

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen

Wer nach den Bauanleitungen unserer Zeitschrift baut, kommt nicht immer ohne eine Mindestausstattung an elektrischen Meßgeräten aus, sei es ein Vielfachmeßinstrument, ein Röhrevoltmeter und anderes mehr. Je hochwertiger das nachgebaute Gerät sein soll, desto wichtiger ist es, seine geforderten Eigenschaften genau einstellen zu können.

Ein sehr vielseitiges und heute ganz unentbehrliches Hilfsmittel ist hierzu ein Katodenstrahl-Oszillograf. Sicher gibt es schon eine ganze Reihe kompletter amerikanischer Bausätze, die, bei nicht zu hohen Ansprüchen, nicht einmal so teuer sind. Trotzdem macht der Eigenentwurf und Selbstbau eines solchen Gerätes viel Freude, und bei genügender Sorgfalt braucht das Eigenerzeugnis einem gekauften „Kit“ nicht nachzustehen.

Ein Katodenstrahl-Oszillograf ist so vielseitig, daß eine Aufzählung aller Meßmöglichkeiten hier nicht möglich ist. Auch soll im Anschluß an diese Anleitung eine Auswahl der durchzuführenden Arbeiten beschrieben werden. Dieser Aufsatz soll jedoch keine Bauanleitung für den narrensicheren Nachbau sein – ähnlich der Bauanleitung eines fertig bezogenen Bausatzes –, sondern es sollen so viel grundlegende Kenntnisse vermittelt werden, daß eine selbständige Planung möglich ist. Trotzdem wird für den, der sich die eigene Arbeit ersparen will, auch hier eine fertige Bauanleitung gegeben, so daß man einfach nachbauen kann.

Wer aber selbständig Entwurf und Planung an Hand dieser Ausführung durchführt, wird sich eine Menge Kenntnisse über die theoretischen Zusammenhänge erwerben, die es ihm ermöglichen, auftretende Fehler aufzufinden und zu beseitigen. Auch wird er es viel besser verstehen, die entstehenden Schirmbilder auf Grund der Wirkungsweise des Gerätes zu deuten. Nebenbei ergibt die Eigenkonstruktion auch eine Verbilligung, da man billige und schon vorhandene Teile verwenden kann.

Auf eines sei aber mit Entschiedenheit hingewiesen: Keine Sparsamkeit am falschen Platz! Das gilt besonders für alte Einzelteile. Speziell Kondensatoren sollten einwandfrei sein; ein defekter oder nicht ganz einwandfreier Kondensator kann kostspieligeren Schaden hervorrufen, als die ganze Ersparnis wert ist. Oberstes Gebot bei der Verwendung vorhandener Teile: Prüfe erst, ob sie einwandfrei sind und ob die angegebenen Belastungen beim Einbau nicht überschritten werden.

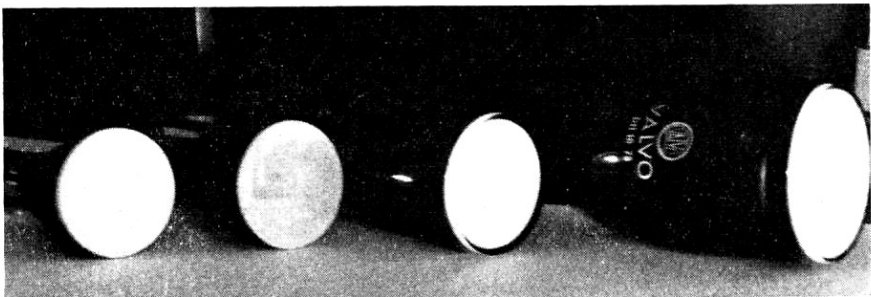


Bild 1 a

Verschiedene Katodenstrahlröhren, die in Oszillografen verwendet werden

Wer diese Anleitung aufmerksam studiert und die angegebenen Berechnungsbeispiele noch einmal für sich alleine durchrechnet, wird in der Lage sein, mit den billigen Angeboten in Röhren und anderen Einzelteilen auszukommen, wie sie in Fachzeitschriften und Firmenprospekten angeboten werden. Wer solche Angebote ausnutzt, kann sein Gerät sehr billig erstellen. Allerdings müssen die anderen Schaltmittel dementsprechend dimensioniert werden. Das soll das Ziel dieser Anleitung sein. Nun wollen wir beginnen, uns die notwendigen Kenntnisse zu erwerben.

A. Grundlagen

Das Herz eines Katodenstrahl-Oszillografen ist die **Katodenstrahl-Röhre**, nach ihrem Erfinder auch Braunsche Röhre genannt. Alle anderen Bausteine des Oszillografen dienen nur dazu, die zum Betrieb und zur Anzeige notwendigen Spannungen und Ströme zu erzeugen oder zu verstärken. Wir wollen uns daher zuerst mit dem Aufbau und der Funktionsweise der Katodenstrahl-Röhre vertraut machen.

In einem kolbenartigen luftleeren Glasgefäß befindet sich auf der einen Seite das Strahlsystem zur Erzeugung, Bündelung und Ablenkung des Elektronenstrahls. Auf der anderen Seite ist der Leuchtschirm, der durch den Aufprall des Elektronenstrahls zum Leuchten angeregt wird (**Bild 1**). Schematisch ist das Strahlsystem folgendermaßen aufgebaut (**Bild 2**):

Das **Strahlsystem** sendet Elektronen aus einer Katode aus, genau wie bei einer Verstärkerröhre. Darüber ist eine Lochblende,

die die Stärke des Elektronenstroms mit Hilfe einer veränderlichen negativen Spannung verändert. So kann der Leuchtschirm



Bild 1 b

Eine viel verwendete Typo ist die DG 7-32

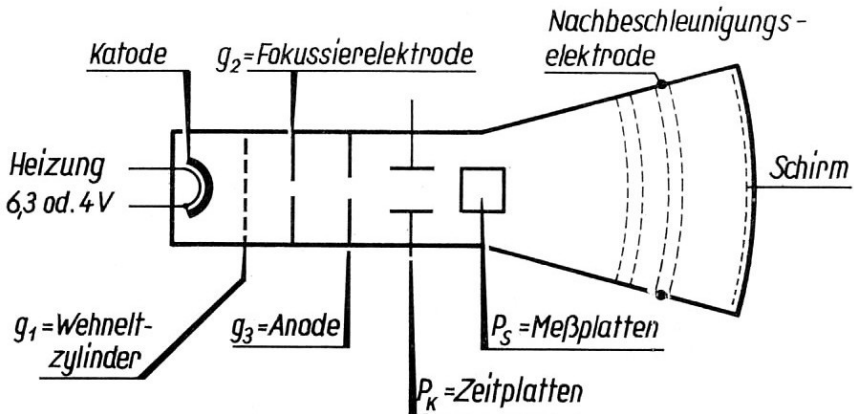


Bild 2 a

Schematische Darstellung einer Bildröhre

lenkempfindlichkeit und Ablenkfaktor eingeführt worden.

Der Ablenkfaktor bzw. Ablenkkoeffizient gibt an, welcher Spannungsunterschied in Volt zwischen zwei Ablenkplatten bestehen muß, um eine Ablenkung des Strahles um einen Zentimeter aus der Nulllage zu bewirken. Er gilt nur für eine bestimmte Anodenspannung.

Umgekehrt gibt die Ablenkempfindlichkeit an, wieviel Millimeter Ablenkung der Elektronenstrahl, bei einem Volt Ablenkspannung erfährt. Beide Werte sind ineinander umrechenbar. Z. B.: Der Ablenkkoeffizient AK betrage 20 V/cm. Dann beträgt die Ablenkempfindlichkeit AE:

$$AE_{\text{mm}} = \frac{10}{AK_{\text{cm}}} = \frac{10}{20} = 0,5 \text{ mm/V}$$

Man nennt diese Form der Ablenkung auch **elektrostatische** Ablenkung. Sie benötigt nur Spannungen zur Ablenkung, keine Ströme. Das ist sehr günstig. Weiter erfolgt die Veränderung des Strahls fast trägheitslos, er folgt der Ablenkung ohne Zeitverlust.

Oft haben die Katodenstrahl-Röhren noch eine weitere Elektrode zwischen Ablenkplatten und Schirm, die **Nachbeschleunigungs-Elektrode**. Hierdurch gelangt der Strahl nach der Ablenkung in ein neues Beschleunigungsfeld, das seine Geschwindigkeit erhöht, wodurch Helligkeit und Punktschärfe zunehmen.

Alle Spannungen einer Katodenstrahl-Röhre stehen in einem angenäherten Verhältnis zur Anodenspannung. Bei einer bestimmten Anodenspannung U_a betragen sie je nach Systemaufbau für

die Gittervorspannung	U_{g1}	0	0,08	U_a
die Schirmgitterspannung, wenn nicht mit Anode verbunden	U_{g2}	0,1	0,5	U_a
die Fokussierspannung (Einstellung der Punktschärfe)	U_{g3}	0,1	0,5	U_a
die Nachbeschleunigungsspannung	U_{aN}	0,8	0,4	U_a

Die mittlere Spannung der Ablenkplatten muß in Höhe der Anodenspannung liegen, um Verzeichnungen zu vermeiden. Wie dieses zu erreichen ist, sehen wir später bei Besprechung der Schaltung.

Ein Überschreiten der angegebenen Spannungen ist für die Lebensdauer der Röhre nachteilig und daher zu vermeiden. Ein Unterschreiten der Werte schadet der Röhre zwar nichts, es leiden aber Helligkeit und Schärfe des Leuchtflecks. Allerdings können die angegebenen Spannungen (außer Heizung) um 10 bis 20% unterschritten werden, ohne daß eine wesentliche Einbuße an Bildqualität eintritt. Man gewinnt sogar an Ablenkempfindlichkeit. Der Strahl ist langsamer, verbleibt länger innerhalb der Ablenkplatten.

Die Katodenstrahlröhre braucht zwar verhältnismäßig hohe Spannungen, aber nur sehr geringe Ströme. Die Heizspannung liegt zwischen 0,3 und 1 A. Die Anodenspannung bewegt sich bei den gebräuchlichen Typen zwischen 500 und 4000 Volt. Die Stromversorgung erfolgt durch Transformator und Gleichrichter. Die Spannungen für die Zwischenelektroden nimmt man über Potentiometer in Form eines Spannungsteilers ab.

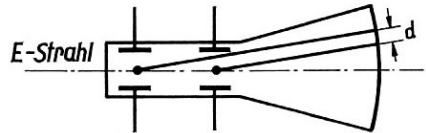


Bild 4

Ablenkendifferenz (d) bei verschiedenem Abstand der Ablenkplatten vom Schirm

Die Angabe der Ablenkempfindlichkeit ist für die Plattenpaare P_k und P_s unterschiedlich, da sie verschieden weit vom Schirm entfernt sind. Der Grund hierfür ist leicht einzusehen: je weiter die Entfernung vom Schirm, desto größer die Auslenkung; der Hebelarm wird länger (Bild 4). Außerdem findet man die Angabe über symmetrische oder unsymmetrische Ablenkung. Die Bedeutung dieser Betriebsart werden wir später besprechen.

(Wird fortgesetzt)

Karl-Heinz Morgenthum

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen (2)

Die Arbeitsweise der Katodenstrahl-Röhre

Nehmen wir einmal an, die Katodenstrahl-Röhre wäre eingebaut und mit den notwendigen Spannungen versorgt, so daß auf dem Leuchtschirm ein scharfer, kleiner Lichtpunkt steht. Über hochohmige Widerstände sind die Platten an der Anodenspannung angeschlossen (Bild 5).

