

Zeitschrift: Helvetica Physica Acta
Band: 21 (1948)
Heft: II

Artikel: Über Untersetzer
Autor: Baldinger, E. / Casale, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-111900>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Über Untersteller

von E. Baldinger und R. Casale*), Basel.
(2. II. 1948.)

Zusammenfassung. Zunächst wird nachgewiesen, dass jede Kippschaltung auf drei verschiedene Arten betrieben werden kann, nämlich als Generator, als „Flip-Flop“- und als Unterstellerstufe. Ein einfacher Untersteller vom Multivibratorotyp wird näherungsweise durchgerechnet und ferner eine Eingangsstufe beschrieben, welche die Zählung von Spannungsimpulsen beliebiger Form erlaubt. Nach einer kurzen Diskussion der Zählverluste folgt ein Schema eines Unterstellers mit einem Auflösungsvermögen von 10^{-6} Sekunden.

I. Kippschaltungen und ihre verschiedenen Betriebszustände.

Der erste Untersteller wurde 1931 von WYNN-WILLIAMS¹⁾ gebaut, und Anordnungen dieser Art haben sich bald als wertvolles Hilfsmittel erwiesen. Man verwendet sie heute zu den verschiedensten Zwecken wie z. B. zur Zählung von Impulsen, zur Frequenzunterteilung, als Kurzzeitmesser, Frequenzmesser usw. Ein Untersteller stellt also ein sehr vielseitiges Messgerät dar, dessen Bedeutung als bekannt vorausgesetzt werden darf.

Es besteht eine grosse Mannigfaltigkeit der verschiedenen Schaltungen und Ausführungen. Um einen besseren Überblick zu

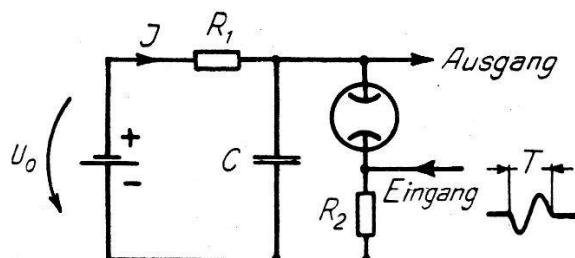


Fig. 1.

Kippschaltung mit einer Glimmlampe.

Die Signaldauer T sei klein gegenüber der Entladzeitkonstante des Kondensators C . erhalten, ist es zweckmässig, zuerst den Zusammenhang der Untersteller-Schaltungen mit Kippgeneratoren, ferner mit sogenannten „Flip-Flop“-Stufen und „trigger“-Schaltungen zu betrachten. Alle diese Anordnungen wollen wir unter der Bezeichnung Kippschaltungen zusammenfassen. Eine solche Kippschaltung besitzt min-

*) Istituto di Fisica dell'Università di Roma.

destens zwei verschiedene Zustände, zwischen denen sie hin- und herkippt. Ist kein Zustand dauernd stabil, so handelt es sich um einen Kippgenerator. Sind alle Zustände dauernd stabil, so liegt eine Untersetzerschaltung vor; ist nur ein Teil der Zustände stabil, so wollen wir von einer „Flip-Flop“-Stufe sprechen. Jede Kippschaltung kann in diesen drei verschiedenen Arten, also als Generator, Flip-Flop-Stufe oder Untersetzerstufe betrieben werden.

Ein einfaches Beispiel (Fig. 1), das die wesentlichen Eigenschaften einer Kippschaltung aufweist, soll diese Tatsache kurz erläutern.

Untersetzer: Damit beide Zustände (Löschen und Brennen der Glimmlampe) stabil sind, muss

- die Batteriespannung U_0 kleiner als die Zündspannung sein und
- die Widerstandsgerade in Fig. 2 die Glimmlampencharakteristik rechts vom Minimum schneiden.

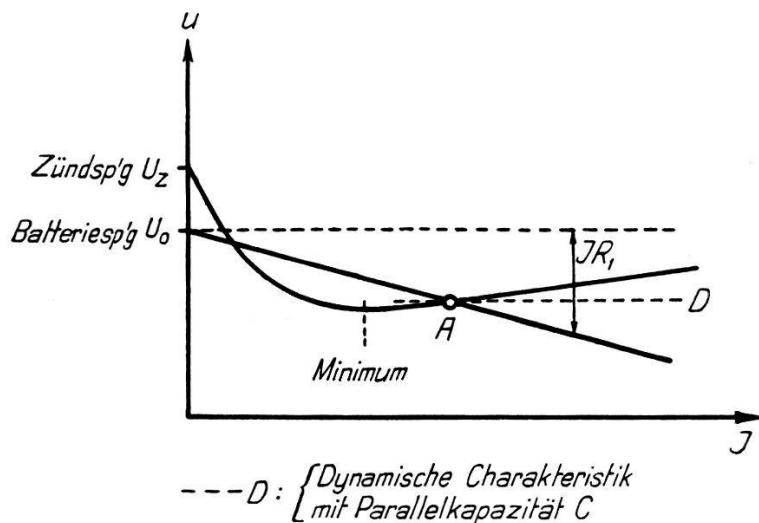


Fig. 2.
Glimmlampencharakteristik mit Widerstandsgeraden.
Der kleine Widerstand R_2 wird vernachlässigt.

