe und die bereits erwähnten Elektrometerröhren-Eigenschaften der E 80 F.

Als Lichtquelle dient eine  $6,3\text{-V}/15\text{-W}$ -Glühlampe, deren Licht durch eine einfache Plankonvexlinse von etwa  $20\text{ mm}$   $\varnothing$  und  $40\cdots 50\text{ mm}$  Brennweite auf die Katode der Fotozelle fällt. Das durch die Linse erzeugte nahezu parallele Lichtbündel ermöglicht eine in weiten Grenzen veränderliche Meßstreckenlänge zwischen Lichtquelle und Fotozelle.

Der Gitterableitwiderstand der E 80 F, der zugleich Außenwiderstand der Fotozelle ist, hat eine Größe von  $10\text{ M}\Omega$ . Dies ergibt schon bei geringen Beleuchtungsänderungen eine große Gitterspannungsänderung der E 80 F.

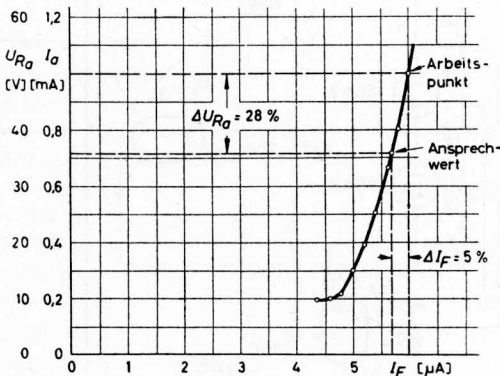


Abb. 1-7. Ausgangsspannung  $U_{Ra}$  als Funktion des Fotozellenstroms  $I_F$

Mit dem  $5\text{-k}\Omega$ -Potentiometer wird der Anodenstrom der E 80 F bei ungeschwächter Belichtung der Fotozelle auf  $1,0\text{ mA}$  eingestellt. Am Anodenwiderstand von  $50\text{ k}\Omega$  entsteht dann ein Spannungsabfall von  $50\text{ V}$ . In diesem Betriebszustand soll das Thyatron PL 21 durch eine negative Gitterspannung gesperrt sein. Das wird durch ein festes positives Potential an der Katode erreicht. Die negative Gitterspannung der PL 21 ist so gewählt, daß die Röhre bei etwa  $14\text{ V}$  Gitterspannungsänderung zündet, was etwa  $5\%$  Lichtschwächung entspricht. Damit ist eine weitgehende

Sicherung gegen kleinere willkürliche Schwankungen gewährleistet.

Die erzielbare Empfindlichkeit des Gerätes ist aus *Abb. 1-7* zu ersehen. Sie zeigt die Abhängigkeit des Anodenstroms beziehungsweise der Ausgangs-Gleichspannung der E 80 F vom Fotozellenstrom  $I_F$ . Bei einer Abschwächung des Lichtes und damit des Fotozellenstroms um 5% ergibt sich eine Anodenstromänderung von 28%. Dies bedeutet eine Spannungsempfindlichkeit von etwa 3 V am Gitter des Thyratrons für 1% Belichtungsänderung.

Den Verlauf der Betriebswerte als Funktion der Anlaufzeit ersieht man aus *Abb. 1-8*.

Das Diagramm zeigt, daß die Lampen- und Heizspannung  $U_F$ , der Fotozellenstrom  $I_F$  und der Anodenstrom  $I_a$  der E 80 F erst nach etwa 15...20 min einen weitgehend konstanten Wert annehmen. Das ist auf das Verhalten des Eisen-Wasserstoff-Widerstandes zurückzuführen. Nach Beendigung der Anlaufzeit ergeben sich für  $I_a$  maximal Schwankungen von  $\pm 3\%$ , was scheinbaren Belichtungsänderungen von etwa  $\pm 0,6\%$  entspricht. Die Festlegung eines Ansprechwertes von 5% für das Ansprechen der PL 21 und damit des Relais gibt somit ausreichende Sicherheit. Mit dem 5-k $\Omega$ -Potentiometer kann dieser Wert noch vergrößert werden. Soweit es die Betreiberfordernisse gestatten, kann man so auf Kosten der Empfindlichkeit die Sicherheit gegen Fehlansprechen erhöhen.

Die Gitterstrecken der E 80 F und der PL 21 sind mit Kondensatoren überbrückt, um impulsartige Störspannungen fremder Herkunft unwirksam zu machen.

Die elektrischen Daten sind im Schaltbild von *Abb. 1-6* enthalten. Beim Aufbau ist auf sorgfältige Abschirmung und gute Erdung des Fotozellenverstärkers zu achten. Die untenstehenden Transformatoraten gelten bei Verwendung eines hochohmigen Feinrelais mit geringer Erregerleistung.

#### Daten des Netztransformators

Primärwicklung: 220 V 0,5 A  
 Sekundärwicklung I:  $2 \times 230$  V 15 mA  
 Sekundärwicklung II: 220 V 20 mA

Sekundärwicklung III: 6,3 V 0,6 A  
 Sekundärwicklung IV: 13 V 2,0 A

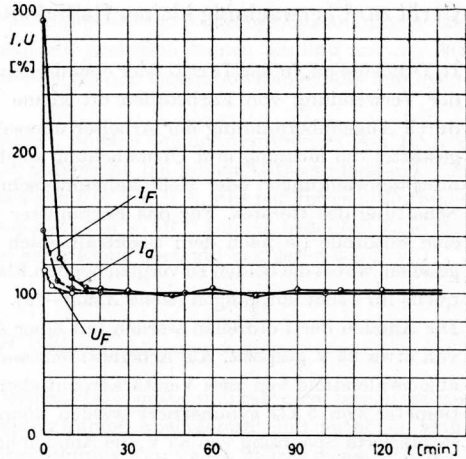


Abb. 1-8. Zeitlicher Verlauf der Lampenspannung  $U_F$ , des Fotozellenstroms  $I_F$  und des Anodenstroms  $I_a$