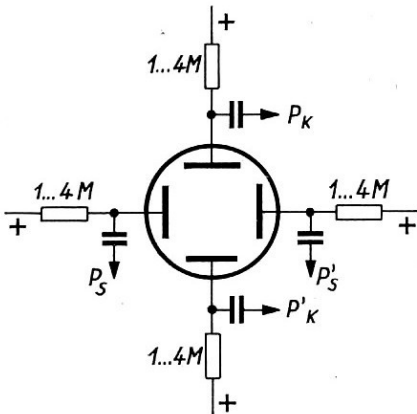


Bild 5

Anschlüsse der Zeit- und Meßspannung
über Kondensatoren
an die Plattenpaare P_K und P_S

Um den Elektronenstrahl waagrecht hin und her zu bewegen, genügt es schon, wenn wir die 220 Volt Netzspannung über zwei spannungsfeste Kondensatoren, etwa $0,1 \mu\text{F}$, an die Platte P_S anschließen. Wir bekommen einen waagrechteten Strich. Schließen wir nun die Platten P_K an, so erhalten wir einen senkrechten Strich.

Für den richtigen Betrieb ist allerdings die Netzwechselspannung nicht geeignet. Um ein getreues Abbild der auf die Meßplatten gegebenen Wechselspannung zu

erhalten, benötigen wir eine Ablenkspannung von ganz bestimmter Kurvenform. Sie muß den Strahl mit gleichmäßiger Geschwindigkeit von links nach rechts bewegen und dann ganz schnell wieder nach links zurückspringen. Gezeichnet hat diese Art Wechselspannung die Form von Sägezähnen. Sie wird in einem besonderen Generator erzeugt, dem **Kippgenerator** (Bild 6).

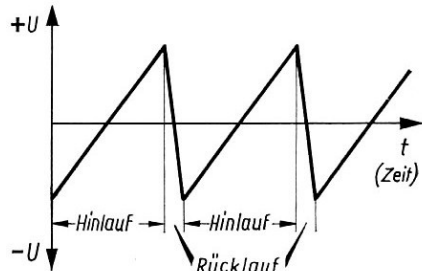


Bild 6 a

Verlauf der Kippspannung an der Anode
des Kippgenerators,
der Rücklauf soll möglichst kurz sein



Bild 6 b

Schirmbildfoto einer Kippspannung;
Verhältnis Hinlauf/Rücklauf ist sehr günstig.
Es handelt sich um die Kippspannung des
Kippgenerators im Mustergerät

Dieser Sägezahn- oder Kippgenerator ist fest im Oszillografen eingebaut und kann in seiner Frequenz durch einen Stufenschalter grob und durch ein Potentiometer fein verändert werden. Dabei muß die Ausgangsspannung so hoch sein, daß der Leuchtschirm voll bestrichen wird. Besser sollte er noch über den Bildrand hinausgehen, um gewissermaßen eine Vergrößerung zu erzielen. Die Größe der Kippspannung muß auch veränderlich sein, um die Breite des Bildes ändern zu können.

Die Höhe der Kippspannung wollen wir schnell einmal überschlägig bestimmen. Nehmen wir an, wir haben eine Röhre mit einem Schirmdurchmesser von 7 cm. Die Ablenkungsempfindlichkeit betrage z. B. 0,2 mm/V (Millimeter pro 1 Volt). Für die Auslenkung von einem Millimeter ergibt sich somit $1/0,2 = 5$ V, für einen Zentimeter 50 V, für sieben Zentimeter eine Spannung von 350 V zwischen den Platten.

Wir sehen an diesem Beispiel, daß für eine Auslenkung des Elektronenstrahls von Schirmrand zu Schirmrand eine recht große Amplitude (Schwingungsweite) erforderlich ist. Wir werden also neben dem Kippgenerator noch einen Verstärker gebrauchen.

Ebenso verhält es sich mit der Meßspannung. Nur in den seltensten Fällen wird sie groß genug sein, um den Leuchtschirm voll auszuschriften. Auch sie muß mit einem Meßverstärker verstärkt werden. Die Konstruktion der Verstärker muß so beschaffen sein, daß die Kipp- bzw. Meßspannung möglichst naturgetreu übertragen wird.

Nach diesen Überlegungen können wir nun darangehen, einen Übersichtsplan über die benötigten Einrichtungen unseres Oszillografen in Form eines Blockschaltbildes aufzustellen (**Bild 7**).

Der Oszillograf gliedert sich also in fünf Teile:

1. **Netzteil** zur Versorgung des Oszillografen mit den notwendigen Spannungen und Strömen,
2. **Bildröhrenteil**,
3. **Kippgenerator**,
4. **Horizontal- oder Kippverstärker**,
5. **Vertikal- oder Meßverstärker**.

Im nächsten Heft beginnen wir mit dem Entwurf des Netzteiles. Zunächst wird der Netztransformator berechnet und dann die praktische Wickelarbeit erläutert.

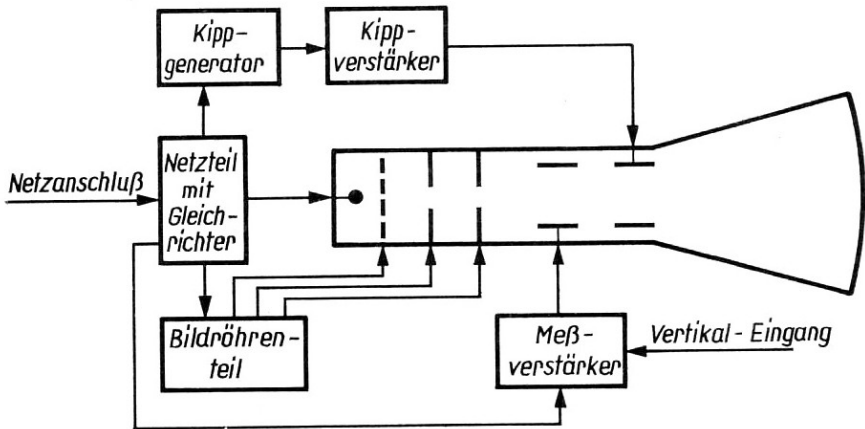


Bild 7

Blockschaltbild des Oszillografen

Karl-Heinz M o r g e n t h u m

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen (3)

Wir beginnen nun mit dem Entwurf des Netzteiles.

Zu 1): Der **Netzteil** gliedert sich in den Netztransformator, der die verschiedenen Spannungen und Ströme für die Teile 3, 4 und 5 erzeugt, und die Gleichrichteranlage. Hier müssen wir einmal etwas vorgreifen und den später ermittelten Bedarf abschätzen.

Unser Oszillograf benötigt

- eine Heizspannung für die Bildröhrenheizung,
- eine Heizspannung für die Gleichrichterröhre, falls wir keine Trockengleichrichter nehmen (Selen, Germanium, Silizium),
- eine Heizspannung für die Verstärkerröhren, (es sind etwa fünf Röhren, davon zwei Doppelröhren),
- die Anodenspannung für die Verstärkerröhren der Teile 3, 4 und 5,
- die Anodenspannung für die Bildröhre.

Die folgende Tabelle gibt uns eine Übersicht, um die Größe des Transformators zu ermitteln:

Zählen wir die Heizleistungen und Anodenleistungen zusammen, so erhalten wir den gesamten Leistungsbedarf des Oszillografen. Es sind etwa 50 Watt. Hieraus ergibt sich die Größe des Transformators. Auch die Leistung der Gleichrichterröhre wird von dem Anodenstrombedarf nicht überschritten. Die EZ 80 kann 90 mA Gleichstrom abgeben.

Unser Transformator muß nun für folgende Spannungen und Ströme gewickelt sein:

Bildröhren-Heizung	4 oder 6,3 V	1 oder 0,3 A
Gleichrichterröhren-Heizung	6,3 V	0,6 A
Verstärkerröhren-Heizung	6,3 V	etwa 2,0 A
Anodenwicklung	$2 \times 300 \text{ V}$	etwa 0,07 A

Da Transformatoren dieser Größe für die Stromversorgung mittlerer Rundfunkgeräte Verwendung finden, sind sie verhältnismäßig leicht zu beschaffen. Meistens sind jedoch nur zwei Heizwicklungen

Tabelle 1

Röhre	U_{Hz}	I_{Hz}	P_{Hz}	U_a	I_a	P_a	Bemerkung
DG 5-7	6,3 V	0,3 A	2,0 W	800 V			Bildröhren
DG 7-32	6,3 V	0,3 A	2,0 W	500 V			"
DG 13-32	6,3 V	0,6 A	3,8 W	1500 V			"
EZ 80	6,3 V	0,6 A	3,8 W				Gleichr.-Röhre
EF 80	6,3 V	0,3 A	2 W	250 V	10 mA	2,5 W	Verstärkerröhren
EF 80	6,3 V	0,3 A	2 W	250 V	10 mA	2,5 W	"
ECC 82	6,3 V	0,3 A	2 W	250 V	20 mA	5 W	"
ECC 82	6,3 V	0,3 A	2 W	250 V	20 mA	5 W	"
EC 92	6,3 V	0,15 A	1 W	250 V	10 mA	2,5 W	"
			$\sim 21 \text{ W}$		70 mA	18 W	je nach Röhrenwahl

gen vorhanden. Ist der Drahtdurchmesser einer Wicklung über 1,2 mm, so können wir ohne Besorgnis die Gleichrichterröhre EZ 80 an die allgemeine Heizung anschließen.

Für die Bildröhren mit einer Anodenspannung von 1000 und 2000 V, sollte man besser einen zweiten Transformator nehmen, der sekundärseitig nur die Heizung abgibt. Bei der normalen Schaltungsweise der Katodenstrahlröhre liegt nämlich die hohe Spannung auch an der Heizwicklung. Dieser ist dann gut isoliert aufzubauen.

Für die Selbstherstellung des Transformators sei hier ein Beispiel durchgerechnet.¹⁾ Als Kern benötigen wir ein Blechpaket mit folgenden Abmessungen:

Kerngröße nach DIN 41 302 : M 74 (M bedeutet Mantelschnitt der Bleche) für 50 Watt Leistung (**Bild 8**).

Paketbreite $b = 74 \text{ mm}$
 Pakethöhe $h = 74 \text{ mm}$
 Paketdicke $d = 32 \text{ mm}$

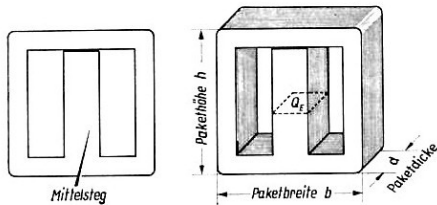


Bild 8

Abmessungen des Eisenkerns für den Transformator

Wesentlich bestimmt wird die zu übertragende Leistung durch den Kernquerschnitt Q_E . Er errechnet sich nach der vereinfachten Formel:

$$Q_E \approx \sqrt{P} \quad (1)$$

Q_E = Kernquerschnitt in cm^2 , P = zu übertragende Leistung.

Haben wir einen noch intakten Rundfunktransformator, so können eventuell die Breite, Höhe und Dicke des Blechpaketes von den oben angegebenen Daten abweichen. Ergibt das Produkt aus

gemessener Dicke des Blechpaketes und Breite des Mittelstegs einen Wert über 7 cm^2 , so können wir ihn benutzen. Allerdings muß er eventuell umgewickelt werden.

