

Die Dekadische Zählröhre E1T

Die dekadische Zählröhre wurde ca. 1952 vorgestellt. Sie vereingt einen 10:1 Zähler mit einer Anzeige. Dies war eine große Vereinfachung gegenüber früheren Schaltungen. Die E1T ist eine spezielle Art einer Elektronenstrahlröhre. Die Funktionsweise dieser Spezialröhre wird hier beschrieben.

Im ersten Kapitel wird der Text und die Bilder aus zeitgenössischen Literaturstellen [1], [2], [3]¹ wiedergegeben. Im zweiten Kapitel folgen die Ergebnisse aus der Analyse einer zerlegten E1T.

1 Dekadische Zählröhre [1], [2]

Während die Anzeige des Zählerstandes bei den bisher beschriebenen elektronischen Zählgeräten durch besondere Glühlämpchen oder dergleichen erfolgen muß, erübrigt sich dies bei Verwendung einer neuen Zählröhre (Valvo E 1 T, Bild 11-7) die die Zählung einer ganzen Dekade mit gleichzeitiger optischer Anzeige gestattet.

Diese Zählröhre ist eine kleine Katodenstrahlröhre, bei der ein bandförmiger Elektronenstrahl zehn stabile Stellungen einnehmen kann. In diesen erzeugt er an zehn verschiedenen Stellen des als Leuchtschirm ausgebildeten Glaskolbens einen Leuchtstrich, der die auf einer Maske angebrachten Ziffern „0“ bis „9“ anzeigt. Für jeden an den Eingang der Röhre gegebenen Impuls rückt der Strahl um eine Ziffer höher, bis er schließlich beim Überschreiten der „9“ auf „0“ zurückspringt und dabei seinerseits einen Impuls an den Eingang der nächsthöheren Dekade gibt und sie damit um eine Einheit weiter stellt. Durch ihre kleinen Abmessungen (Kolbendurchmesser 35 mm, Länge 75 mm) ist die E 1 T besonders zum Aufbau aller Arten von Zählvorrichtungen und Elektronenrechengengeräten geeignet, in denen sie auch Speicherzwecken dienen kann. Die Schaltungen sind einfacher als die für das duale System und erfordern nur 25 ... 30% der bei diesen erforderlichen Doppeltrioden.

Bei Verwendung ja einer E 1 T und einer Doppeltriode E 90 CC in monostabiler Kippschaltung je Stufe können bis zu 30000 Impulse je *sec* verarbeitet werden, in Spezialschaltungen bis zu 100 000 Impulsen je *sec*.



Bild 1.1: Ansicht der E1T

Bild 1.2 zeigt einen Querschnitt durch die Röhre, Bild 1.3 die in den Schaltbildern verwendete symbolische Darstellung unter Weglassung aller nicht nach außen geführten Elektroden. Der Emissionsstrom der indirekt geheizten Rechteckkatode k wird durch das Steuergitter g_1 , zwei Fokussierungsstege und das Beschleunigungsgitter g_2 zu einem bandförmigen Elektronenstrahl geformt.

Im Innern der Röhre sind die Fokussierungsstege, zwei Bremsgitter g_3 und g_5 und ein Schirm s mit der Katode und eine Hilfsanode a_h mit g_2 verbunden. Der Leuchtschirm hat eine leitende Unterlage. Er ist mit der höchsten positiven Spannung verbunden, damit sich auf ihm keine störenden Ladungen ansammeln können.



Bild 1.2: Querschnitt durch das Elektrodensystem

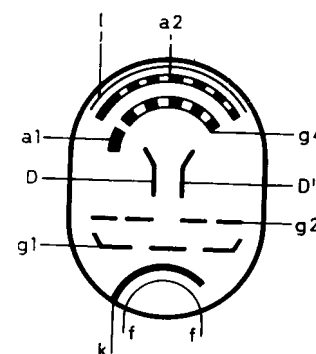


Bild 1.3: Schaltsymbol der E1T

¹Die Numerierung der Bilder wurde angepaßt.