Wegen der zur Glimmlampe parallel geschalteten Kapazität C existiert links vom Minimum kein stabiler Arbeitspunkt²⁰⁾. Am kleinen Widerstand R_2 wird die Steuerspannung aufgedrückt. Wir wollen annehmen, dass die Glimmlampe Strom führe. Der erste Steuerimpuls bringt die Glimmlampe zum Erlöschen. Sie wird durch den nächsten Steuerimpuls wieder zum Zünden gebracht. Zum Zünden ist in diesem Beispiel ein negativer Impuls erforderlich. Die unmittelbar folgende positive Spitze des Steuerimpulses (Fig. 1) ist wegen der Kapazität C solange zulässig, als diese Spannungsspitze einen kritischen Wert nicht überschreitet. Die Kapazität ist

somit notwendig, wenn diese Unterstellerstufe mit gleichartigen Eingangsimpulsen gesteuert werden soll. Durch zweimaliges Differenzieren der Ausgangsspannung kann bei jedem Zünden der Glimmlampe ein dem Eingangsimpuls ähnlicher Ausgangsimpuls erzeugt werden, womit eine Division durch zwei erreicht ist.

Kippgenerator und Flip-Flop-Stufe:

Erhöht man die Batteriespannung und verkleinert den Widerstand R_1 , so wird die Schaltung in Fig. 1 zu einem Kippgenerator mit sägezahnförmiger Ausgangsspannung. Durch geeignete Dimensionierung können wir aber auch einen unselbständigen Kippgenerator realisieren, der bei jedem Steuerimpuls nur einmal hin- und herkippt (Flip-Flop-Stufe).

Die Dimensionierungsvorschriften zur Erreichung der drei verschiedenen Betriebszustände sind im folgenden Abschnitt zusammengestellt.

a) Kippgenerator: Kein dauernd stabiler Zustand

$$U_0 > U_z$$

Schnittpunkt A links vom Minimum in Fig. 2.

b) Flip-Flop-Stufe: Ein dauernd stabiler Zustand.

Es sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Glimmlampe sperrt im Ruhezustand

$$U_0 < U_z$$

Schnittpunkt A links vom Minimum.

2. Glimmlampe brennt im Ruhezustand

$$U_0 > U_z$$

Schnittpunkt A rechts vom Minimum.

c) Unterstellerstufe: Zwei dauernd stabile Zustände

$$U_0 < U_z$$

Schnittpunkt A rechts vom Minimum.

II. Weitere Schaltungstypen: Sperrschwinger, Transitron und Multivibrator.

Die Glimmlampenschaltung in Fig. 1 ist für Demonstrationszwecke durchaus geeignet, weist aber im praktischen Gebrauch erhebliche Nachteile auf. Edelgasgefüllte Thyratrons sind solchen Glimmlampen vorzuziehen, und überdies ist eine vollkommen symmetrische Schaltung wie sie bereits WYNN-WILLIAMS¹⁾ verwendete, betriebssicherer zu bauen. Um das Auflösungsvermögen zu ver-

bessern, ist man aber bald zur Verwendung von Hochvakuumröhren übergegangen. Es ist bemerkenswert, dass der erste mit Hochvakuumröhren gebaute Untersetzer der Sperrschwingergruppe angehört.

Bereits im Jahre 1934 haben ALFÉN und OHLIN ihre Arbeit „Eine schwingende Elektronenröhre als Thyratronersatz“⁵⁾ publiziert. Fig. 3 zeigt eine Untersetzerschaltung dieser Art.

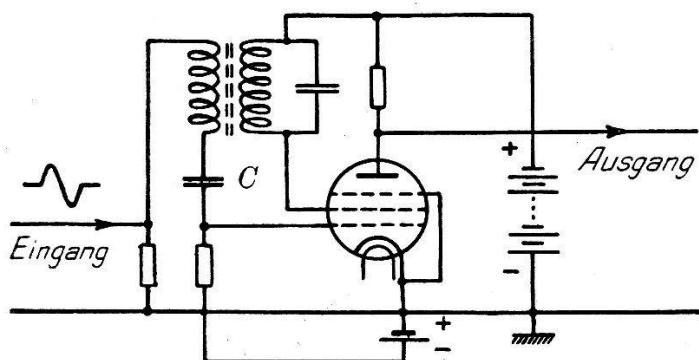


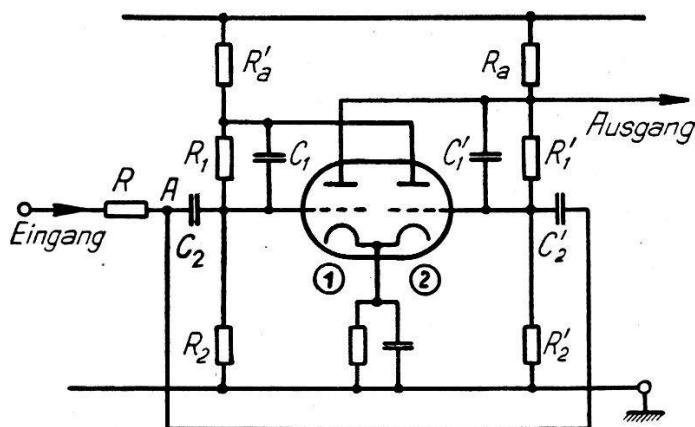
Fig. 3.
Untersetzer vom Sperrschwingertyp.