Nun zu den Windungszahlen und den Drahtstärken der Wicklung. Wir benutzen zum Wickeln Kupferdrähte mit Lackisolation (CuL). Nach der Faustformel für Windungszahlen bei normaler Netzfrequenz von 50 Hz wird

$$w \approx 38 \cdot \frac{U}{Q_E} \quad (2)$$

ergibt für die Primärwicklung bei 220 V

$$\begin{aligned} w_{pr} &= 38 \cdot \frac{U}{Q_E} = \frac{38 \cdot 220}{7} \\ &= 38 \cdot 31,4 = 1200 \text{ Windungen.} \end{aligned}$$

U = vorhandene Netzspannung.

Rechnen wir für die Verluste im Transformator und für den Spannungsabfall in der Sekundärwicklung unter Belastung mit einem Aufschlag von 10%, so wird die Windungszahl für die Sekundärwicklung zu

$$w \approx 42 \cdot \frac{U}{Q_E}$$

$$w_1 = 42 \cdot \frac{6,3}{7}$$

$$= 6 \cdot 6,3 = 38 \text{ Windungen für}$$

Bildröhren-Heizung

$$w_2 = 42 \cdot \frac{6,3}{7} = 38 \text{ Windungen für}$$

Gleichrichterröhren-Heizung

$w_3 = 38$ Windungen für Verstärkerröhren-Heizung

$$w_4 = 42 \cdot \frac{300}{7} = 1800 \text{ Windungen}$$

für Anodenwicklung.

Da wir eine Zweiweg-Gleichrichterschaltung verwenden, muß sie zweimal vorhanden sein. Die Anodenwicklung besteht somit aus 3600 Windungen, fortlaufend gewickelt, mit einer herausgeführten Mittelanzapfung.

¹⁾ siehe rfe 9/68, Seite 322

Der **Drahtdurchmesser** ist abhängig vom entnommenen Strom und von der zulässigen Stromdichte i für Transformatoren. Man rechnet im allgemeinen mit einer Stromdichte von etwa $i = 2,5 \text{ A/mm}^2$.

$$\text{Der Drahtquerschnitt } A = \frac{I}{i} \quad (3)$$

Für die Primärseite ergibt sich ein Strom von

$$I = \frac{P}{U} = \frac{50 \text{ (Watt)}}{200 \text{ (Volt)}} = 0,25 \text{ A.}$$

Der Querschnitt eines Drahtes errechnet sich zu

$$A = \frac{d^2 \pi}{4}, \text{ somit ist } d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (4)$$

A aus (3) in (4) eingesetzt ergibt

$$d = \sqrt{\frac{4 I}{\pi i}}$$

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{I}{i}}$$

für $i = 2,5 \text{ A/mm}^2$ eingesetzt,

$$d = 0,7 \sqrt{I}$$

Hieraus ergibt sich für die Bildröhren-Heizwicklung eine Drahtstärke von

$d = 0,7 \sqrt{3} \approx 0,4 \text{ mm } \phi$. Für die Gleichrichterheizung $d = 0,7 \sqrt{0,6} \approx 0,6 \text{ mm } \phi$. Die Heizwicklung der Verstärkerröhren benötigt eine Drahtstärke von

$$d = 0,7 \sqrt{2} \approx 1 \text{ mm } \phi.$$

Entnehmen wir dieser Wicklung auch die Heizung für die Gleichrichterröhre, so ist die Drahtstärke $\approx 1,2 \text{ mm}$. Für die Anodenwicklung ergibt sich

$$0,7 \sqrt{0,07} = 0,2 \text{ mm } \phi.$$

Primärseitig hat die Wicklung eine Drahtstärke von $d = 0,7 \sqrt{0,23} = 0,35 \text{ mm } \phi$.

Ist nur eine geringere Netzspannung vorhanden, z. B. 110 V , so ist die Stromstärke primärseitig $I = 0,45 \text{ A}$.

$$d = 0,7 \sqrt{0,45} \approx 0,5 \text{ mm } \phi.$$

Wickeln wir den Transformator primärseitig mit einer Anzapfung für 110 V , so muß der erste Teil der Wicklung mit der Drahtstärke $1,5 \text{ mm } \phi$ gewickelt werden, der andere Teil der Wicklung bis 220 V wird dann mit $0,35 \text{ mm } \phi$ zu Ende gewickelt.

Eigentlich müßten die Drahtstärken in bezug auf die Gleichrichterbelastung korrigiert werden. Wir haben aber schon die Maximalleistung für die Röhren veranschlagt. Sie arbeiten in unserer Schaltung aber nicht mit den Maximalströmen. Eine Berücksichtigung der benutzten Gleichrichterschaltung kann daher entfallen.

Vorteilhaft ist es, zwischen der Primär- und den Sekundärwicklung eine Abschirmung aufzubringen. Man kann hierzu eine Lage Lackdraht mit etwa $0,2 \text{ mm } \phi$ aufbringen. Das eine Ende verbleibt isoliert im Wickelkörper, das andere Ende wird herausgeführt und an den allgemeinen Nullpunkt (Chassis) angeschlossen.

Auch ein dünnes Kupferblech eignet sich. Das Blech darf aber mit den Enden keinen Kontakt haben, da sich sonst eine Kurzschlußwindung ergibt. Am besten bekleben wir die beiden Stoßkanten mit Tesafilm zur Isolierung. An das Blech wird ein Anschluß angelötet und herausgeführt.

Für den Bau von Transformatoren gilt allgemein, daß nach einer bestimmten Anzahl von Windungen eine Lage Isolierpapier zwischengelegt wird. Für unseren Fall wäre dies nach etwa jeweils 200 Windungen nötig. Die einzelnen Wicklungen müssen stärker gegeneinander isoliert werden. Besonders gilt dies für die Heizwicklung der Bildröhre.

Zur praktischen Durchführung der Wickelarbeit fertigen wir uns eine behelfsmäßige Vorrichtung an. Der findige Bastler wird sie sich nach **Bild 9** leicht herstellen können.

Vor Beginn der Wickelarbeit muß das Übersetzungsverhältnis der Bohrmaschine bestimmt werden. Dividiert man dann die Anzahl der Windungen durch das Übersetzungsverhältnis, so bekommt man die Anzahl der Handkurbelumdrehungen an der Bohrmaschine. Diese sind zu zählen.

Zuerst bringen wir die Primärwicklung auf den Wickelkörper. Nach etwa je 200 Windungen, gleichmäßig über die Länge des Wickelkörpers verteilt, kommt eine

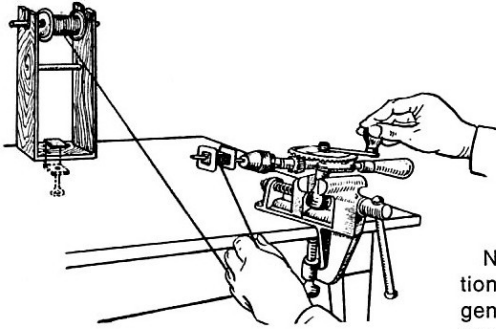


Bild 9
Behelfsmäßige Wickelvorrichtung

Lage dünnes Isolationspapier. Nach Abschluß der Primärwicklung wird eine stärkere Lage Isolierung aufgebracht. Die Wicklungsenden werden mit Rüscheschlauch überzogen und in entsprechender Länge aus dem Wickelkörper herausgeführt. Bei dünnen Drähten müssen die Wicklungsenden verstärkt werden.

Dann folgt die schon vorher beschriebene Abschirmung. Auch diese wird, da sie mit dem Schaltungspunkt verbunden wird, gut gegen die nachfolgende Wicklung isoliert. Auch die Anodenwicklung fertigen wir mit unserer Wickelvorrichtung an. Es gelten die gleichen Grundsätze wie bei der Primärwicklung. Sie wird entsprechend isoliert, und nach der ersten Wicklungshälfte führen wir eine Anzapfung heraus. Dabei verdrillen wir ein doppeltes Stück des Drahtes entsprechender Länge und überziehen es mit Rüscheschlauch.

Nach einer Lage von dickerem Isolationspapier bringen wir die Heizwicklungen auf. Diese Wickelarbeit führen wir von Hand aus, also ohne Wickelvorrichtung, weil der Draht zu dick ist. Zuerst kommt die Heizwicklung für die Gleichrichterröhre, dann die für die Verstärkerrohren. Ganz außen folgt die Heizwicklung für die Bildröhre. Sie ist besonders gut gegen die anderen Wicklungen zu isolieren.

Ist die Wickelarbeit beendet, so prüfen wir die einzelnen Wicklungen auf Durchgang; aber bitte auf keinen Fall vor Einbau des Eisenkerns an das Netz anschließen!

Ist soweit alles in Ordnung, so wird der Eisenkern eingeschichtet. Dabei schiebt man die einzelnen Bleche mit dem Schlitz wechselseitig ein. Beim „Stopfen“ des Kerns muß man sich bemühen, alle Bleche wieder hineinzubekommen. Sonst wird der Eisenquerschnitt geringer, und der Transformator erwärmt sich umzulässig hoch.

Die **Tabelle 2** gibt noch einmal eine Zusammenstellung der errechneten Windungszahlen und Drahtstärken für einen Kern M 74 an.

(Wird fortgesetzt)

Tabelle 2

Wicklung	Windungszahl	Ø mm	Drahtlänge	Gewicht
Primär, 220 V	1200 Wdg.	0,35	ca. 160 m	145 g
Primär, 110 V	600 Wdg.	0,5	ca. 80 m	140 g
Anodenwicklung	2 × 1800 Wdg.	0,2	ca. 700 m	210 g
Heiz. w ₁ Gleichrichter . .	38 Wdg.	0,6	ca. 10 m	
Heiz. w ₂ Verstärker	38 Wdg.	1,0	ca. 10 m	
Heiz. w ₂ Bildröhre	38 Wdg.	0,4	ca. 10 m	

Karl-Heinz Morgenthum

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen (4)

Nun zur weiteren Schaltung des Netz-
teils. **Bild 10** zeigt die Schaltung. Für die
später zu besprechenden Teile 2, 3, 4 und
5 benötigen wir folgende Gleichspannungen:

Bildröhre	500 V, 800 V oder 1500 V,
Kippgenerator	300 V,
Kippverstärker	300 V,
Meßverstärker	250 V und 150 V.

Diese verschiedenen Spannungen wer-
den durch Vorwiderstände bestimmt und
durch Kondensatoren entkoppelt. Die
Anodenspannung der Bildröhre ergibt sich
einmal aus der normalen positiven Anoden-
betriebsspannung des Gleichrichters
von 350 V und der negativen Spannung
von etwa 400 V, zusammen also 750 V. Sie
reicht für die Type DG 7-5 aus. Benutzen
wir die DG 7-32 mit 500 V Anodenspannung,
so greifen wir mit Hilfe eines Span-
nungsteilers von der einen Anodenwick-
lung eine geringere Wechselspannung ab
(**Bild 11**). Der Gleichrichter braucht nur von

geringer Belastbarkeit, etwa 2–3 mA, zu
sein.

Sonst zeigt die Schaltung keine Beson-
derheiten. Die Daten der einzelnen Schalt-
elemente ergeben sich aus dem Schalt-
bild und aus einer am Schluß erscheinenden
Einzelteilaufstellung.