Bild 1.4 zeigt die Schlitzelektrode g_4 in schematischer Darstellung; auf den horizontalen Schlitz an der linken Seite sei besonders hingewiesen. Angenommen, die Anodenspannung U_{a_2} (und zugleich die Spannung der rechten Ablenkplatte D') habe einen solchen Wert, daß der Strahl rechts von dem mit „0“ bezeichneten Schlitz auf g_4 trifft, so wird offenbar kein Anodenstrom nach der Anode a_2 fließen, weil der ganze Strahlstrom von g_4 aufgenommen wird. Verkleinert man nun die Spannung an a_2 und D' , so wird der Strahl nach links abgelenkt, und der Strahlstrom fließt in steigendem Maß durch den Schlitz „0“ zur Anode a_2 , bis bei weiter herabgesetzter Anodenspannung der Strahl mehr und mehr von dem Steg zwischen „0“ und „1“ aufgefangen wird und daher der Anodenstrom wieder zurückgeht. Zwischen Schlitz „4“ und „5“ wird dann zusätzlich der horizontale Querschlitz wirksam, so daß der Anodenstrom nicht mehr auf Null zurückgeht, sondern um einen höheren Mittelwert pendelt. Die sich tatsächlich ergebende Charakteristik ist in Bild 1.5 wiedergegeben, in der auch die Widerstandsgerade für $1M\Omega$ eingezeichnet ist, wie es der nunmehr angewandten Schaltung nach Bild 1.6 entspricht. Die Anode a_2 und die damit verbundene Ablenkplatte D' sind hier über einen Außenwiderstand von $1M\Omega$ an $+300V$ angeschlossen, g_4 wird über einen Vorwiderstand von $47k\Omega$ gespeist, und D liegt über einen Ableitwiderstand an $+155V$. Der Strahl ist in der Stellung „0“, die dem Schnittpunkt a (Bild 1.5) der Widerstandsgeraden mit der Röhrencharakteristik entspricht.