Die Gittervorspannung muss so gross sein, dass ohne Hochfrequenzschwingung noch kein Anodenstrom fliesst (erster stabiler Zustand). Wenn die hochfrequente Schwingung durch den positiven Steuerimpuls gestartet wird, soll der Schwingungszustand dauernd stabil sein. (Zweiter stabiler Zustand). Infolge des dann auftretenden Gitterstroms wird die negative Gittervorspannung derart vergrössert, dass der nächste Steuerimpuls die Schwingung zum Abreissen bringt. Die Kopplungskapazität zum Steuergitter ist notwendig, damit beim Starten des Oszillators der negative Teil des Steuerimpulses die Hochfrequenzschwingung nicht wieder abstoppt.

Ein weiterer Typ einer Kippschaltung stellt das Transitron*) dar, das nach REICH⁹⁾ hingegen für Untersetzer nicht sehr geeignet ist. Ein Transitron kann mit jeder Röhre gebaut werden, die eine Verstärkung ohne Phasenumkehr ermöglicht. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn man das Bremsgitter einer Pentode als Steuergitter benutzt und die verstärkte Spannung an einem Seriewiderstand zum Schirmgitter abnimmt. Auch bei einer Sekundäremissionsröhre ist eine phasenrichtige Verstärkung in einer Röhre ohne Verwendung eines Transformators möglich. Im allgemeinen werden für Untersetzer Multivibratorschaltungen und insbesondere solche vollkommen symmetrischer Anordnungen bevorzugt. Alle Kippschal-

*) Das Transitron ist im Buche von O. S. PUCKLE „Time Bases“ ausführlich beschrieben.

tungen, die sich auf einen normalen *R-C*-Verstärker mit positiver Rückkopplung zurückführen lassen, können unter der Bezeichnung „Multivibratorschaltungen“ zusammengefasst werden. Der Multivibrator als Kippgenerator geht auf ABRAHAM und BLOCH²²⁾ und als Schaltung mit zwei stabilen Zuständen auf ECCLES und JORDAN²³⁾ zurück (in der amerikanischen Literatur als „Eccles-Jordan trigger circuit“ bezeichnet), deren Anordnung im wesentlichen der in Fig. 4 dargestellten Untersetzertstufe entspricht. Durch Erweiterung dieses Prinzips ist es möglich, Kippschaltungen mit einer beliebigen Zahl stabiler Zustände zu entwerfen. Infolgedessen kann



Einfache Unterstufe vom Multivibratorotyp.

auch jede Untersetzung pro Stufe realisiert werden. Da wir gewohnt sind, im Dezimalsystem zu rechnen, ist eine Zehner-Unterteilung am bequemsten, wobei allerdings gegenüber dem Dualsystem eine grössere Zahl von Röhren erforderlich ist. Man kann aber auch intern von einer Zweier-Unterteilung auf eine Zehner-Unterteilung umrechnen, indem z. B. ein 16-fach Untersetzer jedesmal bei Erreichung der Zahl 10 durch eine Zusatröhre automatisch auf „Null“ gestellt wird¹²⁾,¹⁸⁾ oder indem durch geeignete Rückführungen, die überflüssige Zahl von Stellungen übersprungen wird.

III. Dimensionierung einer Unterstellerstufe nach Fig. 4.

Die in Fig. 4 gezeichnete Schaltung wurde von verschiedenen Autoren^{8), 10), 11)} fast gleichzeitig als Untersteller vorgeschlagen. Sie wird normalerweise unter Verwendung von Entkopplungsrohren oder Dioden benutzt. Bei richtiger Dimensionierung lässt sich aber ohne solche Zusatzelemente eine genügende Betriebssicherheit erreichen.

Zur Vereinfachung der Rechnung seien Röhren mit scharfem Einsatzpunkt des Anodenstromes und annähernd linearer Kennlinie vorausgesetzt. Bei der leitenden Röhre soll im Dauerzustand kein Gitterstrom fliessen und die andere Röhre soll vollständig gesperrt sein. Die Schaltung werde durch eine vorangehende gleich gebaute Stufe gesteuert, so dass am Eingang und am Ausgang gleiche Spannungssprünge auftreten. Der am Eingang auftretende Spannungssprung gelangt auf das Gitter der Röhre 1 und wird unter der Annahme, dass diese Röhre gerade leitet, mit umgekehrtem Vorzeichen auf deren Anode übertragen. Dieser Spannungsstoss steuert zusammen mit demjenigen über die Kapazität C_2' das Gitter der Röhre 2. Bei richtiger Dimensionierung wird der erste Anteil überwiegen. Ein negativer Spannungssprung am Eingang wird somit die Röhre 1 sperren und die Röhre 2 einschalten. Ein positiver Spannungssprung erhöht nur den Anodenstrom der leitenden Röhre, mindestens solange, als bei dieser noch kein Gitterstrom fliessst. Die Unterstufe spricht somit nur auf negative Spannungssprünge an.

