

Aus FUNKSCHAU 22-23/1961 für <http://www.radiomuseum.org> (bearbeitet 01/2020 von E.Grund) mit freundlicher Genehmigung der FUNKSCHAU-Redaktion. Die aktuellen Ausgaben der FUNKSCHAU finden Sie unter <http://www.funkschau.de>

Funktechnische Arbeitsblätter

Der Multivibrator

Wirkungsweise, Kurvenform der Spannung, Frequenzberechnung

DK 621.396.615.17

Os 31

2. Ausgabe
3 Blätter

Der Multivibrator liefert stark oberwellenhaltige, eckige Spannungskurven. Die frequenzbestimmenden Glieder sind Kondensatoren und Widerstände. Die Frequenz ist ferner leicht durch die Betriebsspannungen der Röhren zu beeinflussen oder durch Einführung fremder Nf-Spannungen mit dieser zu synchronisieren. Die Synchronisation gelingt außerdem mit tieferen und vor allem höheren Frequenzen als die Multivibratorfrequenz, wobei die letzte Eigenschaft zur Frequenzteilung ausgenutzt wird. Die Multivibratorschaltung findet somit ausgedehnte Anwendung in der Funktechnik, vor allem in der Impulstechnik. Eine Vorausberechnung der Frequenz und des Impulsverhältnisses ist daher oft wünschenswert, wobei allerdings bedacht werden muß, daß die erhaltenen Werte niemals so genau sein können, wie bei der Berechnung eines I.C-Generators, da die Betriebsspannungen und Röhreneigenschaften weit stärker in die Frequenz eingehen, als beim Oszillator mit LC-Kreis.

A. Die Wirkungsweise

Zur Erläuterung der Wirkungsweise können zwei Wege eingeschlagen werden:

a) Man betrachtet den zeitlichen Verlauf der Spannungen an den einzelnen Schaltelementen und ermittelt aus den zugehörigen Zeitkonstanten die Frequenz.

b) Man betrachtet den Multivibrator als stark rückgekoppelten, zweistufigen Widerstandsverstärker.

Bild 1 zeigt einen zweistufigen RC-gekoppelten Verstärker, dessen Ausgangsspannung voll auf die Eingangsröhre zurückgeführt ist. Er soll symmetrisch aufgebaut sein, also $R_{gI} = R_{gII}$; $R_{aI} = R_{aII}$; $C_{gI} = C_{gII}$. Man kann die Schaltung von Bild 1 umzeichnen in Bild 2 und erhält dann die gewohnte symmetrische Darstellungsweise der Multivibratorschaltung.

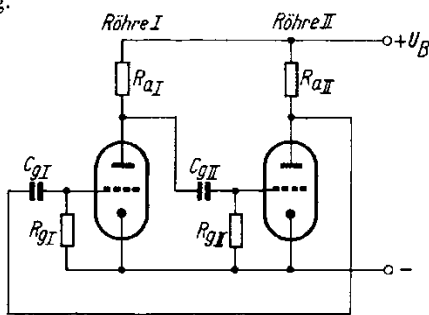


Bild 1. Zweistufiger Widerstandsverstärker mit Rückkopplung als Ausgangsschaltung für den Multivibrator

Die erste Röhre bewirkt eine Phasendrehung von 180° , die zweite um ebenfalls 180° ; die Rückkopplung ist also positiv und sehr fest. Infolge der festen Rückkopplung werden die Röhren so stark angesteuert, daß abwechselnd die eine oder die andere Röhre vollständig gesperrt ist. Diese Arbeitszustände sind stabil, und die Dauer dieser stabilen Arbeitszustände ist im wesentlichen abhängig von der Zeitkonstanten $R_g \cdot C_g$. Der Übergang zwischen diesen stabilen Arbeitszuständen geschieht sehr schnell in Form eines Kippporgangs (labiler Arbeitszustand). Die Dauer der labilen Arbeitszustände ist wesentlich kürzer und abhängig von den Parallelkapazitäten C_{aI} und C_{aII} (Bild 2) zu den Außenwiderständen R_{aI} und R_{aII} .

Die Wirkungsweise des Multivibrators läßt sich an Hand des Ersatzschaltbildes (Bild 3) erläutern:

Das plötzliche Umwechseln des Stromes von einer Röhre auf die andere wird dargestellt durch den Schalter S; R_i ist der Innenwiderstand einer Röhre im geöffneten Zustand ($u_g \sim 0$), wobei angenommen wird, daß zwei gleiche Röhren Verwendung finden. Bei Pentoden ist für R_i meistens der Wert R_{iL} einzusetzen (Bild 4). R_{gI} bzw. R_{gII} sind die Innenwiderstände der Gitter-Katoden-Strecken für den Fall positiver Gitterspannungen. Das Ventil vor diesen Widerständen soll andeuten, daß diese Widerstände nur wirksam werden, wenn das Gitter positiv wird. Die übrigen Bezeichnungen stimmen mit denen von Bild 2 überein. Der Schalter wird gewissermaßen durch die Spannung am Gitter der Röhren betätigt: Wird der Betrag der negativen Gitterspannung der Röhre I kleiner als deren Sperrspannung, so schließt der Schalterkontakt I (die Röhre I zieht Strom) und umgekehrt.