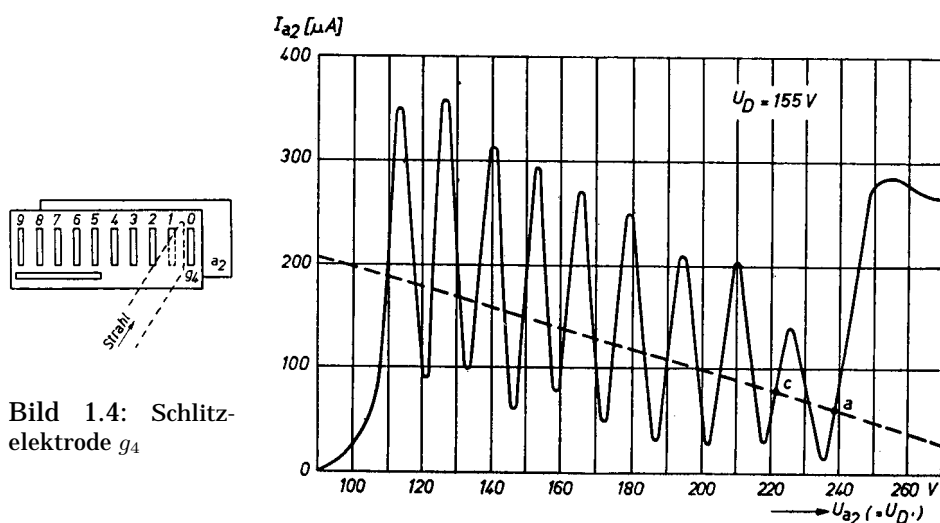


Bild 1.4: Schlitzelektrode g_4

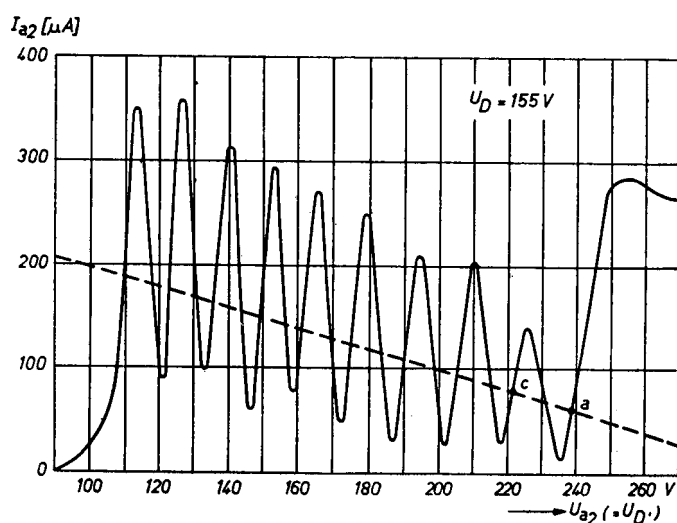


Bild 1.5: Kennlinie für Anode a_2 (Der Punkt a entspricht der „0“ in der Anzeige.)

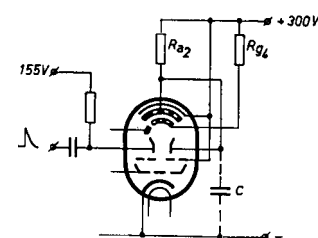


Bild 1.6: Prinzipielle Beschriftung der E1T; (D links D' rechts)

Erhöht man die Spannung an D langsam, so würde der Strahl nach links abgelenkt werden, wenn nicht gleichzeitig die Spannung an D' ansteigen und eine Gegenwirkung ausüben würde, weil der Strahl entsprechend der Auslenkung auf den Steg von g_4 aufläuft, so daß der Strahlstrom und damit der Spannungsabfall am Außenwiderstand kleiner werden.

Da die Neigung der Charakteristik in a sehr viel größer ist als die der Widerstandsgeraden, tritt nur eine sehr kleine Ablenkung nach links ein, die Stellung ist also stabil. Dasselbe gilt mit umgekehrtem Vorzeichen für langsame Herabsetzung der Spannung an D , da dann der Strahlquerschnitt, der auf a_2 gelangt, zunimmt. Wegen des großen Unterschiedes zwischen Anodenwiderstand und Innenwiderstand der Röhre sind die einzelnen Stellungen auch gegen langsame und nicht zu große Anodenspannungsschwankungen stabil.

Ganz anders aber verhält sich die Röhre, wenn an D ein positiver Impuls mit steiler Flanke über den Ankopplungskondensator gegeben wird. Der Strahl wird nun nach links abgelenkt, aber der Spannungsanstieg an D' kann nicht so schnell folgen, da sich der Kondensator C , der durch die Elektroden- und Schaltkapazität gebildet wird, über R_{a_2} aufladen muß. Ist der Impuls groß genug, um den Strahl in die Nähe der nächsten stabilen Stellung c zu bringen, so bleibt er dort und wird durch die Rückflanke des Impulses auch nicht wieder zurückgeworfen, sofern sie genügend flach ist.

Mit andern Worten: Die Front des Impulses muß steiler, die Rückflanke flacher sein als der durch die Zeitkonstante $\tau_2 = C \cdot R_2$ bedingte Anstieg der Spannung an C (Bild 1.7). Hieraus ergibt sich die Forderung nach einem möglichst kleinen C , um eine große Zählgeschwindigkeit zu erhalten, obwohl sie hauptsächlich von der Zeit für die Rückstellung von „9“ auf „0“ abhängt.

Wie man aus Bild 1.5 erkennt, ist der Anodenstrom für c und für jede folgende Stellung höher als für die

vorhergehende. Der Strahl steht also von Stellung zu Stellung relativ zur steuernden Schlitzkante jeweils etwas weiter rechts.