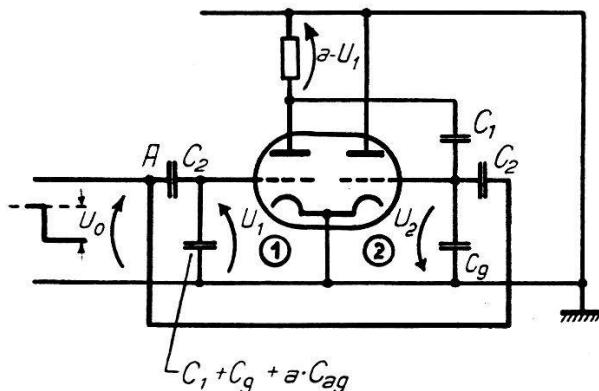


Fig. 5.

Ersatzbild. Röhre 1 leitend.

 C_{ag} : Gitter-Anodenkapazität.

Unter der Annahme, dass Röhre 1 leitet, wollen wir die infolge eines negativen Eingangssignals an den beiden Gittern auftretenden Spannungssprünge bestimmen. Bei sehr grossen Widerständen R_1 und R_2 und kleinen Anodenwiderständen R_a gilt dann näherungsweise das vereinfachte Ersatzbild Fig. 5.

Der negative Spannungssprung am Gitter 1 hat den Wert

$$U_1 = \frac{U_0 C_2}{C_1 + C_2 + C_g + a \cdot C_{ag}} \quad (1)$$

wobei a die Spannungsverstärkung des leitenden Rohres und C_g die Kapazität des Gitters gegenüber sämtlichen Elektroden be-

deutet. Solange die Röhre 2 sperrt, tritt an ihrem Gitter ein Spannungsstoss vom Betrage

$$U_2 = \frac{a \cdot U_0 C_2}{[C_1 + C_2 + C_g + a C_{ag}]} \cdot \frac{C_1}{[C_1 + C_2 + C_g]} - \frac{U_0 C_2}{C_1 + C_2 + C_g} \quad (2)$$

auf. Der Anodenstrom und damit Umkippen setze beim kritischen Werte \bar{U}_2 ein.

$$\bar{U}_2 = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_3 \quad (3)$$

$\frac{U_0 R_2}{R_1 + R_2}$ entspricht der Potentialdifferenz der Gitter der beiden Röhren im Ruhezustand; U_3 gibt an, um welchen Betrag die Gitterspannung des leitenden Rohres über den Einsatzpunkt des Anodenstromes liegt. Umkippen tritt ein, wenn

$$U_2 > \bar{U}_2 \quad (4)$$

wird. Unter Vernachlässigung von C_g und C_{ag} gegenüber $C_1 + C_2$ und mit der Abkürzung

$$b = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{U_3}{U_0} \quad (5)$$

muss somit folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\frac{C_2}{C_1 + C_2} \left[\frac{a C_1}{C_1 + C_2} - 1 \right] > b. \quad (6)$$

Dies führt zur Beziehung

$$\frac{(a-1) - \sqrt{(1-a)^2 - 4ab}}{2b} - 1 < \frac{C_1}{C_2} < \frac{(a-1) + \sqrt{(1-a)^2 - 4ab}}{2b} - 1. \quad (7)$$

Die zulässigen Werte für das Verhältnis $C_1:C_2$ sind daher stark eingeschränkt. Aus Fig. 5 ist auch direkt ersichtlich, dass sowohl bei zu kleinen wie zu grossen Kopplungskapazitäten C_2 die Röhre 2 durch den Spannungssprung U_0 nicht zum Leiten gebracht werden kann.

Im weiteren interessiert uns vor allem das Auflösungsvermögen der Untersetzerstufe. Dazu müssen wir drei Zeitabschnitte unterscheiden, nämlich die Zeit t_1 , die sich vom Beginn des Steuerimpulses am Eingang bis zum Einsetzen des Anodenstromes der gesperrten Röhre erstreckt, die Umkippzeit t_2 der Stufe und die Zeit t_3 , die verstreicht, bis der stationäre Zustand erreicht wird.

Zeit t_1 : An der Stelle A (Fig. 4) ist die Kapazität C_A

$$C_A = \frac{C_2 (C_1 + C_g + a C_{ag})}{C_1 + C_2 + C_g + a C_{ag}} + C_2 \left[1 + \frac{C_2}{C_1 + C_2 + C_g} \left(\frac{a C_1}{C_1 + C_2 + C_g + a C_{ag}} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

gegen Erde wirksam. Bei einem negativen Einheitsstoss am Eingang

sinkt somit das Potential des Punktes A entsprechend der Zeitkonstante RC_A und hat beim Einsetzen des Anodenstromes der gesperrten Röhre den Wert \bar{U}_A erreicht. \bar{U}_A lässt sich aus den Gleichungen (2) und (3) leicht bestimmen. Die Zeit t_1 berechnet sich somit zu

$$t_1 = RC_A \ln \left(\frac{U_0}{U_0 - \bar{U}_A} \right). \quad (9)$$

Mit den Werten für C_A und \bar{U}_A und unter Vernachlässigung von C_g und C_{ag} folgt daraus:

$$t_1 = \frac{RC_1 C_2}{C_1 + C_2} \left[2 + \frac{a C_2}{C_1 + C_2} \right] \ln \left[1 - \frac{b}{\frac{C_2}{C_1 + C_2} \left(\frac{a C_1}{C_1 + C_2} - 1 \right)} \right]^{-1}. \quad (10)$$

Die Umkippzeit t_2 : Sie ist von der Größenordnung $R_a [C_a + C_g + C_2 + aC_{ag}]$, wobei C_a die Ausgangskapazität (Schalt- und Röhrenkapazität) bedeutet. Damit die Kapazität C_A (Formel 8) der nächsten Stufe den Ausgang nicht unnötig belastet, soll der Serie widerstand R genügend gross sein.