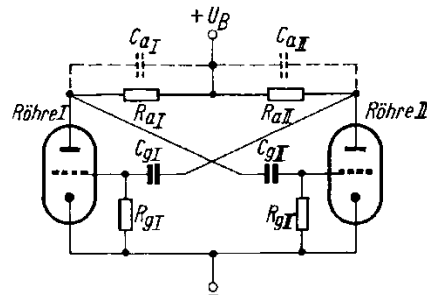


Bild 2. Symmetrische Darstellung der Schaltung Bild 1

Wenn der Schalterkontakt I schließt, so entlädt sich der Kondensator C_{gII} , wobei der Entladestrom an R_{gII} einen Spannungsabfall hervorruft, der das Gitter von Röhre II

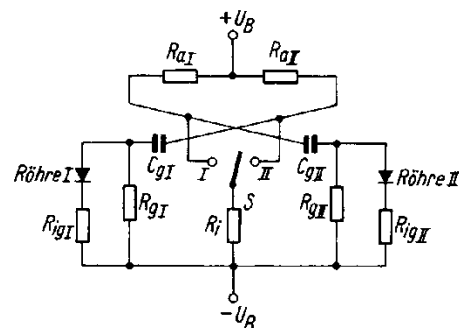
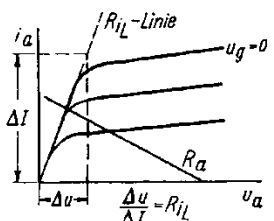


Bild 3. Ersatzschaltung für den Multivibrator

Bild 4. Die Bestimmung von R_{iL}



negativ hält und sie sperrt. Die Spannung an der Röhre II steigt damit auf U_B , und der Kondensator C_{gI} wird aufgeladen. Ist der Entladestrom von C_{gII} so weit gesunken, daß der Spannungsabfall an R_{gII} kleiner wird als die Sperrspannung der Röhre, so zieht die Röhre II Strom, der Schalter springt von I auf II. Jetzt lädt sich C_{gII} auf (durch den dadurch am Gitter von II entstehenden positiven Spannungsstoß wird die Öffnung der Röhre II beschleunigt), und C_{gI} entlädt sich, wobei der Entladestrom die Röhre I gesperrt hält, bis er so

klein geworden ist, daß sie wieder öffnet usw. Zur besseren Übersicht ist in Bild 5a das für die Ladung von C maßgebende Ersatzschaltbild gezeichnet. C wird aufgeladen über die Reihenschaltung von R_a mit R_g parallel R_{ig} , denn für den po-

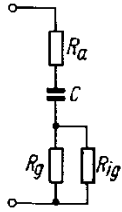


Bild 5a. Ersatzschaltung für die Aufladung des Kopplungskondensators

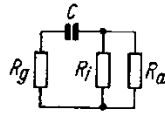


Bild 5b. Ersatzschaltung für die Entladung des Kopplungskondensators

sitiven Spannungsstoß ist das Ventil durchlässig (mit anderen Worten: das Gitter ist positiv, der Innenwiderstand der Strecke g-k schaltet sich parallel zum Gitterableitwiderstand). Bild 5b stellt das Ersatzschaltbild für den Fall der Entladung von C dar. Die Kapazität entlädt sich über die Reihenschaltung des Gitterwiderstandes R_g , mit der Parallelschaltung aus dem Arbeitswiderstand R_a und Röhreninnenwiderstand R_i . R_{ig} ist für die Entladeperiode nicht wirksam, da ihm der unendlich hohe Widerstand des gesperrten Ventils vorgeschaltet ist. Aus diesen Ersatzbildern läßt sich die Kurvenform der Spannung an den Röhrenelektroden leicht ableiten.

B. Grundsätzlicher Kurvenverlauf der Spannungen an den Röhrenelektroden

1. Abschnitt (stabiler Arbeitszustand)

Röhre I gesperrt, Röhre II offen (Schalterstellung: S auf II).

u_{aI} konstant und gleich der Betriebsspannung U_B (da kein Anodenstrom),

u_{aII} konstant und gleich der Betriebsspannung vermindert um $i_{aII} \cdot R_{aII}$

u_{gI} negativ und größer als Sperrspannung, Spannung sinkt nach e-Kurve entsprechend dem Entladestrom von C_{gI} , der durch R_{gI} fließt und an ihm einen entsprechenden Spannungsabfall bewirkt,

u_{gII} konstant und schwach negativ entsprechend $i_{gII} \cdot R_{gII}$

2. Abschnitt (labiler Arbeitszustand)

Strom wechselt von Röhre II auf Röhre I (Schalter S von II auf I).

Alle Spannungen ändern sich sprunghaft, da die negative Spannung u_{gI} so klein geworden ist im Zuge des Entladevorgangs von C_{gI} , daß die Röhre I öffnet. An deren Außen-

Abschnitt: ② ④
① ③

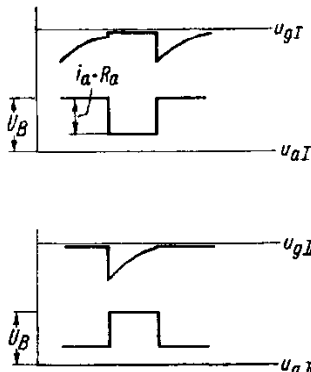


Bild 6. Grundständlicher Verlauf der Elektrodenspannungen an den Röhren

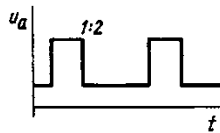


Bild 7. Impulsverhältnis 1:2

widerstand entsteht ein Spannungsabfall, der über den Kopplungskondensator C_{gII} auf das Gitter der Röhre II übertragen wird und, da dieser Spannungsimpuls negativ ist, die Sperrung der Röhre II einleitet. Das Absinken des Anodenstromes von Röhre II hingegen bewirkt an deren Anode einen positiven Spannungsimpuls, der über C_{gI} auf das Gitter der Röhre I übertragen wird und so deren Öffnung beschleunigt (Rückkopplung!). Durch die feste Verkopplung dieser Vorgänge geht der Kippvorgang außerordentlich schnell vonstatten.