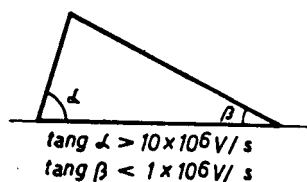


Bild 1.7: Vorgabe für die Form der Eingangsimpulse: Anstieg $\tan \alpha \geq 10 \text{ V}/\mu\text{s}$, Abfall $\tan \beta \leq 1 \text{ V}/\mu\text{s}$

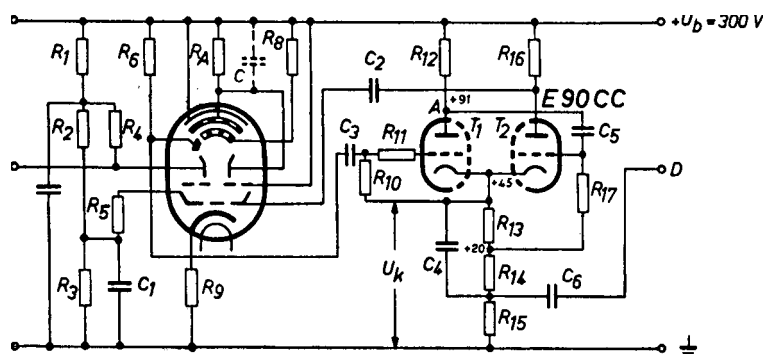


Bild 1.8: Schaltung der E1T mit Impulsformerstufe (E90CC) für den Strahlrücklauf und die Betätigung der nächsten Dekade

Nachdem neun Impulse auf D gegeben worden sind, ist also der Strahl am Schlitz „9“. Wird jetzt ein zehnter Impuls gegeben, so muß er zur Folge haben, daß erstens der Strahl von „9“ auf „0“ zurückkehrt und daß zweitens an die nächsthöhere Dekadenstufe ein Impuls gegeben wird, der diese Stufe um eine Stellung höher schaltet.

Dies geht so vor sich: Durch den 10. Impuls wird der Strahl auf die Rückstellanode a_1 abgelenkt. Der Strahlstrom fließt dann plötzlich über a_1 und R_6 (Bild 1.8) und erzeugt daher einen negativen Spannungstoß am Steuergitter der links gezeichneten Hälfte der Doppeltriode E 90 CC. Diese ist in monostabiler Kippschaltung (Kippschaltung mit nur einer stabilen Stellung) geschaltet. Der Kippvorgang erzeugt daher an der Anode der rechten Hälfte einen einzigen kräftigen negativen Impuls, nach dessen Beendigung die Doppeltriode wieder in den stabilen Ausgangszustand zurückkehrt. Dieser negative Impuls wird auf g_1 der Zählröhre der ersten Stufe gegeben, und dadurch wird der Strahl unterdrückt, worauf die Spannung an a_2 und D' mit der Zeitkonstante $C \cdot R_A$ auf den positiven Höchstwert U_b zu steigen beginnt, so daß der wieder einsetzende Strahl ganz nach rechts, also auf Stellung „0“ abgelenkt wird. Der Impuls muß also mindestens so lang sein, wie die Spannung an C zum Aufbau Zeit braucht, aber nicht wesentlich länger, weil dadurch die Zählgeschwindigkeit der Anordnung herabgesetzt würde.

Die E 90 CC erzeugt außerdem über den nicht abgeblockten Katodenwiderstand R_{15} einen positiven Impuls, der über C_6 an D der nächsthöheren Stufe gegeben wird und sie um eine Stellung weiterschaltet. Vor die erste Stufe muß ein Impulsformer geschaltet werden, der wieder aus einer E 90 CC in monostabiler Kippschaltung besteht, deren Schaltelemente einen sehr kurzen Ausgangsimpuls ergeben, so daß eine Zählgeschwindigkeit f_p von 30000 Impulsen je sec gesichert ist. Die Impulse können hier kurz sein, da ja kein vorangehendes Zählrohr rückzustellen ist. Zusätzlich muß vor das Gitter dieser Kippschaltung ein differenzierendes Glied geschaltet werden, um Eingangsimpulse längerer Dauer als die Kippzeit nicht nochmals wirken zu lassen. Außerdem können die Eingangsimpulse dann positiv oder negativ sein. Sie sollen etwa $20 \dots 50 \text{ V}$ betragen und möglichst rechteckig sein. Sinusförmige Eingangsspannungen werden zweckmäßigerweise durch Doppelbegrenzer in Rechteckspannungen verwandelt.