Benutzen wir eine Bildröhre mit 1500 V
Anodenspannung, so findet eine Verdrei-
facherschaltung nach **Bild 12** Verwendung.

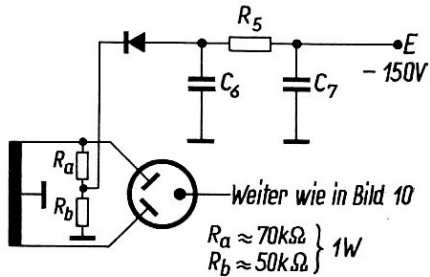
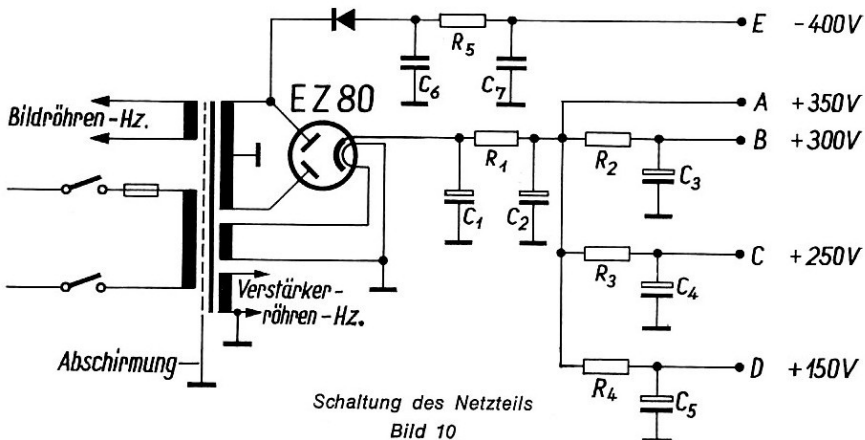


Bild 11

Schaltung zur Gewinnung der Spannungen
für die DG 7-32



Schaltung des Netz-
teils
Bild 10

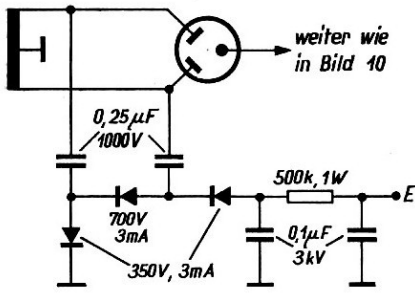


Bild 12

Spannungsgewinnung für eine Katodenstrahlröhre mit 2000 V Anodenspannung aus einer Siemens-Verdreitachterschaltung

Die Wirkungsweise von Verdopplerschaltungen ist bereits in dieser Zeitschrift beschrieben worden.

Zu 2): Der Bildröhrenteil

In Bild 13 ist die Schaltung des Bildröhrenteils für die DG 7-5 wiedergegeben. Für die Vorspannung an g_1 benötigen wir eine veränderbare Gleichspannung von 0 ... - 50 V, für g_2 eine von + 100 ...

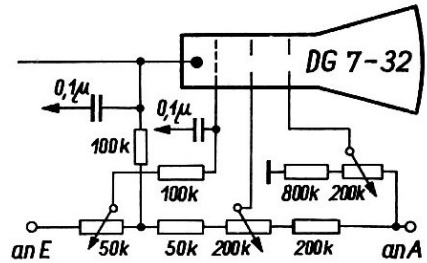


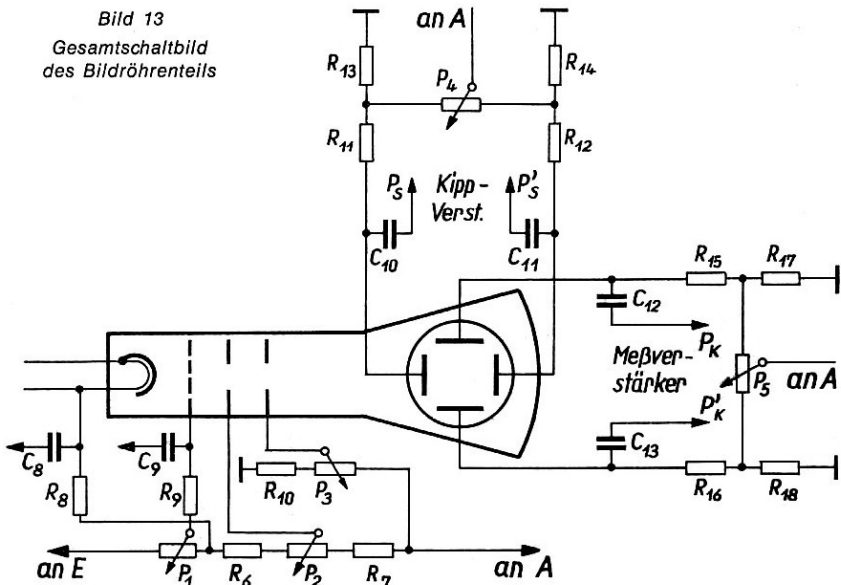
Bild 14

200 V gegenüber dem g_1 . Für einen Querstrom des Spannungsteilers von 1 mA entsprechen die Werte der Potentiometer ihrem Widerstandswert in $k\Omega$. Dabei müssen wir den Innenwiderstand der Bildröhre als parallelgeschaltet zum Spannungsteiler auffassen.

Somit ergibt sich als Gesamtwiderstand der Parallelschaltung vom Innenwiderstand der Bildröhre und der Summe der Spannungsteilerwiderstände von 850 $k\Omega$

$$R_{ges} = \frac{R_{Röhre} \cdot R_{Spt.}}{R_{Röhre} + R_{Spt.}} = \frac{6000 \cdot 850}{6000 + 850} = 750 \text{ k}\Omega$$

Bild 13
Gesamtschaltbild
des Bildröhrenteils



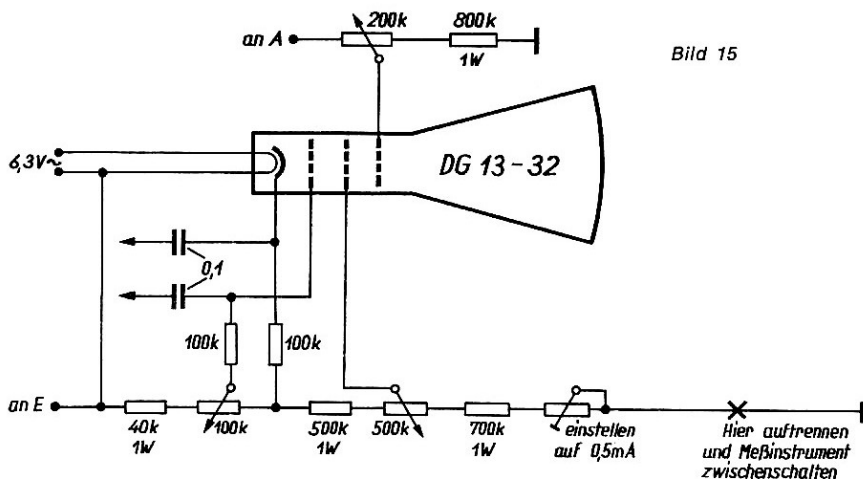


Bild 15

An 1 k Ω Spannungsteilerwiderstand fällt 1 V Spannung ab. Dadurch werden $P_1 = 50$ k Ω und $P_2 = 100$ k Ω groß. Durch das Potentiometer P_1 wird die Helligkeit des Schirmbildes und durch P_2 die Schärfe eingestellt. Die Größen der Spannungsteilerwiderstände für die DG 7-32 sind aus Bild 14, die für die DG 13-32 aus Bild 15 zu entnehmen.

Um die Nullage des Leuchtflecks auf dem Schirm etwas verschieben zu können, wird die Plattengleichspannung über die in der Schaltung gezeigte Widerstandsanordnung zugeführt. Dadurch liegt die mittlere Plattenspannung etwa 35 V tiefer als die Anodenspannung. Um eine Fleckunschärfe (Astigmatismus) auszugleichen wird auch die Anodenspannung der Bildröhre in geringen Grenzen veränderbar zugeführt.

Einzelteilliste zur Schaltung Bild 17

- R 1 = 1 k Ω /6 W (Drahtwiderstand)
- R 2 = 1,7 k Ω /2 W
- R 3 = 3,3 k Ω /3 W
- R 4 = 20 k Ω /2 W
- R 5 = 50 k Ω /1 W
- R 6 = 200 k Ω /1 W
- R 7 = 500 k Ω /1 W
- R 8 = 100 k Ω /0,5 W
- R 9 = 100 k Ω /0,5 W
- R 10 = 800 k Ω /0,5 W
- R 11 = 1 M Ω /0,5 W
- R 12 = 1 M Ω /0,5 W
- R 15 = 1 M Ω /0,5 W
- R 16 = 1 M Ω /0,5 W
- R 13 = 4 M Ω /0,5 W
- R 14 = 4 M Ω /0,5 W
- R 17 = 4 M Ω /1 W
- R 18 = 4 M Ω /1 W
- P 1 = 50 k Ω /lin., P 2 = 100 k Ω /lin
- P 3 = 200 k Ω /lin., P 4 = 1 M Ω /lin
- P 5 = 1 M Ω /lin.
- C 1, C 2 je 50 μ F, 400/450 V
- C 3, C 4, C 5 je 25 μ F, 400/450 V
- C 6, C 7 je 0,5 μ F, 500/750 V
- C 9 bis C 13 je 0,1 μ F, 500 V
- 1 Transformator (siehe Text)
- 1 Ausschalter zweipolig
- 1 Lämpchen für Betriebsanzeige
- 1 Sicherungselement
- 1 Röhre DG 7-5 (siehe Text)
- 1 Fassung für Bildröhre
- 1 Röhre EZ 80
- 1 Fassung EZ 80