Zeit t_3 : Während der Zeit $t_1 + t_2$ haben sich die Gitterspannungen der beiden Röhren um den Betrag U_0 geändert. Dem stationären Wert entspricht jedoch wegen des OHM'schen Spannungsteilers R_1 , R_2 lediglich eine Spannungsänderung vom Betrage $\frac{U_0 R_2}{R_1 + R_2}$, die in der Zeit t_3 praktisch erreicht wird. Mit unseren am Anfang getroffenen Voraussetzungen wird die Zeit $t_1 + t_2$ klein gegenüber der Zeit t_3 .

Die Abweichung ΔU_g der Gitterspannung vom stationären Wert berechnet sich somit zum

$$\Delta U_g = \frac{U_0 R_1}{R_1 + R_2} e^{-\frac{t}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} (C_1 + C_2 + C_g)}}. \quad (11)$$

Der dem negativen folgende positive Eingangsstoß erniedrigt über die Röhre 2 die Spannung des Gitters 1 von neuem. Wenn beim Eintreffen des nächsten negativen Eingangsstoßes die Spannung des Gitters 1 noch nicht ihren stationären Wert erreicht hat, ist die Bedingungsgleichung (4) für das Umkippen abzuändern. Um die gesperrte Röhre zum Leiten zu bringen, ist entsprechend der Abweichung der Gitterspannung vom stationären Wert ein grösserer Spannungsstoß erforderlich. Durch Dioden kann die Störung durch den positiven Spannungssprung beseitigt und somit das Auflösungsvermögen etwas erhöht werden. Um ein gutes Auflösungsvermögen zu erreichen, soll der linke Teil der Ungleichung (6) mög-

lichst gross und nach Beziehung (11) die Zeitkonstante $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ ($C_1 + C_2 + C_g$) klein sein. Die erste Forderung wird jedoch durch eine weitere Bedingung eingeschränkt. Positive Spannungsstösse am Eingang erzeugen am Ausgang der leitenden Röhre ebenfalls negative Spannungsstösse. Diese müssen so klein sein, dass die nächste Unterstellerstufe nicht anspricht. Dies kann erreicht werden, indem das Verhältnis $\frac{C_2}{C_1}$ nicht zu gross gewählt wird. Man kann den positiven Spannungsstoss auch mit Hilfe des Gitterstromes abschwächen, oder bei Verwendung einer Pentode, dadurch, dass man ihren kleinen Innenwiderstand bei niedriger Anodenspannung ausnützt. Eine weitere Möglichkeit, das Ansprechen auf diese „falschen“ Spannungssprünge zu vermeiden, liegt darin, die Zeit $t_1 \approx RC_A$ der Zeitkonstante

$$\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} (C_1 + C_2 + C_g) \approx t_3$$

anzunähern. Unsere vereinfachenden Annahmen sind dann nicht mehr erfüllt, und die Berechnung wird umständlicher, so dass sich ein experimenteller Abgleich empfiehlt. Durch geeignete Kopplung mittels Dioden kann übrigens der Einfluss der positiven Spannungssprünge vermieden werden.

Damit die Unterstellerstufe über lange Zeit betriebssicher arbeitet, sind genügende Toleranzen bezüglich Änderungen der verwendeten Schaltelemente und der Speisespannung unbedingt erforderlich (b in Formel 5 darf nicht zu klein sein). Es empfiehlt sich, nach Zusammenbau die Zulässigkeit von Unsymmetrien in der Schaltung experimentell zu überprüfen. Dies kann auf einfache Weise durch Einführung einer Zusatzspannung in Serie zu einem Gitterableit-Widerstand erfolgen.

IV. Die Eingangsstufe.

Die erste Unterstellerstufe wird nicht von einer gleichartigen Stufe gesteuert. Es ist nach der bisherigen Diskussion leicht einzusehen, dass Form, Höhe und Dauer ihres Eingangsimpulses weitgehend vorgeschrieben sind. Um Spannungsimpulse beliebiger Form zählen zu können, ist es deshalb erforderlich, diese zuerst umzuformen. Das geschieht am zweckmässigsten mit der in Fig. 6 dargestellten Flip-Flop-Stufe.

In dieser Stufe werden Eingangsspannungen beliebiger Form in Rechteckimpulse definierter Höhe und Flankensteilheit umge-

wandelt, so dass die erste Unterstufe gleichartige Steuerimpulse erhält wie die nachfolgenden Stufen und demnach ebenso dimensioniert werden kann.