Bild 1.9 zeigt das vollständige Schaltschema einer zweistufigen Anlage einschließlich der Eingangsschaltung und eines Spannungsteilers ($68k\Omega + 68k\Omega + 5,6k\Omega$) der die Spannungen $+11,7 \text{ V}$ und 155 V an g_1 bzw. D für maximal 7 Stufen abgeben kann. Die durch gestrichelte Linien getrennten Schaltungsteile stellen auswechselbare Einheiten dar, die in den aus Eingangsschaltung und Speiseteil bestehenden Aufbau eingesteckt werden können. Sie sind alle gleich ausgebildet mit Ausnahme der ersten Stufe, die parallel zum Ableitwiderstand von g_1 eine Germaniumdiode hat, die verhindert, daß das Potential von g_1 bei hoher Zählgeschwindigkeit ansteigt. Die folgenden Stufen brauchen diese Diode nicht, da ja die Zählgeschwindigkeit bereits um eine Größenordnung kleiner ist.

Die Punkte p sind Meßpunkte für die Strahlströme. Die Spannung von -60 V kann durch kurze Betätigung des Umschalters S an Stelle von $+11,7 \text{ V}$ an g_1 aller Stufen gelegt werden, wodurch sie auf „0“ gestellt werden.

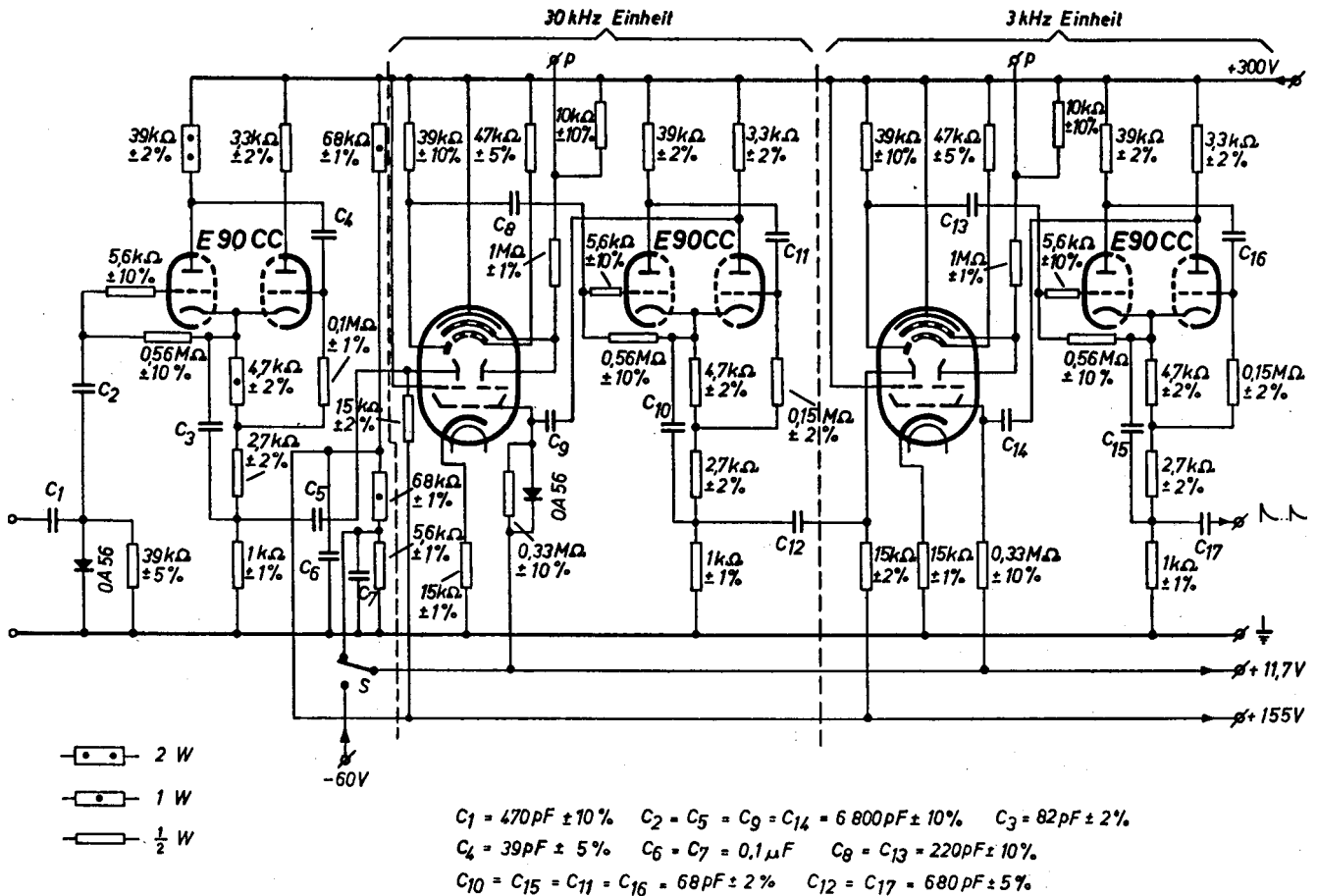


Bild 1.9: Vollständiges Schaltbild eines Zählgerätes mit zwei Dekaden mit der E 1 T