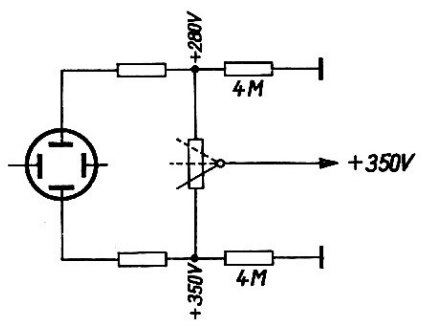
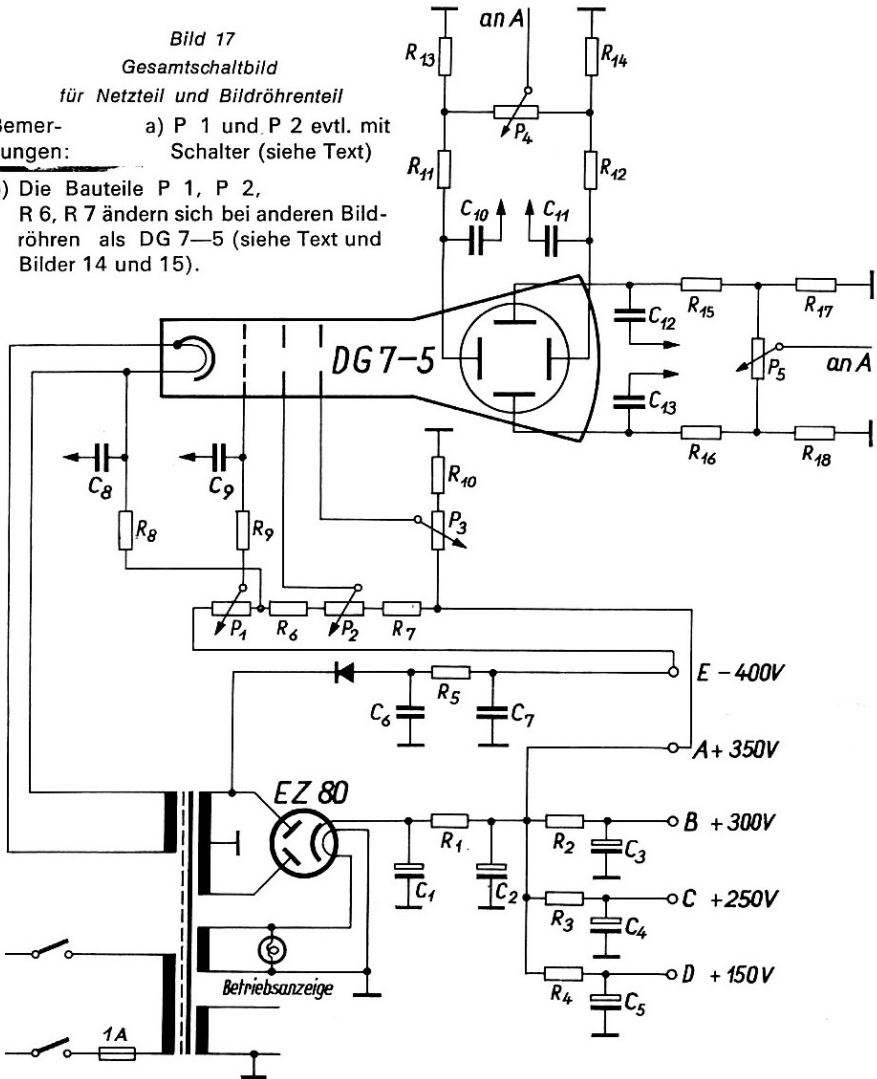


Bild 16

Bild 17
Gesamtschaltbild
für Netzteil und Bildröhrenteil

- Bemerkungen:
a) P 1 und P 2 evtl. mit Schalter (siehe Text)
b) Die Bauteile P 1, P 2, R 6, R 7 ändern sich bei anderen Bildröhren als DG 7-5 (siehe Text und Bilder 14 und 15).



Die Wirkungsweise der Widerstandsanordnung zur Fleckverschiebung läßt sich leicht verstehen. Betrachten wir dazu **Bild 16**:

Steht Schleifer von P_3 in der einen Endstellung, so ist die Spannung an Platte 1 = 350 V. Über den Spannungsteiler aus P_3 und dem Widerstand $4\text{ M}\Omega$ ist die Spannung an Platte 2 im Verhältnis 1 : 4 geteilt:

$$\text{Somit ist } U_{P12} = \frac{350 \cdot 4}{5} = 280 \text{ V.}$$

In Mittelstellung des Schleifers tritt an jedem Potentiometer-Ende ein Spannungsabfall um 35 V ein. Die mittlere Plattenspannung beträgt also $350 - 35 = 315 \text{ V}$. In der anderen Endstellung des Potentiometers ist die Spannungsverteilung wie oben, nur hat jetzt Platte 2 = 350 V und Platte 1 = 280 V. Auf die mittlere Plattenspannung von 315 V muß die Anodenspannung mit P_5 eingestellt werden. **Bild 17** zeigt die Gesamtschaltung von Teil 1 und 2.

Karl-Heinz Morgenthum

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen (5)

Mechanischer Aufbau

Nach den bisher erworbenen Kenntnissen ist es gut, wenn sie praktisch erprobt werden können. Deshalb haben wir unsere Bauanleitung in verschiedene Abschnitte eingeteilt, um Zwischenstationen zu schaffen. Nach Fertigstellung dieser Baugruppen können sie geprüft und eventuell auftretende Fehler relativ schnell ermittelt werden. Außerdem können wir uns schon gewisse praktische Erfahrungen aneignen. Um die Teile 1 und 2 bauen und untersuchen zu können, wollen wir jetzt den mechanischen Aufbau des Gerätes planen. Dabei werden wir so zu verfahren haben, daß das Hinzufügen der Teile 3, 4 und 5 keine Schwierigkeiten macht.

Um genügend Platz zu haben, wollen wir die Frontplatte in der Größe DIN A 4 (210 x 296 mm) anfertigen. Als Material können wir Stahlblech von etwa 1,5 mm oder Aluminiumblech von 2 bis 3 mm Dicke verwenden. Soll die Bildröhre DG 13–32 Verwendung finden, so muß die Frontplatte in Breite und Länge je 30 mm vergrößert werden. Die Bohrungen für P_1 bis P_4 sind entsprechend zu versetzen.

Zuerst fertigen wir die Frontplatte. Um die Anzahl der Bohrungen festzulegen, müssen wir feststellen, welche Einsteller und Schalter wir benötigen. Für die Bauabschnitte 1 und 2 haben wir 5 Potentiometer, den Netzschalter und die Betriebsanzeiger. Um Einstreuungen durch die Netzzuleitung zu einem Schalter an der Frontplatte zu vermeiden, verlegen wir den Schalter hinten an das Gerät neben die Einführung der Netzzuleitung. Auch dort läßt sich der Schalter leicht bedienen. Wir können aber den Netzschalter, bei Verwendung einer abgeschirmten Leitung, auch mit einem Potentiometer kombinieren.

Bis jetzt benötigen wir 6 Bohrungen. Dazu kommen noch für die Teile 3, 4 und 5: 1. der Kippstufenschalter, 2. das Kippopotentiometer, 3. der Bildbreiteneinsteller, 4. der Eingangsstufenschalter, 5. das Eingangspotentiometer (Bildhöhe), 6. Synchronisierwahlschalter, 7. das Potentiometer für den Synchronisierzwang.

Weiter benötigen wir 4 Buchsenpaare: 1. für den Vertikaleingang, 2. für die Bildaustastung, 3. Synchronisierzugang für Fremdsynchronisation und 4. für eine von außen angelegte Kippspannung. Buchsenpaar 4 dient gleichzeitig zur Abnahme der im Gerät erzeugten Kippspannung, z. B. zur Steuerung eines Wobblers. Über die Funktion der einzelnen Bauteile werden wir später berichten. Fassen wir zusammen:

1. P_1 für die Helligkeit, eventuell mit Netzschalter,
2. P_2 für die Strahlschärfe (Fokussierung),
3. P_3 für die Strahlverschiebung horizontal,
4. P_4 für die Strahlverschiebung vertikal,
5. P_5 für die Einstellung der Strahlschärfe (Astigmatismus),
6. P_6 für die Kippfrequenz fein,
7. P_7 für die Bildbreite,
8. P_8 für die Bildhöhe,
9. P_9 für den Synchronisierzwang
10. S_1 für die Kippfrequenz grob,
11. S_2 für den Vertikaleingang grob,
12. S_3 für die Wahl der Synchronisierung,
13. Ausschnitt für die Bildröhre,
14. Bohrung für die Betriebsanzeige (Skalenlampe).

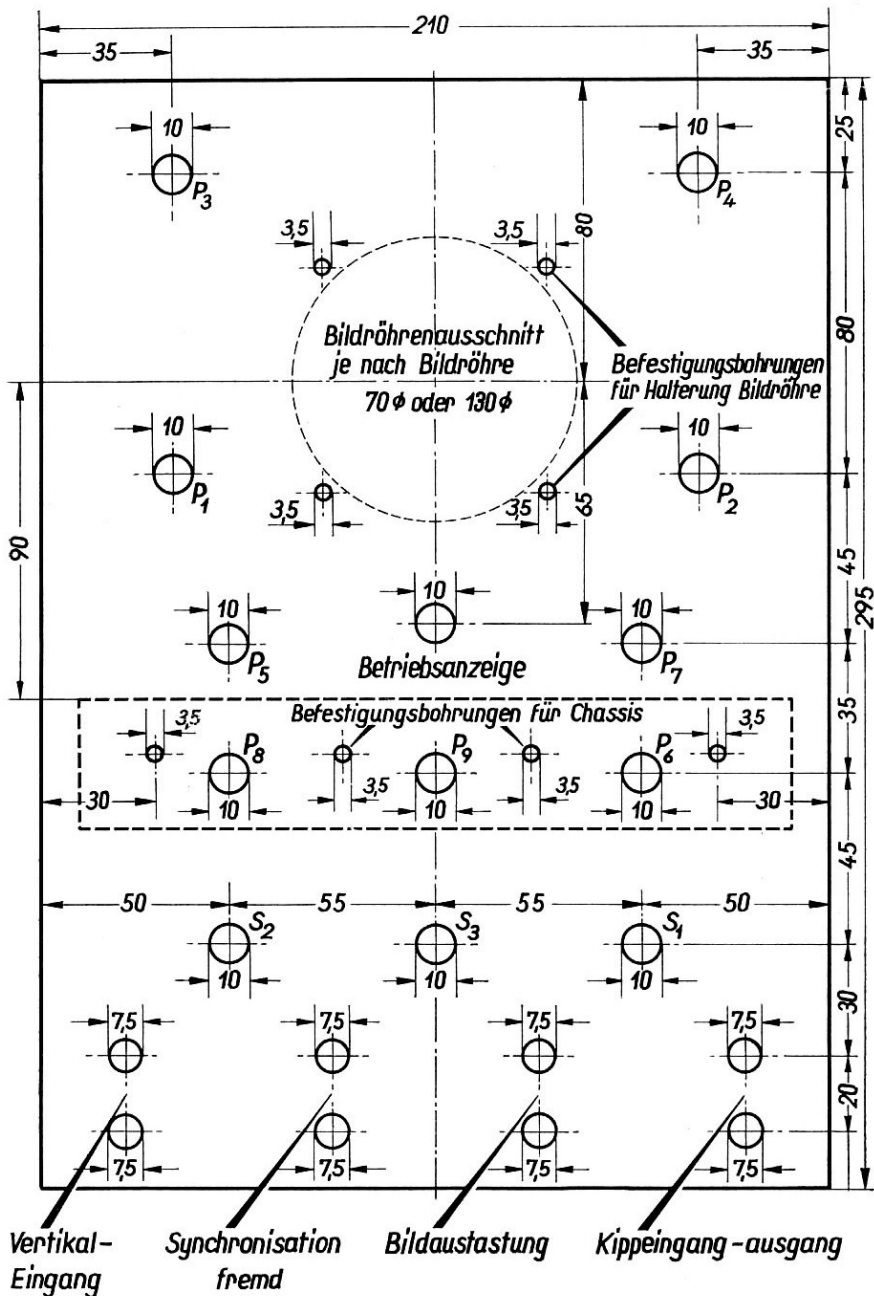


Bild 18
Bohrplan für die Frontplatte

Um ein gefälliges Aussehen zu erhalten, wollen wir die Bohrungen möglichst symmetrisch anordnen. Ein Vorschlag, der auch eine kurze Leitungsführung zu den störanfälligen Schaltelementen ergibt, ist in **Bild 18** dargestellt.

Die Bohrungen für Schalter und Potentiometer haben 10 mm Durchmesser, auch eine Fassung für die Betriebsanzeige gibt es in dieser Größe. Die anderen Bohrungen für die vordere Halterung der Bildröhre und die Montageschrauben für die Befestigung des Chassis ergeben sich aus Bild 18. Günstig ist es, wenn wir vor der Bildröhre eine Plexiglasscheibe mit einer Strichritzung anbringen. Wir haben dadurch Anhaltspunkte, wenn wir das Oszillogramm ausmessen wollen (siehe **Bild 19**).