Die Eingangsstufe*) weicht insofern von den Unterstufen ab, als ein Rückkopplungsweg durch den gemeinsamen, unüber-

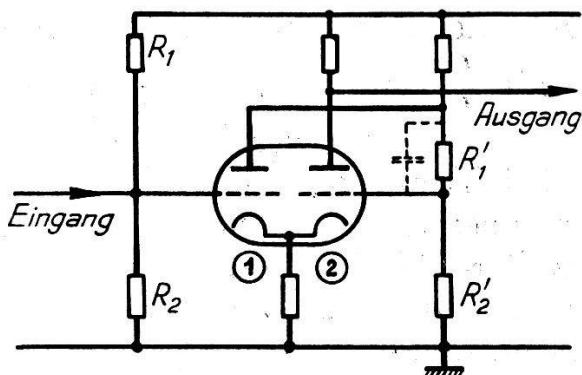


Fig. 6.
Eingangsstufe.

brückten Kathodenwiderstand ersetzt ist und keine Kapazitäten erforderlich sind. Ohne Eingangssignal leitet nur eine der beiden Röhren, und zwar je nach Wahl der Widerstände R_1 , R_2 , R'_1 , R'_2 die erste oder die zweite. Bei negativen Eingangssignalen muss Röhre 1 Strom führen.

Unterschreitet die Eingangsspannung (Fig. 7) den Schwellwert U_I , so kippt die Schaltung um und kippt zurück, wenn die Span-

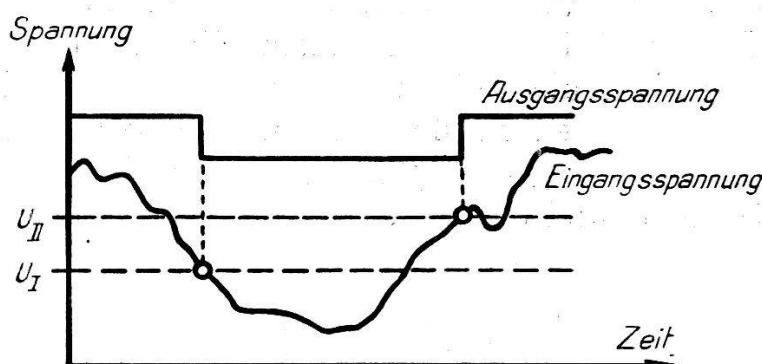


Fig. 7.
Wirkungsweise der Eingangsstufe.

nung den Wert U_{II} überschreitet. Um zu verhindern, dass dem Eingangssignal überlagerte Störspannungen gezählt werden, ist ein genügender Unterschied der beiden Schwellwerte U_I und U_{II} erforderlich.

*) Eine ausführliche Beschreibung solcher Schaltungen ist im Buch von O. S. PUCKLE, „Time Bases“, S. 57 enthalten.

V. Zählverluste.

Eine allgemeine Diskussion der Berechnung der Zählverluste ist in der Arbeit von Jost²⁴⁾ enthalten. Wir wollen hier nur einige Spezialfälle betrachten und auf verschiedene Umstände hinweisen, die prinzipiell zu beachten sind.

Zunächst sei angenommen, dass die Eingangsimpulse zeitlich statistisch verteilt sind und Zählverluste nur in der ersten Unterstellerstufe auftreten. Diese ist nach einem gezählten Ereignis während der Zeit T unempfindlich. Von den n im Mittel pro Sekunde eintreffenden Impulsen werden n' registriert, was einem relativen Zählverlust von

$$\frac{n-n'}{n} = n' T = \frac{n T}{1+n T} \quad (12)$$

entspricht. Dieser Fall tritt z. B. ein, wenn Impulse eines Multiplikers gezählt werden und das Auflösungsvermögen des verwendeten Verstärkers hinreichend gut ist. Es sei noch bemerkt, dass eine Unterstellerstufe wegen der immer vorhandenen kleinen Unsymmetrien in ihren beiden Stellungen nicht exakt dasselbe Auflösungsvermögen aufweist.

Wird ein Zählrohr verwendet, und ist das Auflösungsvermögen des Unterstellers besser als dasjenige des Zählrohrs, so verliert der Untersteller überhaupt keine Impulse. Dieser Fall ist wegen seiner Übersichtlichkeit anzustreben und auch möglich, da ein Auflösungsvermögen T von 10^{-6} Sekunden und bei besonderer Sorgfalt bis 10^{-7} Sekunden erreicht werden kann.

Wir wollen im weiteren noch den Fall diskutieren, dass nur im Zählwerk Verluste auftreten, was bei Verwendung weniger Unterstellerstufen mit gutem Auflösungsvermögen ohne weiteres möglich ist.

Am Ausgang des Unterstellers sind die Impulse regelmässiger, so dass das Zählwerk besser ausgenutzt werden kann. Das Zählwerk verliert alle Stösse, welche innerhalb der Zeit T aufeinanderfolgen. Dabei sind jedoch zwei Fälle zu unterscheiden.