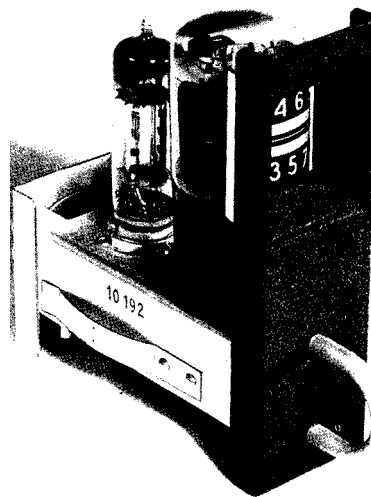


Bild 1.10: Steckeinheit mit der E 1 T und der E 90 CC

2 Analyse der E 1 T

Die Beschreibung in Kapitel 1 aus [1], [2] ist nicht so klar verständlich, daß daraus auch die physikalische Funktion dieser speziellen Elektronenstrahlröhre hervorgeht. Da ein defektes Exemplar vorhanden war, bot es sich deshalb an, dieses zu zerlegen, um zu ergründen, wie der Elektronenstrahl weitergeschaltet wird.

Die Elektrodenanordnung mit der Sockelschaltung und eine perspektivische Anordnung einschließlich

- Hierdurch wird auch verständlich, weshalb der Zählimpuls (näherungsweise) eine Dreieckform, Bild 1.7, haben muß. Ideal wäre auch hier eine ablingende e-Funktion in der gleichen Art wie Entladekurve an C_s .
- Wurde der Strahl bis „9“ ausgelenkt, so muß er wieder auf „0“ zurückspringen. Zunächst wird er mit dem nächsten Zählimpuls auf die Hilfsanode a_1 abgelenkt. Dadurch entsteht zum einen an a_1 ein Spannungsfall, der als Zählimpuls für die nachfolgende E 1 T benutzt wird (Übertrag). Weil nun auf a_2 keine Elektronen auftreffen, steigt zum andern das Potential an a_2 und damit an D' so weit an, daß der Strahl wieder auf „0“ abgelenkt wird.