3. Abschnitt (stabiler Arbeitszustand)

Röhre I offen, Röhre II gesperrt.

u_{aII} konstant und gleich der Betriebsspannung U_B

u_{aI} konstant und gleich Betriebsspannung U_B vermindert um $i_{aI} \cdot R_{aI}$

u_{gI} konstant und schwach negativ entsprechend $i_{gI} \cdot R_{gI}$

u_{gII} negativ und größer als Sperrspannung, Spannung sinkt nach e-Kurve entsprechend dem Entladestrom von C_{gII} , der durch R_{gII} fließt und an ihm einen entsprechenden Spannungsabfall erzeugt.

4. Abschnitt (labiler Arbeitszustand)

Strom wechselt von Röhre I auf Röhre II, wenn in Abschnitt 3 der Betrag der negativen Gitterspannung U_{gII} die Sperrspannung unterschreitet. Es findet der unter Abschnitt 2 beschriebene Vorgang statt, nur daß diesmal der Strom von Röhre I auf Röhre II „umgeschaltet“ wird. Ist dieser Kippvorgang abgelaufen, so tritt wieder der 1. Abschnitt ein, und die erste Periode ist abgelaufen.

C. Unsymmetrische Multivibratorschaltung

Bei symmetrischem Aufbau der Schaltung (gleiche Röhren und $R_{aI} = R_{aII}$, $C_{gI} = C_{gII}$, $R_{gI} = R_{gII}$) sind die Zeitabschnitte 1 und 3 (Öffnungs- und Sperrzeit) des Multivibrators gleich lang. Ebenso sind die Umkippszeiten gleich. Werden jedoch die Kombinationen $R_{gI} C_{gI}$ und $R_{gII} C_{gII}$ verschieden groß gewählt (maßgebend ist die Zeitkonstante $R \cdot C$), so ändert sich auch das Verhältnis der Öffnungszeiten der beiden Röhren in etwa gleichem Maße (Kurvenform der Anodenspannung bei Impulsverhältnis 1:2 siehe Bild 7). Bild 8 gibt für eine Schaltung mit zwei Vorstufen-Pentoden die Abhängigkeit des Impulsverhältnisses von dem Verhältnis der Zeitkonstanten $\frac{R_{gI} \cdot C_{gI}}{R_{gII} \cdot C_{gII}}$ an, wobei die eine Zeitkonstante durch Verändern des Kopplungskondensators geändert wurde. Die Kurve hat auch für andere ähnliche Röhrentypen annähernd Gültigkeit.

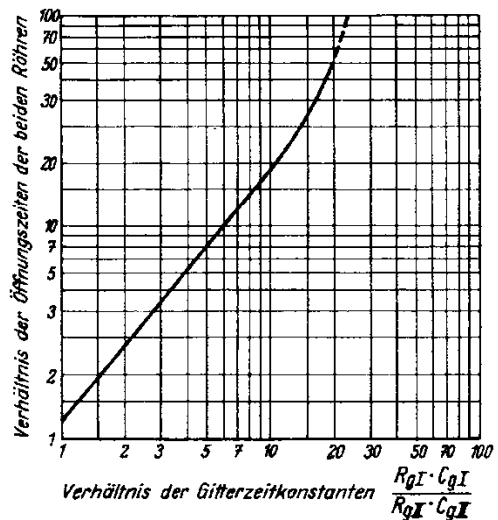


Bild 8. Abhängigkeit des Impulsverhältnisses vom Verhältnis der beiden Gitterzeitkonstanten bei einem unsymmetrischen Multivibrator mit zwei Pentoden

D. Abweichungen der Spannungsimpulse von der idealen (Rechteck-) Form

Bei der Anwendung der Multivibratorschaltung kommt es häufig darauf an, daß die Spannungskurve an den Anoden möglichst rechteckförmig ist. Werden keine besonderen Vorkehrungen getroffen, so tritt meist nicht die in Bild 6 gezeigte ideale Kurvenform auf. Die Anodenspannungsimpulse enthalten vielmehr negative Spitzen, und die positiven Ecken sind abgerundet. Auch dreieckige Impulse sind möglich. Die Gitterspannungsimpulse enthalten positive und negative Spitzen (Bild 9).