Schön sieht es aus, wenn die Frontplatte mit einem Schruppflack gestrichen wird. Für die Anfertigung des Chassis gelten folgende Überlegungen: Der Netztransformator muß möglichst weit von der Bildröhre entfernt sein, um magnetische Brummeinstreuungen zu vermeiden. Besser ist es noch, die Bildröhre magnetisch mit Mu-Metall abzuschirmen. Leider ist eine solche Abschirmung recht teuer.

Befestigungsbohrung mit Frontplatte übereinstimmend - Halterung Bildröhre

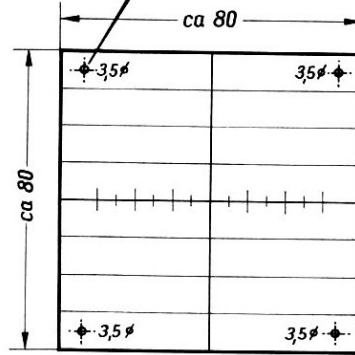


Bild 19

Plexiglasscheibe mit Strichritzung zum Ausmessen des Oszillogramms

Zur Not tut es auch magnetisch weiches Stahlblech (Baustahl) von 3 mm Stärke. Ein einfaches Stahlrohr, sogenanntes Siederohr, läßt sich auch verwenden.

Die Bauabschnitte 3, 4 und 5 sollen so aufgebaut werden, daß der Weg der Meß- bzw. Kippfrequenz von vorne nach hinten

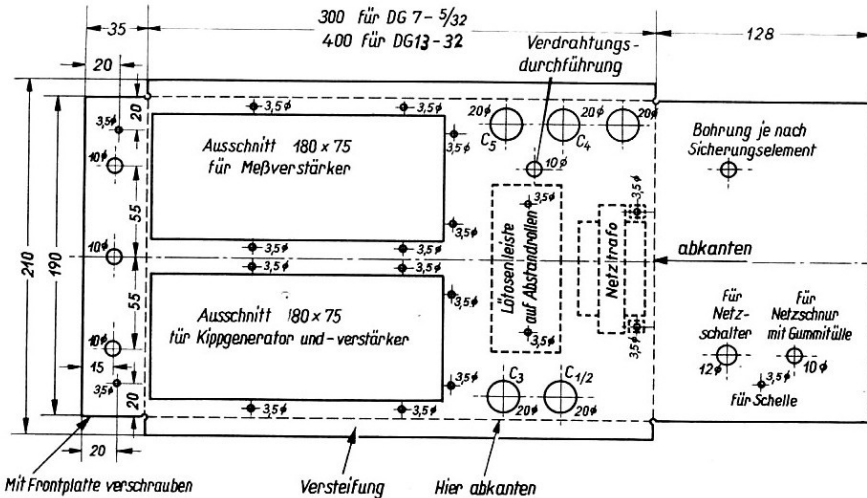


Bild 20

Bohrplan für das Chassis

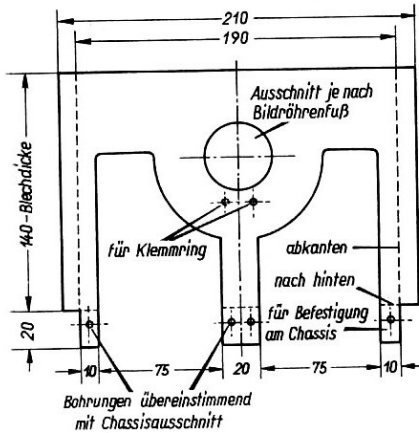


Bild 21

Hinterer Befestigungswinkel für Bildröhre
DG 7 – 32 / 5

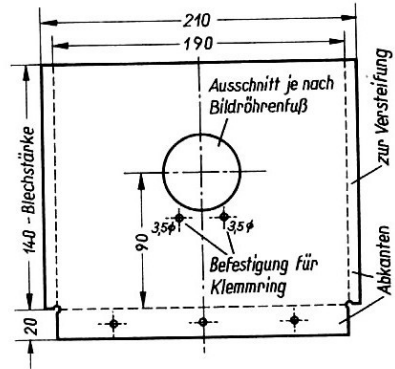


Bild 22

Hinterer Befestigungswinkel für längere
Bildröhren z. B. DG 13 – 32

zu den Ablenkplatten verläuft. Diese Baugruppen können in konventioneller Bauweise oder in Form der gedruckten Schaltung angefertigt werden; letztere Art ist die günstigere.

Auch für das Chassis verwenden wir Stahlblech von 1,5 mm Dicke oder 2 bis 3 mm dickes Aluminiumblech. Weitere Einzelheiten ergeben sich aus **Bild 20**.

Da wir die Form der gedruckten Schaltung für die restlichen Baugruppen verwenden wollen, müssen wir genügend große Ausschnitte vorsehen, um die Schaltplatten einsetzen zu können. Trotzdem können wir die andere Art der Schaltungsweise (Verdrahtung) verwenden. Wir bauen die Teile auf ein genügend großes Stück Aluminiumblech auf und setzen sie

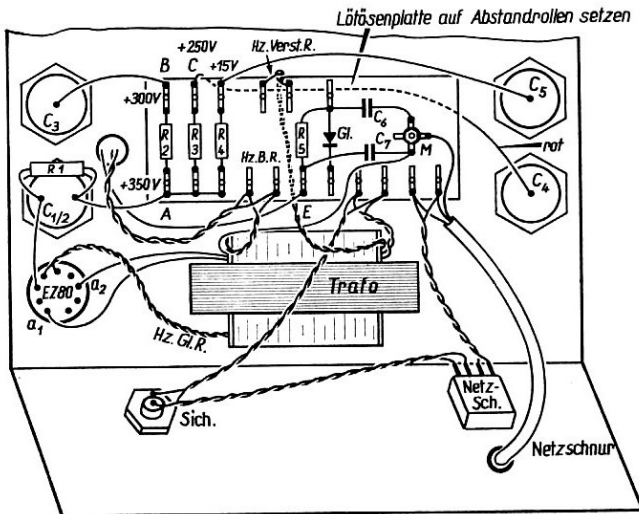


Bild 23

Schema der Verdrahtung unterhalb des Chassis (Netzteil)

dann in die Ausschnitte ein. Die Länge des Chassis richtet sich nach der Baulänge der Bildröhre. Bild 20 gibt die Maße für die DG 7-5 und DG 13-32.

Jetzt fehlt noch die hintere Stütze für die Bildröhre. Vorschläge hierfür sind in **Bild 21** und **Bild 22** angegeben.

Bevor wir an den Zusammenbau gehen, fertigen wir uns Skizzen über die Lage der Schaltmittel der Teile 1 und 2 und der benötigten Lötstützpunkte an. Beispiele sind aus **Bild 23** zu ersehen. Am besten verwenden wir käufliche Lötösenleisten. Es ist besser, ein paar Lötösen mehr zu haben, als einige zu wenig. Haben wir uns die Verteilung der Schaltelemente auf die einzelnen Lötstützpunkte gut durchdacht und skizziert, so können wir an den Zusammenbau gehen.

Die vordere Auflage der Bildröhre richtet sich danach, ob wir eine Abschirmung verwenden, und wie groß sie ist. Man

kann z. B. den Tubus mit Winkelstücken lagern, die durch die Schrauben der Plexiglasscheiben gehalten werden. Dies ist aus **Bild 24** zu ersehen. Benutzt man eine selbsthergestellte Abschirmung, wie beim Mustergerät, so klebt man sie am besten innen mit Tesamollstreifen aus.

Die hintere Lagerung wird durch einen Klemmring besorgt. Mit ihm wird der Isolierfuß der Bildröhre gehalten. Die Röhrenfassung wird nur lose aufgesetzt. Die Zuführung der Betriebsspannungen erfolgt von den Lötstützpunkten über eine flexible Leitung (siehe **Bild 25**).

Sind der Aufbau und die Schaltung des Netzteils und des Bildröhrenteils fertig, so überprüfen wir bei abgezogener Bildröhrenfassung und gesteckter EZ 80, ob die Spannungen die richtigen Werte haben. Für die höheren, über hohe Widerstände zugeführte Spannungen, verwenden wir ein Instrument mit hohem Innenwiderstand oder ein Röhrenvoltmeter.

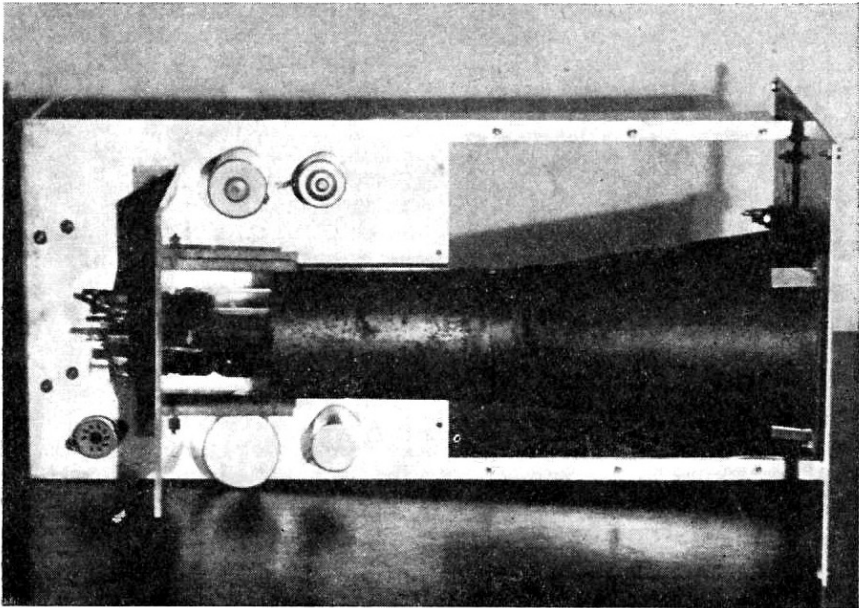


Bild 24

*Chassisaufbau des Mustergerätes von oben;
vorne die Haltewinkel für die Bildröhrenabschirmung*

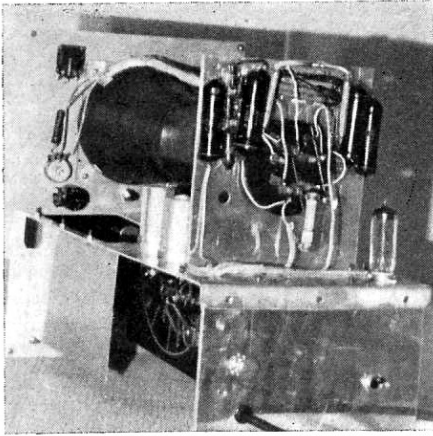


Bild 25

Rückseitige Ansicht des Gerätes
mit den Schaltelementen
 C_8 bis C_{13} und R_8 bis R_{13}

Bei diesen und den folgenden Prüfungen müssen wir unbedingt äußerste Vorsicht walten lassen, um keinen persönlichen Schaden durch die hohen Spannungen zu erleiden. Vor jeder Veränderung der Schaltung, beim Abziehen und Aufsetzen der Bildröhrenfassung, beim Anschließen irgendwelcher Zuleitungen ist immer das Gerät abzuschalten. Vor allen Dingen sind dann die geladenen Kondensatoren zu entladen. Da die Teile 3, 4 und 5 noch nicht angeschlossen sind und daher kein Anodenstrom fließt, haben die großen Elektrolytkondensatoren noch nach längerer Zeit ziemlich hohe Spannungen.