- Die letzte Unterstellerstufe steuert direkt die Endröhre, welche das Zählwerk betreibt. Dann verdoppelt die letzte Unterstellerstufe lediglich das Auflösungsvermögen des Zählwerks. Dabei liegt die Voraussetzung zugrunde, dass das Zählwerk zum Anziehen und zum Abfallen dieselbe Zeit benötigt. Zählwerk und letzte Unterstellerstufe sind als Zähleinrichtung mit dem Auflösungsvermögen $T/2$ aufzufassen und nur die q vorangehenden Unterstellerstufen tragen zum Ausgleich der statistischen

Schwankungen bei. Nach $(q + 1)$ facher Untersetzung kommen im Mittel n/q Impulse auf den Eingang der letzten Untersetzerstufe. Es tritt ein prozentualer Zählverlust von

$$\frac{\frac{n}{q} - n_{q'}}{\frac{n}{q}} = 1 - e^{-\bar{z}} \sum_0^{q-1} \frac{\bar{z}^k}{k!} = \frac{\Gamma(q, \bar{z})}{\Gamma(q)} \quad (13)$$

ein. Dabei bedeuten $\frac{n_{q'}}{2}$ die vom Zählwerk im Mittel registrierten Impulse, \bar{z} die am Eingang des Untersetzers im Mittel während der halben Auflösungszeit des Zählwerkes eintreffenden Ereignisse und $\Gamma(q, \bar{z})$ die unvollständige Gammafunktion der mit oberen Grenze \bar{z}^*).

- b) Die letzte Untersetzerstufe steuert über eine Flip-Flop-Schaltung mit definierter Impulsdauer die Endröhre. Die Impulsdauer sei derart eingestellt, dass jeder Impuls der Flip-Flop-Stufe tatsächlich vom Zählwerk registriert wird. Die Flip-Flop-Schaltung ist nach jedem gezählten Ereignis für die Zeit τ unempfindlich.

Die Anordnungen a) und b) verlieren bei geringen Zählverlusten gleich viel Stösse. Bei grossen Zählverlusten ist die Anordnung b) überlegen. Allerdings sind wegen der Flip-Flop-Stufe zwei weitere Röhren erforderlich. Grosses Zählverluste sind jedoch unerwünscht und auch zu vermeiden, so dass also die am Ausgang des Untersetzers manchmal verwendete Flip-Flop-Stufe unnötig ist und besser durch eine weitere Untersetzerstufe ersetzt wird.

VI. Ein 128-fach Untersetzer mit gutem Auflösungsvermögen.

Das Schaltschema Fig. 8 zeigt einen 128-fach Untersetzer, der entsprechend den Vorschriften des Abschnittes III dimensioniert wurde und eine Eingangsstufe nach Abschnitt IV aufweist. Um eine grössere Unterteilung zu erhalten, können mehrere solcher Untersetzer in Serie geschaltet werden. Die 1. Stufe besitzt ein

*) Entsprechend der Poisson-Verteilung ist die Wahrscheinlichkeit $W_k(T)$, dass in der Zeit T , k Impulse auftreten, gegeben durch

$$W_k(T) = \frac{\bar{z}^k \cdot e^{-\bar{z}}}{k!}$$

wobei \bar{z} die mittlere Impulszahl in der Zeit T bedeutet. $\frac{n_{q'}}{n}$ kann als Wahrscheinlichkeit aufgefasst werden, dass in der Zeit T nicht mehr als $(q-1)$ Impulse stattfinden und daraus folgt unmittelbar