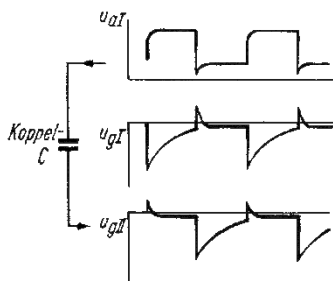


Bild 9. Abweichungen von der idealen Rechteck-Impulsform bei Anoden- und Gitterspannungen

1. Ursache für die positive Gitterspannungsspitze

Wird in der Ersatzschaltung (Bild 3) S von II auf I geschaltet (Röhre II sperrt, Röhre I öffnet), so entsteht an C_{gI} ein plötzlicher positiver Spannungssprung (Bild 6 unten, u_{aII} steigt auf U_B , da Röhre II gesperrt wird). Da C_{gI} vorher entladen wurde, fließt im Umschaltmoment ein starker Ladestrom durch $C_{gI} - R_{gI}$, und an R_{gI} tritt eine hohe positive Gitterspannungsspitze auf (Bild 9, u_{gI}), welche die Öffnung der Röhre I beschleunigt; hierin liegt die

2. Ursache der negativen Spitze im Anodenspannungsimpuls

Die hohe positive Gitterspannung läßt den Anodenstrom von Röhre I stark ansteigen, dabei sinkt die Anodenspannung stärker ab als für $u_{gI} \sim 0$, es entsteht die negative Spitze in der Anodenspannung (Bild 9 oben, u_{aI}). Hierin ist wiederum die

3. Ursache der negativen Gitterspannungsspitze

zu suchen, denn der negative Anodenspannungsimpuls wird über den Kopplungskondensator C_{gII} auf das Gitter der Röhre II übertragen und verursacht hier den negativen Impuls (Bild 9 unten, u_{gII} die Spitze, die später in die e-Kurve übergeht). Es bleibt noch die

4. Ursache für die Abrundung der Anstiegsflanke des Anodenspannungsimpulses

zu klären. Wir gehen zurück auf die Erläuterung der positiven Spannungsspitze in u_{gI} . Außer den bereits beschriebenen Folgen tritt hierdurch ein Gitterstrom in der Röhre I auf (Ersatzschaltbild 3: Ventil wird leitend). Die Strecke Gitter - Katode wird niederohmig, und die Kapazität C_{gI} schaltet sich praktisch parallel zur Röhre II (oder parallel zum Anodenwiderstand R_{aII} , was dasselbe ist).

Je kleiner also der Anodenwiderstand und je kleiner der Kopplungskondensator (Gitterwiderstand für gleiche Frequenz dann groß), um so besser wird die Impulsform dem Rechteck angenähert.

Für den Anstieg der Anodenspannung ist also im ersten, steileren Teil (Bild 9 oben) die Aufladezeitkonstante $\tau_A = R_a \cdot C_a$ (Bild 2) maßgebend, im zweiten, abgerundeten Teil (Bild 9) die Zeitkonstante $R_a \cdot C_g$. Die Grenze zwischen diesen beiden Bereichen liegt dort, wo der Gitterspannungsimpuls der gegenüberliegenden Röhre durch Null geht. Im negativen Teil des Gitterimpulses erfolgt der Anstieg der Anodenspannung steil, im positiven Teil weniger steil.

E. Dreieckige Anodenspannungsimpulse

treten dann auf, wenn die soeben besprochene Aufladezeitkonstante groß wird, so daß die Aufladung sich über einen großen Teil der Sperrzeit einer Röhre erstreckt. Die sich dann ergebenden Kurvenformen für Gitterspannungen und Anodenspannungen zeigt Bild 10. Das Verhältnis der Gesamtperiodendauer T zur Aufladezeitkonstante τ_A ist maßgebend für das Aussehen des Anodenspannungsimpulses. Den Faktor $\frac{T}{2\tau_A}$ kann man als Impulsform-Faktor bezeichnen. Ist

$\frac{T}{2\tau_A} < 2$, so treten dreieckige Anodenspannungsimpulse auf,

ist $\frac{T}{2\tau_A} > 20$, dann sind die Impulse mit genügender Genauigkeit rechteckförmig.

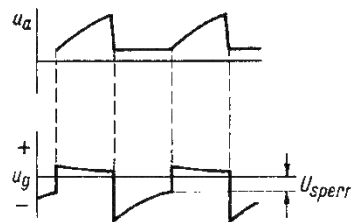


Bild 10. Dreieckige Anodenspannungsimpulse treten auf, wenn

$$\frac{T}{2\tau_A} < 2$$

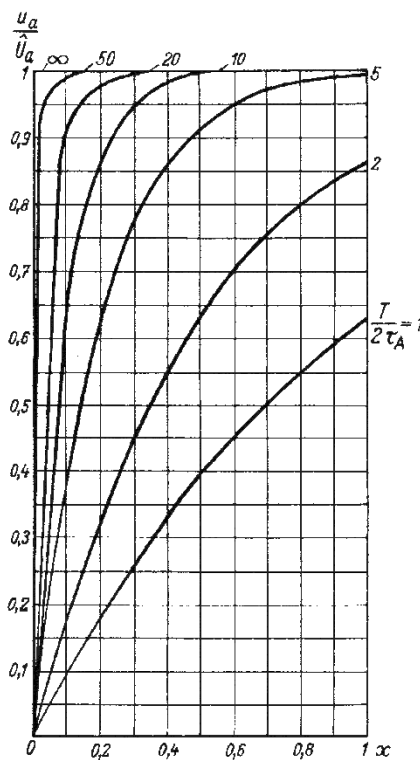


Bild 11. Impulsformen der Anodenspannung für verschiedene Werte von $\frac{T}{2\tau_A}$

Die Impulsform läßt sich errechnen nach der Formel

$$\frac{u_a}{\hat{U}_a} = 1 - e^{-x \frac{T}{2\tau_A}}$$

x siehe Bild 11
 \hat{U}_a = Spitzenspannung für rechteckige Impulsform

In Bild 11 sind die zu erwartenden Impulsformen für $\frac{T}{2\tau_A} = 1, 2, 5, 10, 20, 50$ zusammengestellt.