In einer amerikanischen Bauanleitung steht an dieser Stelle der Satz: Ist das Meßinstrument angeschlossen und der Netzschalter eingeschaltet, so stecke man beide Hände in die Hosentaschen und lese das Instrument ab. Anschließend ausschalten.

Stimmen alle Spannungen und ist uns kein Fehler unterlaufen, so stecken wir die Bildröhrenfassung wieder auf den Sockel der Bildröhre und schalten das Gerät wieder ein. Nach dem Abwarten der Anheizzeit drehen wir den Helligkeitseinsteller, bis auf der Bildröhre eine Leucht-

erscheinung entsteht. Müssen wir dabei, um größere Helligkeit zu erzielen, P_1 nach links statt nach rechts herum drehen, so löten wir die beiden äußeren Anschlüsse von P_1 um. (Ausschalten und Entladen der Elektrolytkondensatoren nicht vergessen.) Mit Hilfe von P_2 stellen wir jetzt den Leuchtfleck auf den kleinsten Durchmesser ein. Dann drehen wir den Helligkeitseinsteller P_1 so weit zurück, daß der Leuchtfleck gerade gut zu erkennen ist.

Lassen wir den Helligkeitseinsteller bei großer Intensität stehen, ohne den Leuchtfleck zu bewegen, so kann durch die Überlastung des Schirmmaterials ein Einbrennfleck entstehen. Wir haben dann später immer einen dunklen Punkt an dieser Stelle auf dem Schirm.

Mit den Einstellern P_3 und P_4 stellen wir den Leuchtfleck auf den Mittelpunkt des Plexiglas-Koordinatensystems. Nun wird einmalig mit P_5 auf beste Punkt-schärfe eingestellt. Dabei muß der Fleck vollkommen rund werden. Nochmals: Bei diesen Einstellungen mit möglichst geringer Helligkeit im etwas abgedunkelten Raum arbeiten.

Mit den Einstellern P_3 und P_4 muß sich der Leuchtfleck hin und her bewegen lassen. Ist uns die Ablenkung zu klein, so können wir eventuell die Widerstände 16, 17, 18 und 19 etwas verkleinern, z. B. auf 3 M Ω . Läßt sich (durch Wertstreuungen der Potentiometer) die Punktschärfe nicht gut genug einstellen, so ist der Widerstand R_{10} zu vergrößern oder zu verkleinern.

Ergibt sich beim Bewegen des Leuchtflecks durch P_3 und P_4 kein gerader Strich, sondern eine Wellenlinie, so wird der Elektronenstrahl durch Einstreuungen abgelenkt. Erdet man den Anschluß für die Ablenkplatten und die Welligkeit des bewegten Elektronenstrahls verschwindet, so handelt es sich um eine kapazitive Einstreuung einer Wechselfspannung. Bleibt sie bestehen, so ist es eine magnetische Einstreuung. Hier hilft meistens nur eine gute magnetische Abschirmung der Bildröhre.

(Wird fortgesetzt)

Inbetriebnahme und Abgleich

Bevor man das Gerät zum erstenmal einschaltet, sollte die Verdrahtung auf eventuelle Fehler oder Kurzschlüsse untersucht werden. Nach dem Einschalten werden die beiden Einstellwiderstände auf maximale Empfindlichkeit eingestellt. Die Lampe darf nicht brennen. Verdunkelt man nun das Fotoelement, so muß das Licht sofort einschalten. Das Gerät braucht bei abgeschalteter Lampe etwa 20 mA, bei eingeschalteter Lampe etwa 150 mA.

Einzelteilliste

Ein/Aus-Schalter Typ „S 2“	(Schadow)
Transistoren BC 109, 2 x AC 176 K	(Siemens)
Fotoelement BP 100	(Siemens)
Elektrolytkondensator C 1, 15 V–	(Telefunken/NSF)
Einstellwiderstände R 1, R 2 Nr. 1–9815	(Preh)
Widerstände 0,33 W, R 3 . . . R 9	(Dralowid)

Bezug der angegebenen Bauelemente nur über den einschlägigen Fachhandel.

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen (6)

Jetzt können wir unseren 1. Ablenkversuch starten. Wir legen eine provisorische Leitung von den Anoden der EZ 80 über zwei Hochohmwiderstände von ca. 2 bis 4 M Ω an die Kondensatoren C 12 und C 13. (Bei der Vorbereitung immer ausschalten und Kondensatoren entladen.) Es entsteht ein waagerechter Leuchtstrich. Nun schließen wir die provisorischen Leitungen an C 10 und C 11. Es entsteht ein senkrechter Leuchtstrich. Liegen die Striche nicht genau waagerecht und senkrecht, so lösen wir ganz vorsichtig die Halterung der Bildröhre und verdrehen sie so weit, bis sie mit den Strichen auf der Plexiglas-scheibe übereinstimmen. Halterung wieder festschrauben. (Größte Vorsicht,

Hochspannung!) Haben wir uns so von der richtigen Einstellung der Spannungen an der Bildröhre und ihrer Lage überzeugt, können wir mit Teil 3 beginnen.

Der Kippgenerator

Für die sägeförmige Horizontalablenkspannung gibt es recht einfache Generatorschaltungen. Allerdings steigt der Aufwand mit den gestellten Anforderungen in Hinsicht auf Frequenzumfang, -konstanz und Geradlinigkeit des Sägezahns.

Im allgemeinen benutzt man die Ladekurve eines Kondensators zur Erzeugung der Ablenkspannung. Wird ein Kondensator über einen Widerstand aufgeladen,

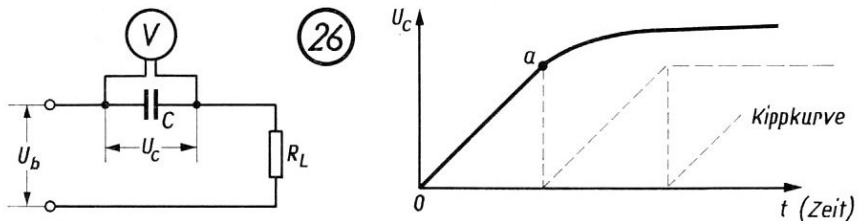


Bild 26

Erzeugung der Ablenkspannung und Spannungskurve

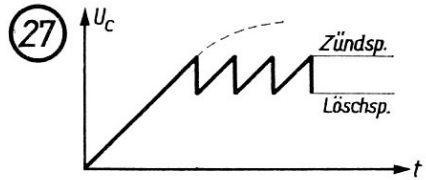
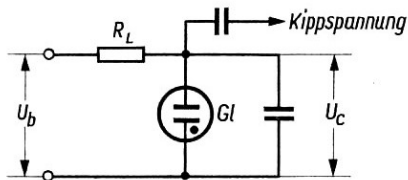


Bild 27

so ergibt sich folgender Zustand. Die verwendete Schaltung zeigt **Bild 26**, daneben die entstehende Spannungskurve.

Im Moment des Einschaltens fließt ein großer Ladestrom, da der Kondensator noch leer ist. Der Spannungsabfall am Ladewiderstand R ist sehr groß, die Spannung an C , angezeigt durch den Spannungsmesser, sehr klein. Mit zunehmender Ladung wird der Ladestrom kleiner und U_c größer, bis bei Beendigung der Ladung $U_c = U_b$. (U_c = Spannung am Kondensator, U_b = Betriebsspannung). Wie wir sehen, hat die Ladekurve keinen geraden Verlauf, so daß sie so nicht für einen Oszillografen geeignet ist.

Betrachten wir aber das Kurvenstück von 0 bis a, so ist die Krümmung relativ unbedeutend. Es fehlt nun nur noch ein Schalter, der bei a den Kondensator wieder schlagartig entlädt, anschließend muß dann die Ladung von neuem beginnen.

Im einfachsten Fall kann dieser Schalter eine Glimmröhre sein. Betrachten wir **Bild 27**, das eine solche einfache Generatorschaltung zeigt. Die Spannung am Kondensator steigt bis zur Größe der Zündspannung der Glimmröhre Gl . Beim Einsetzen der Zündung wird deren Innenwiderstand sehr klein und der Kondensator wird sehr schnell entladen. Ist U_c bis auf den Wert der Löschspannung von Gl gesunken, so wird sie hochohmig und der Kondensator lädt sich wieder auf die Zündspannung auf. Hier beginnt der Vorgang von vorne. So eine Schaltung kippt also selbständig und liefert eine sägezahnförmige Spannung.

Die Frequenz der Kippspannung hängt weitgehend von den Werten des Ladewiderstandes und des Kondensators, die Höhe der Amplitude von der Differenz zwischen Zünd- und Löschspannung der Glimmröhre ab. Da die Zündspannung einer Glimmröhre über 70 V liegt, muß man recht große Kondensatoren benutzen, um noch im geradlinigen Teil der Ladekurve zu arbeiten. Das ergibt aber, will man R_1 nicht zu klein machen, nur niedrige Kippfrequenzen. Auch ist eine Glimmröhre durch ihre nicht genau festliegende Zünd- bzw. Löschspannung und die Trägheit der Ionenleitung kein gutes Schaltelement.

Eine sehr gute, in vielen Oszillografen verwendete und relativ einfache Kipperschaltung, ist das **Miller-Transitron**. Bei richtiger Dimensionierung der Schaltelemente hat es einen mathematisch genauen Anstieg der Kippspannung. Seine Wirkungsweise wollen wir uns mit **Bild 28** klarmachen:

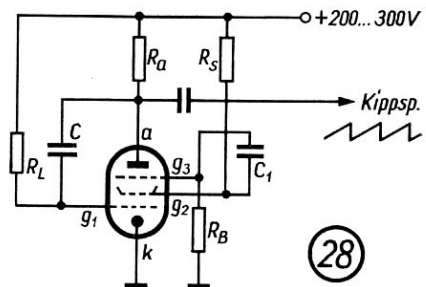


Bild 28

Prinzipschaltung des Miller-Transitron-Generators

Um einen Ausgangspunkt für unsere Betrachtung zu haben, nehmen wir an, das Steuergitter g_1 sei negativ gegenüber der Katode. Die Anode ist direkt über C mit g_1 gekoppelt. Durch den Widerstand R_L wird g_1 positiver, und der Anodenstrom steigt. Dadurch sinkt die Spannung an der Anode. Die Spannungsänderung ist negativ gerichtet und überträgt sich über C auf g_1 . Er verhindert somit ein zu schnelles Ansteigen der Steuergitterspannung. Die Anodenspannung sinkt also, verhindert durch C, nicht plötzlich ab, sondern in unendlich kleinen Schritten. Dieses Fallen der Anodenspannung, das exakt geradlinig verläuft, benutzt man zur Horizontalablenkung des Elektronenstrahls in der Oszillografenröhre.

Der Rückgang der Anodenspannung U_a wird weitgehend durch die Verstärkung v der Pentode bestimmt. Das bedeutet, daß auch C v -mal größer erscheint, als er in Wirklichkeit ist. Die gleiche Wirkung würde man in **Bild 28** mit einem v -mal so großen Kondensator erzielen. Wir kommen also mit verhältnismäßig kleinen Kondensatoren aus, die eine bessere Isolation und eine kleinere Kapazität gegen Masse besitzen.