$$\frac{n_{q'}}{n} = e^{-\bar{z}} \sum_0^{q-1} \frac{\bar{z}^k}{k!}.$$

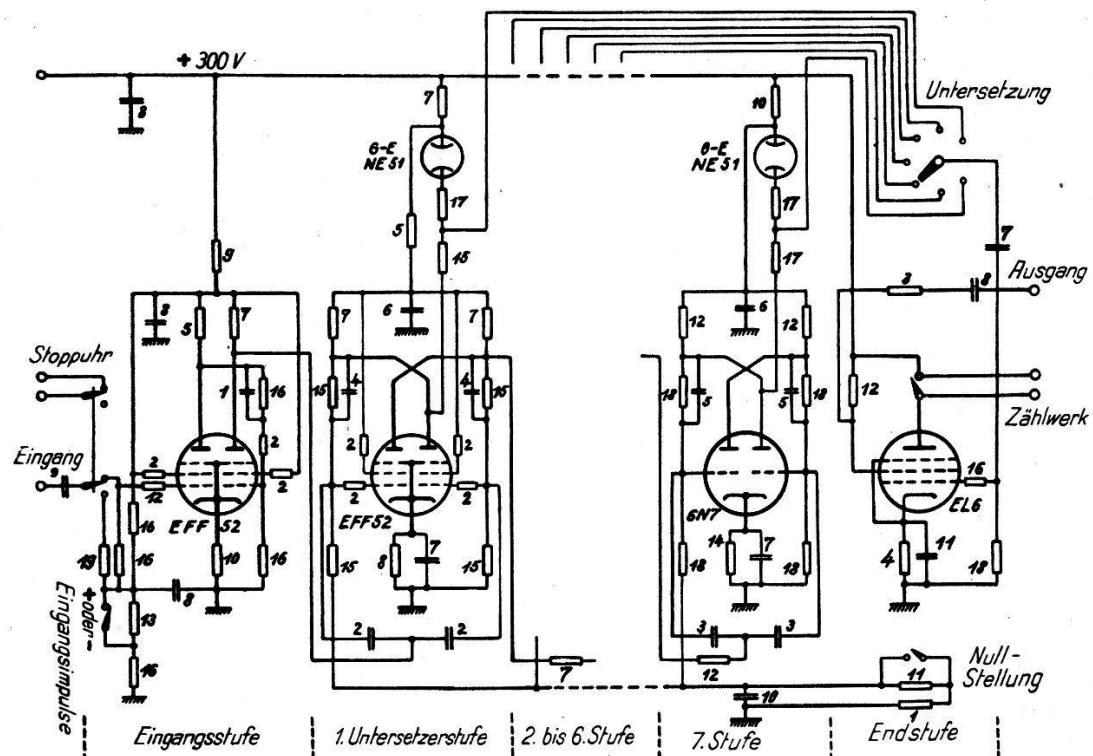


Fig. 8.
128-fach Untersteller.
Auflösungsvermögen 10^{-6} Sek.

Kondensatoren		Widerstände					
Pos. 1	10 pF	Pos. 1	10 Ω	Pos. 11	15 k Ω		
2	15 pF	2	50 Ω	12	20 k Ω		
3	25 pF	3	500 Ω	13	25 k Ω		
4	50 pF	4	1,1 k Ω	14	40 k Ω		
5	100 pF	5	2 k Ω	15	50 k Ω		
6	0,01 μ F	6	2,5 k Ω	16	100 k Ω		
7	0,05 μ F	7	5 k Ω	17	200 k Ω		
8	0,1 μ F	8	5,5 k Ω	18	500 k Ω		
9	0,25 μ F	9	7 k Ω	19	1 M Ω		
10	100 μ F	10	10 k Ω				
11	200 μ F						

Auflösungsvermögen von 10^{-6} Sekunden. Dieses gute Auflösungsvermögen war zur Untersuchung von Multipliern und zum Studium des Auflösungsvermögens von Zählrohren mit hoher Stosszahl notwendig.

Eine elektrische Stoppuhr und ein Hilfsrelais dienen dazu, eine am Untersetzer einzustellende Impulszahl abzuzählen, wodurch sich eine Interpolation erübrigt und nur noch die benötigte Zeit abgelesen werden muss.

Die Speisespannung braucht nicht stabilisiert zu sein. Ihre zulässigen Schwankungen sind lediglich durch die Interpolationsglimmlämpchen eingeschränkt. Es sei noch bemerkt, dass dieser Untersetzer bereits während eines Jahres in Betrieb ist. Eine solche Dauerprüfung liefert die beste Gewähr für genügende Toleranzen der Schaltung.

Herrn Prof. Dr. P. HUBER sind wir für zahlreiche anregende Diskussionen zu Dank verpflichtet. Der Kommission des Bundes zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung danken wir für finanzielle Hilfe.

Literatur.

Schaltungen mit Thyratrons.

- 1) C. E. WYNN-WILLIAMS, Proc. Roy. Soc. A **132**, 295 (1931) und A **136**, 312 (1932).
- 2) W. B. LEWIS, Proc. Camb. Phil. Soc. **30**, 543 (1934).
- 3) W. G. SHEPHERD and R. O. HAXBY, Rev. Sci. Inst. **7**, 425 (1936).
- 4) J. GIARRATANA, Rev. Sci. Inst. **8**, 390 (1937).

Schaltungen mit Hochvakuumröhren.

- 5) H. ALFÉN und P. OHLIN, Zs. f. Phys. **89**, 826 (1934).
- 6) W. B. LEWIS, Proc. Camb. Phil. Soc. **33**, 549 (1937).
- 7) E. C. STEVENSON and J. A. GETTING, Rev. Sci. Inst. **8**, 414 (1937).
- 8) H. LIFSHUTZ and J. L. LAWSON, Rev. Sci. Inst. **9**, 83 (1938).
- 9) H. J. REICH, Rev. Sci. Inst. **9**, 222 (1938).
- 10) H. ALFÉN, Proc. Phys. Soc. **50**, 358 (1938).
- 11) K. E. FORSMAN, Phys. Zeitschr. **39**, 410 (1938).
- 12) H. LIFSHUTZ, Phys. Rev. **57**, 243 (1940).
- 13) O. PICCIONI, Il Nuovo Cimento **1**, 56 (1943).
- 14) V. H. REGENER, Rev. Sci. Inst. **17**, 180 (1946).
- 15) V. H. REGENER, Rev. Sci. Inst. **17**, 185 (1946).
- 16) V. H. REGENER, Rev. Sci. Inst. **17**, 375 (1946).
- 17) E. BALDINGER, Helv. Phys. Acta **19**, 203 (1946).
- 18) H. BERTHELOT, J. Phys. Rad. **8**, 185 (1946).

Lehrbücher.

- 19) W. B. LEWIS, Electrical Counting, Cambridge 1942.
 - 20) H. RICHTER, Elektrische Kippschwingungen, Leipzig 1940.
 - 21) O. S. PUCKLE, Time Bases, London 1945.
- Weitere Literaturangaben.
- 22) H. ABRAHAM und E. BLOCH, Ann. de Phys. **12**, 237 (1919).
 - 23) W. H. ECCLES und F. W. JORDAN, Radio Rev. 1, Nr. 3, 1920.
 - 24) R. JOST, Helv. Phys. Acta **10**, 173, 1947.