Tabelle 1 gibt Werte für einzelne Punkte dieser Impulskurven.

Tabelle 1

x \ $\frac{T}{2\tau_A}$	1	2	5	10	20	50
0	0	0	0	0	0	0
0,1		0,18	0,4	0,63	0,865	0,993
0,2	0,18	0,33	0,63	0,865	0,99	1
0,4	0,33	0,55	0,865	0,99	1	1
0,6	0,45	0,7	0,95	0,998	1	1
0,8	0,55	0,8	0,99	1	1	1
1	0,63	0,865	0,993	1	1	1

(Kurven und Formeln gelten unter der meist gegebenen Annahme, daß $R_{ig} < R_a$ und $R_{ig} < R_g$).

F. Weitere Verbesserung der Impulsform

Durch große Aussteuerung der Anodenbetriebsspannung läßt sich die negative Impulsspitze im Anodenspannungsimpuls vermeiden. Hierfür ist also wieder ein großer Außenwiderstand erforderlich. Bei Pentoden lassen sich Stromverteilungseffekte zur Impulsverbesserung heranziehen: Im Einschalt Augenblick (Öffnung) der Röhre entsteht eine Stromspitze, bei der die Anodenspannung u. U. bis zu dem Wert abfällt, bei dem das Schirmgitter den Strom übernimmt. Bei geeigneter Wahl des Verhältnisses $\frac{\text{Anodenspannung}}{\text{Schirmgitterspannung}}$ verschwindet die negative Impulsspitze (Bild 12).

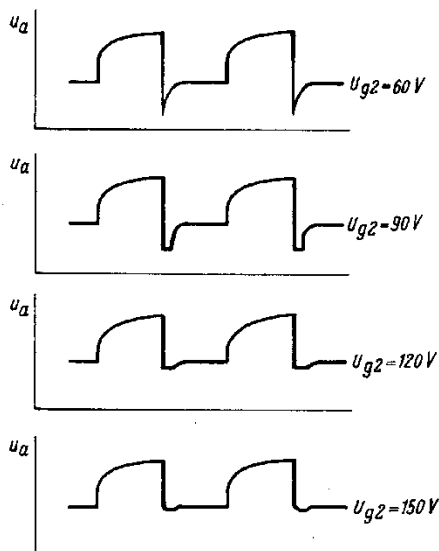


Bild 12. Bei geeigneter Wahl der Schirmgitterspannung läßt sich bei Pentoden die negative Spitze im Anodenspannungsimpuls vermeiden

Ein weit besseres Mittel zur Impulskorrektur ist die Einschaltung eines hochohmigen Widerstandes R_s (100...500 k Ω) vor die Gitter der Röhren (Bild 13). Hierdurch wird der Gitterstrom stark begrenzt, und damit entfällt die negative Impulsspitze fast völlig. Außerdem werden die Flanken versteilert, denn nun liegt bei positiver Gitterspannung C_g nicht direkt parallel zum Außenwiderstand R_a , sondern über den hohen Widerstand R_s . Bild 14 zeigt Impulse mit und ohne Vorwiderstand bei sonst gleicher Dimensionierung.

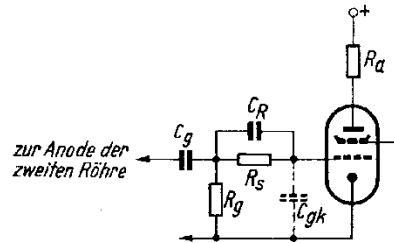


Bild 13. Schaltungsmaßnahmen zur Impulsverbesserung

Die Impulsdächer verlaufen nicht mehr so waagrecht wie ohne R_s , sondern infolge der sehr hohen Ladezeitkonstanten $(R_a + R_s) \cdot C_g$ etwas schräg. Man erkennt jedoch die starke Verbesserung der Impulsflanke sowie das Fehlen der negativen Spitze. Auffällig ist noch die Verrundung der Impulswippen, die von der durch C_{gk} und R_g gebildeten Zeitkonstanten herrührt (Frequenzgang des Verstärkers für die Höhen

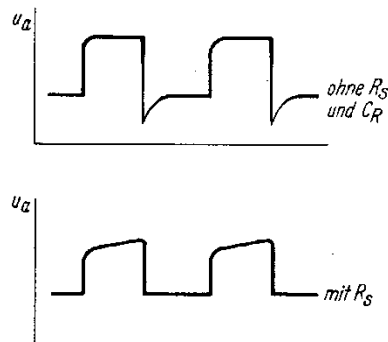


Bild 14. Impulsformen ohne und mit Gittervorwiderstand R_s



Bild 15. Impulsformverbesserung durch R_s und C_R

fällt ab!). Diesen Effekt kann man durch Parallelschalten einer kleinen Kapazität C_R (20...200 pF) zum Vorwiderstand R_s ausgleichen und erhält eine gegen Bild 14 oben wesentlich verbesserte Impulsform mit steilen Flanken und scharfen Ecken (Bild 15).