Das Schlitzgitter g_4 und die Elektroden der zerlegten E 1 T zeigen die Bilder 2.3 und 2.4.

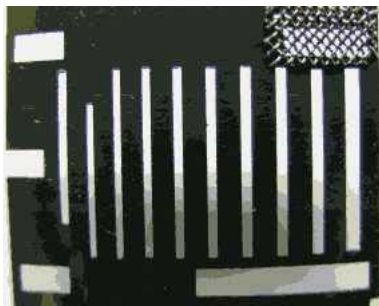


Bild 2.3: Das Schlitzgitter g_4 der E 1 T („0“ links, „9“ rechts)

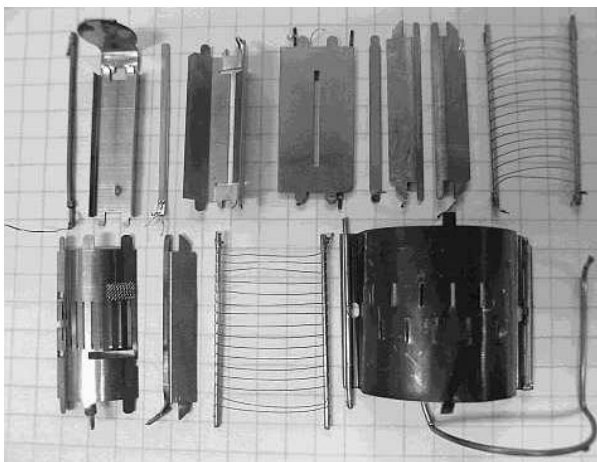


Bild 2.4: Die Elektroden der E 1 T

Da die Schlitze von g_4 unterschiedliche Breite haben, ist der Strom I_{g_4} für „0“ maximal um dann nach „9“ hin abzunehmen. Entsprechend ist die Spannung U_{g_4} bei „0“ minimal um nach „9“ hin anzusteigen. Wenn der Strahl auf a_1 auftrifft, entsteht ein maximaler Spannungsimpuls an g_4 , Bild 2.5. [3]

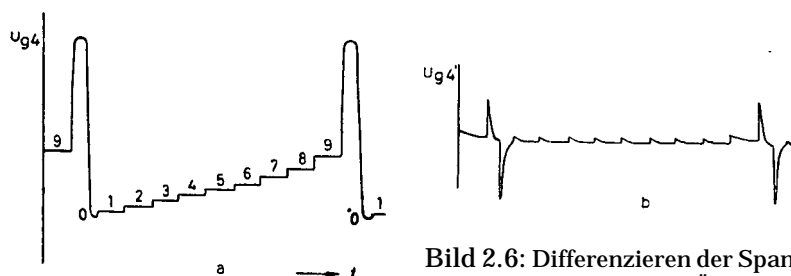


Bild 2.5: Die Spannung an g_4 der E 1 T („0“ links, „9“ rechts)

Bild 2.6: Differenzieren der Spannung U_{g_4} liefert einen Übertrag-Impuls

Zur physikalischen Erklärung der Funktionsweise der E 1 T ist also keine Doppeltriode E 90 CC notwendig. In einer praktischen Schaltung bewirkt diese allerdings, daß die obere Frequenzgrenze des Zählers höher wird. Mit zusätzlichen Röhren (E 92 CC und EAA 91) kommt man so auf maximal 100 KHz. [3] Begnügt man sich dagegen mit 2 KHz, ist nur 1/2 EAA 91 erforderlich. [3]

Literatur

- [1] Kretzmann, R.: *Handbuch der Industriellen Elektronik*, Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin, 1954
- [2] Kretzmann, R.: *Handbuch der Elektronik*, Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin, 1968
- [3] Kretzmann, R.: *Schaltungsbuch der Industriellen Elektronik*, Radio-Foto-Kinotechnik, Berlin, 1955