Es hängt nun vom Größenverhältnis R_g zu R_p ab, ob es überhaupt notwendig ist, R_p zu berücksichtigen. Dazu wird die Kontrollrechnung ausgeführt:

$$F = \frac{R_g}{R_g + R_p}$$

Ist $F > 0,9$, dann kann R_p unberücksichtigt bleiben. Der Fehler beträgt dann höchstens 10 %, für $F = 0,95$ beträgt er ~ 5 %. Für die Errechnung der Periodendauer liegen nunmehr alle Werte vor (C_g gewählt oder aus Schaltung).

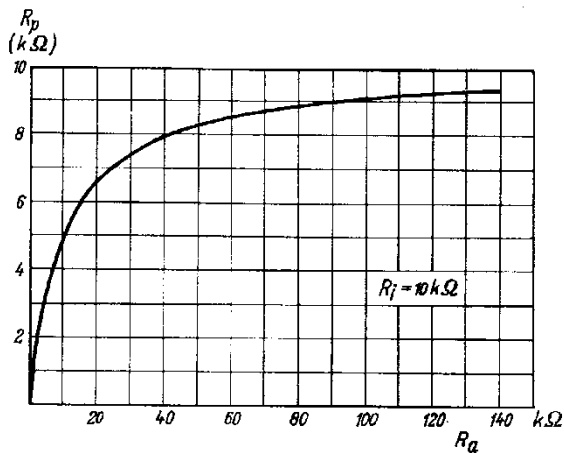


Bild 19. R_p in Abhängigkeit von R_a bei einem Wert von $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ (ein meist gültiger Mittelwert für Trioden)

In Bild 20 wird ein Nomogramm zur Erleichterung der Rechnung gebracht. Bleibt R_p unberücksichtigt, so ist, wie in der Benennung der Skala angegeben, $R_g \cdot C_g$ einzusetzen, andernfalls $(R_g + R_p) \cdot C_g$

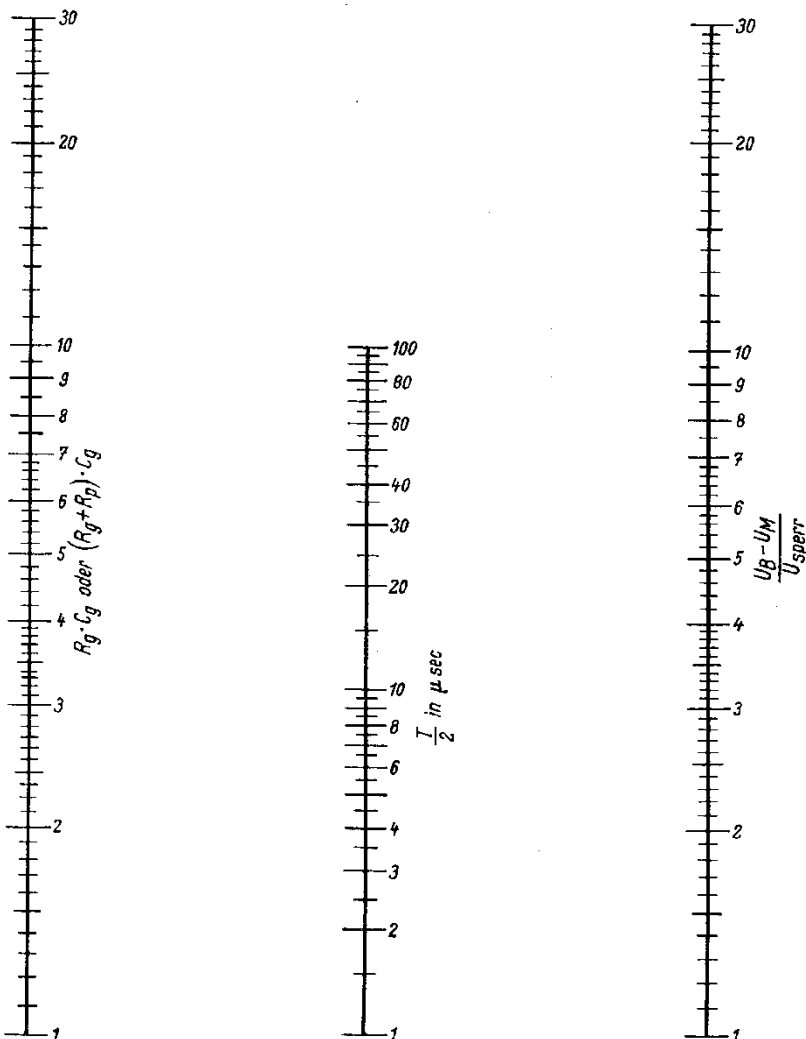


Bild 20. Nomogramm zur Errechnung der halben Periodendauer

Interessant ist ferner oft die Aufbauzeit t_A des Ausgangsspannungsimpulses. Das ist die Zeitspanne, in der die Ausgangsspannung von Null bis auf 98 % des Spitzenwertes angestiegen ist. Diese Aufbauzeit ist

$$t_A = 4 C_g \cdot (R_a + R_i)$$

(sec) (F) (Ω)

Für die Errechnung dieses Wertes wird zweckmäßig das Arbeitsblatt Ko 01 (1. Lieferung) herangezogen, wobei auf der R-Skala (links außen) der Wert $R_a + R_i$ und auf der C-Skala der Wert $4 C_g$ eingesetzt wird. t_A ist dann direkt auf der Skala „Zeitkonstante $T(\text{sec})$ “ abzulesen.

Wird in Reihe mit den Gitterableitwiderständen R_g eine positive Vorspannung eingeführt, so läßt sich mit der Höhe dieser Vorspannung die Frequenz verändern (Bild 21). Die Periodendauer bei Vorhandensein einer solchen Vorspannung U_V beträgt:

$$T = 2 C_g \left(R_g + \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a} \right) \ln \left(\frac{U_B - U_M + U_V}{U_{\text{sperr}} + U_V} \right)$$

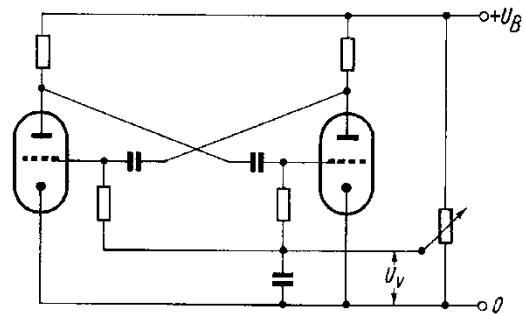


Bild 21. Multivibratorschaltung mit positiver Gittervorspannung U_V

Beim Entwurf eines Multivibrators für eine feste Frequenz ist es von Vorteil, diese Spannung U_V möglichst groß zu machen, um Änderungen der Frequenz durch Schwankungen von U_M und U_{sperr} klein zu halten. Der Wert von U_V wird sich also U_B nähern. Sind U_M und U_{sperr} vergleichsweise klein, so wird die Periodendauer sich dem Wert

$$T = 1,38 \cdot C_g \cdot \left(R_g + \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a} \right)$$

(symmetrische Schaltung)

$$T_1 = 0,69 \cdot C_{g1} \left(R_{g1} + \frac{R_{i2} \cdot R_{a2}}{R_{i2} + R_{a2}} \right)$$

$$T_2 = 0,69 \cdot C_{g2} \left(R_{g2} + \frac{R_{i1} \cdot R_{a1}}{R_{i1} + R_{a1}} \right)$$

$$T = T_1 + T_2$$

(unsymmetrische Schaltung)

nähern.

Schriftum

Time Bases (Scanning Generators). O. S. Puckle (Buch). Verlag Chapman u. Hall Ltd., London 1944.

Wireless Engineer, Mai 1949, Bd. 26, Nr. 308: R. Feinberg, Symmetrical Multivibrators.

Electronics, Juni 1948: Multivibrator Design by graphic Methodes.

Funktechnische Monatshefte (FTM) Heft 3/1942: Theile und Filipowsky, Der Multivibrator.

Terman, Radio Engineers Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York, London 1943.

Es hängt nun vom Größenverhältnis R_g zu R_p ab, ob es überhaupt notwendig ist, R_p zu berücksichtigen. Dazu wird die Kontrollrechnung ausgeführt:

$$F = \frac{R_g}{R_g + R_p}$$

Ist $F > 0,9$, dann kann R_p unberücksichtigt bleiben. Der Fehler beträgt dann höchstens 10 %, für $F = 0,95$ beträgt er ~ 5 %. Für die Errechnung der Periodendauer liegen nunmehr alle Werte vor (C_g gewählt oder aus Schaltung).

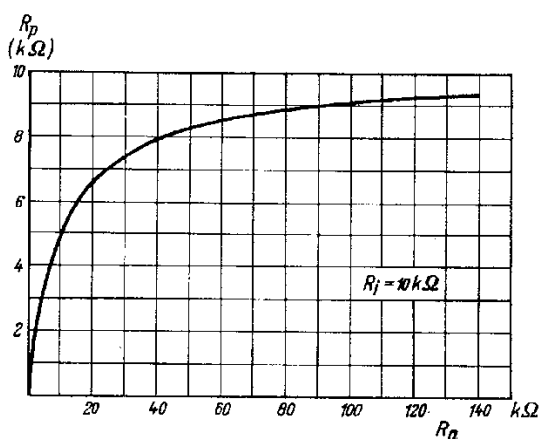


Bild 19. R_p in Abhängigkeit von R_a bei einem Wert von $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ (ein meist gültiger Mittelwert für Trioden)

In Bild 20 wird ein Nomogramm zur Erleichterung der Rechnung gebracht. Bleibt R_p unberücksichtigt, so ist, wie in der Benennung der Skala angegeben, $R_g \cdot C_g$ einzusetzen, andernfalls $(R_g + R_p) \cdot C_g$

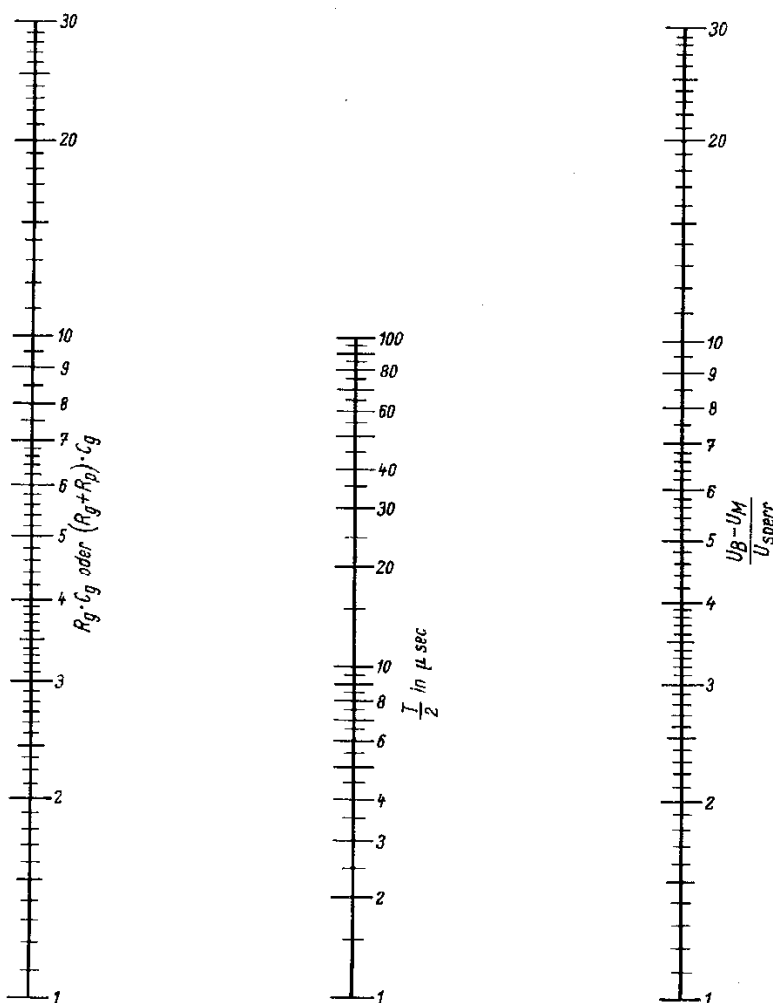


Bild 20. Nomogramm zur Errechnung der halben Periodendauer

Interessant ist ferner oft die Aufbauzeit t_A des Ausgangsspannungsimpulses. Das ist die Zeitspanne, in der die Ausgangsspannung von Null bis auf 98 % des Spitzenwertes angestiegen ist. Diese Aufbauzeit ist

$$t_A = 4 C_g \cdot (R_a + R_i)$$

(sec) (F) (Ω)

Für die Errechnung dieses Wertes wird zweckmäßig das Arbeitsblatt Ko 01 (1. Lieferung) herangezogen, wobei auf der R-Skala (links außen) der Wert $R_a + R_i$ und auf der C-Skala der Wert $4 C_g$ eingesetzt wird. t_A ist dann direkt auf der Skala „Zeitkonstante $T_{(sec)}$ “ abzulesen.

Wird in Reihe mit den Gitterableitwiderständen R_g eine positive Vorspannung eingeführt, so läßt sich mit der Höhe dieser Vorspannung die Frequenz verändern (Bild 21). Die Periodendauer bei Vorhandensein einer solchen Vorspannung U_V beträgt:

$$T = 2 C_g \left(R_g + \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a} \right) \ln \left(\frac{U_B - U_M + U_V}{U_{sperr} + U_V} \right)$$

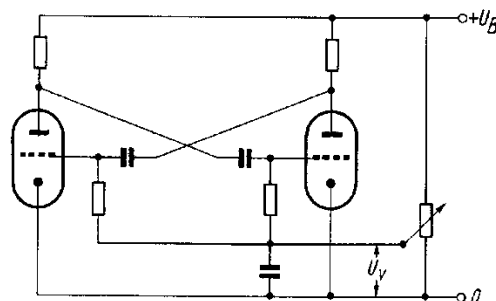


Bild 21. Multivibratorschaltung mit positiver Gittervorspannung U_V

Beim Entwurf eines Multivibrators für eine feste Frequenz ist es von Vorteil, diese Spannung U_V möglichst groß zu machen, um Änderungen der Frequenz durch Schwankungen von U_M und U_{sperr} klein zu halten. Der Wert von U_V wird sich also U_B nähern. Sind U_M und U_{sperr} vergleichsweise klein, so wird die Periodendauer sich dem Wert

$$T = 1,38 \cdot C_g \cdot \left(R_g + \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a} \right)$$

(symmetrische Schaltung)

$$T_1 = 0,69 \cdot C_{g1} \left(R_{g1} + \frac{R_{i2} \cdot R_{a2}}{R_{i2} + R_{a2}} \right)$$

$$T_2 = 0,69 \cdot C_{g2} \left(R_{g2} + \frac{R_{i1} \cdot R_{a1}}{R_{i1} + R_{a1}} \right)$$

$$T = T_1 + T_2$$

(unsymmetrische Schaltung)

nähern.

Schriftum

Time Bases (Scanning Generators). O. S. Puckle (Buch). Verlag Chapman u. Hall Ltd., London 1944.

Wireless Engineer, Mai 1949, Bd. 26, Nr. 308: R. Feinberg, Symmetrical Multivibrators.

Electronics, Juni 1948: Multivibrator Design by graphic Methodes.

Funktechnische Monatshefte (FTM) Heft 3/1942: Theile und Filipowsky, Der Multivibrator.

Terman, Radio Engineers Handbook, McGraw-Hill Book Company, New York, London 1943.