Sinkt die Anodenspannung unter einen bestimmten Wert, so tritt, bedingt durch die größer werdende Schirmgitterspannung, plötzlich Stromübernahme durch das Schirmgitter ein. Das ist der Transition-Effekt. Dadurch sinkt die Spannung

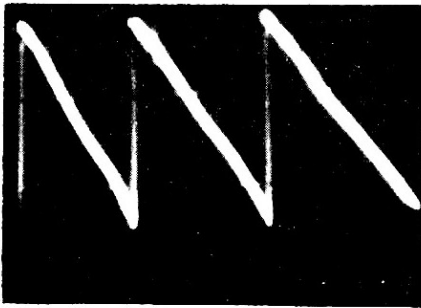


Bild 29

Oszillogramm der Kippkurve an P_5

am Schirmgitter. Diese negativ gerichtete Spannung gelangt über C_1 an das Bremsgitter, das nun den Anodenstrom völlig sperrt. Die Anodenspannung steigt dadurch schlagartig an, weil kein Anodenstrom mehr fließt. Anschließend entlädt sich C_1 über R_B , wird positiver und gibt den Anodenstrom wieder frei. Es tritt Stromübernahme durch die Anode ein, und der Anodenstrom steigt an. Durch den Miller-Kondensator wird der Stromanstieg aber gebremst (siehe oben), der Vorgang beginnt von vorne.

Diese Schaltung erzeugt selbsttätig eine Kippschwingung, die von großer Linearität ist. Das fotografierte Oszillogramm der im Mustergerät erzeugten Kippspannung zeigt **Bild 29**.

Um die Kippfrequenz verändern zu können, machen wir den Widerstand R_1 veränderbar (P_6) und den Kondensator C umschaltbar. Das vollständige Schaltbild von Kippgenerator und Kippverstärker zeigt **Bild 30**. Die dort angegebenen Kondensatorgrößen erlauben mit Hilfe von P_6 eine Frequenzvariation von etwa 5 Hz bis 100 kHz. Diese Schaltung ist erprobt und arbeitet für den Aufwand ausgezeichnet. Für die Röhren EF 80 und ECC 82 können auch ohne Schaltungsänderung die amerikanischen Typen 6AC7 und 6SN7 verwendet werden.

Nun zur Erläuterung der Schaltung. Die Wirkungsweise des Kippgenerators haben wir schon durchgesprochen. Vom Potentiometer P_7 wird die Kippspannung bei geschlossenem Schalter S_2 der Ablenplatte P_5 zugeführt. Das Trimpotentiometer führt einen Teil der Spannung über einen Kondensator an das Gitter des Systems II der ECC 82. Sie arbeitet in dieser Schaltung als Phasenumkehröhre zur Erzeugung einer gleichen, aber um 180° verschobenen Spannung. Zur Linearisierung dient der $10\text{-k}\Omega$ -Widerstand in der Katodenleitung. Die phasenverschobene Spannung wird an der Anode der ECC 82_{II} abgegriffen und der Ablenplatte P_5 zugeführt. Zum Einstellen der Spannung dient das Trimpotentiometer.

(Wird fortgesetzt)

Um einen Gleichlauf (Synchronisierung) zwischen Kippfrequenz und Frequenz der Meßspannung zu erhalten, muß dafür gesorgt werden, daß der Hinlauf des Elektronenstrahls immer im richtigen Augenblick erfolgt, und zwar immer dann, wenn auch die Meßspannung z. B. eine Periode beendet hat.

Dazu zweigen wir über P_9 einen Teil der verstärkten Meßspannung ab und verformen sie mit Hilfe der Diode D_3 und der ECC 82₁ so, daß steile Impulse entstehen. Diese koppeln über R_9 und C_{18} auf das Schirmgitter g_2 der EF 80 und erzwingen so den Gleichlauf mit der Meßspannung. Die **Bilder 32** und **33** zeigen den Verformungsvorgang aus einer Sinusspannung. Bild 32 zeigt oben die sinusförmige Meßspannung, unten die gleichgerichtete Spannung an D_3 , Bild 33 den daraus geformten steilen Impuls an der Anode ECC 82₁, der dann den Kippvorgang in der EF 80 auslöst.

Mit Schalter S_3 können wir wählen, ob die Synchronisierung durch die Meßspannung, durch eine von außen angelegte oder die Netzspannung erfolgen soll. P_9 verändert die Größe des Synchronisierungszwangs. Eine zu große Synchronisierungsspannung ist nachteilig. Sie soll gerade so groß sein, daß einwandfrei stehende Bilder entstehen.

Es ist meistens unerwünscht, den Rücklauf des Elektronenstrahls auf der Bildröhre zu sehen. Um ihn zu unterdrücken, muß man den E-Strahl während der Rücklaufzeit sperren. Dazu erteilen wir dem Gitter g_1 der Bildröhre eine größere negative Vorspannung. Wie **Bild 34** zeigt, haben wir am Bremsgitter der EF 80 genau während der Zeit des Rücklaufs einen Spannungssprung. Links die Kippkurve an der Anode, rechts die Impulse am Bremsgitter. Über eine Widerstands-Kondensator-Kombination zur Entkopplung führen wir die Impulse den Dioden D_1 und D_2 zur Beschneidung der positiven Spannungsspitzen zu. Der Restimpuls ist ein steiler negativer Zipfel, der g_1 genau während des Rücklaufs sperrt. In **Bild 35** sehen wir unter der Kippkurve den Sperrimpuls.

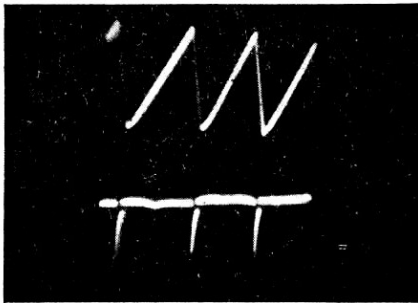


Bild 35

Oszillogramm.

oben: Kippkurve an P_s

unten:

*Impuls zur Unterdrückung des Rücklaufs
an G_1 der Bildröhre*

Zum Anschluß einer Kippspannung von außen, dient das Buchsenpaar 4. Der Schalter S_2 (mit P_7 kombiniert) steht dabei in Stellung „aus“. Diese Spannung muß allerdings groß genug sein, um die Bildröhre auszusteuern, denn es tritt keine weitere Verstärkung ein. Die ECC 82₁₁ bewirkt die Phasenumkehr.

Zum praktischen Aufbau der Teile 3 und 4 benötigen wir folgende Einzelteile. Um die Indexziffern bei der Bezeichnung der Teile nicht zu groß werden zu lassen, fangen wir wieder mit R_1 , C_1 usw. an:

Röhren: 1 Röhre EF 80 mit Fassung für gedruckte Schaltung
1 Röhre ECC 82 mit Fassung für gedruckte Schaltung

Dioden: 3 Stück OA 71, o. ä.

Potentiometer: $P_6 = 1 \text{ M}\Omega$ lin, $P_7 = 50 \text{ k}\Omega$ lin mit doppelpol. Schalter S_2 ,
 $P_9 = 1 \text{ M}\Omega$ lin.
 1 Trimpotentiometer (Schraubenziehereinstellung) $1 \text{ M}\Omega$.

Schalter: 1 Bereichumschalter (Mayr, Prah), 2 Ebenen, 8 Kontakte S_1 ,
 1 Synchronisierwahlschalter 1×3 Kontakte (Stellungen) S_3
 Schalter S_2 , siehe P_7 .

Widerstände:

$R_1 = 200 \text{ k}\Omega \frac{1}{2} \text{ W}$	$R_{10} = 100 \text{ k}\Omega \frac{1}{2} \text{ W}$
$R_2 = 50 \text{ k}\Omega \frac{1}{2} \text{ W}$	$R_{11} = 1 \text{ k}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$
$R_3 = 0,5 \text{ k}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$	$R_{12} = 800 \text{ }\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$
$R_4 = 3 \text{ M}\Omega \frac{1}{2} \text{ W}$	$R_{13} = 600 \text{ k}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$
$R_5 = 200 \text{ k}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$	$R_{14} = 1 \text{ k}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$
$R_6 = 50 \text{ k}\Omega \frac{1}{2} \text{ W}$	$R_{15} = 1 \text{ k}\Omega \frac{1}{2} \text{ W}$
$R_7 = 1 \text{ M}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$	$R_{16} = 10 \text{ k}\Omega 1 \text{ W}$
$R_8 = 1 \text{ k}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$	$R_{17} = 50 \text{ k}\Omega 2 \text{ W}$
$R_9 = 100 \text{ k}\Omega \frac{1}{4} \text{ W}$	

Kondensatoren:

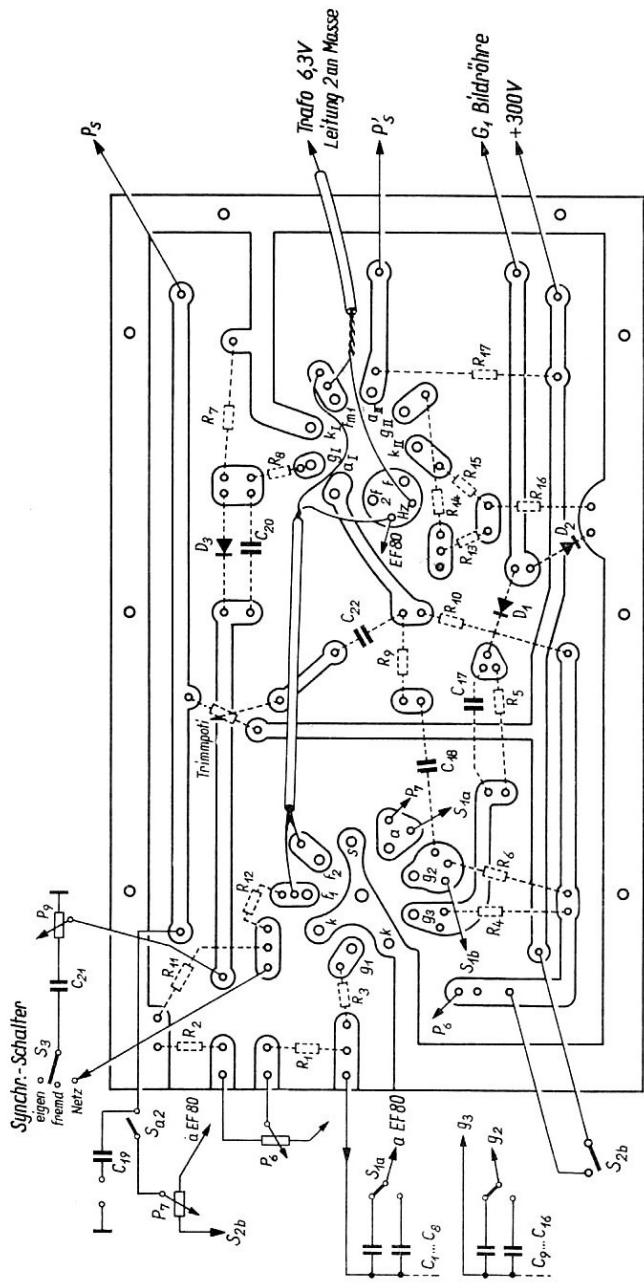
$C_1 = 0,1 \text{ }\mu\text{F} 500 \text{ V}$	$C_{12} = 1 \text{ nF} 500 \text{ V}$
$C_2 = 25 \text{ nF} 500 \text{ V}$	$C_{13} = 500 \text{ pF} 500 \text{ V}$
$C_3 = 10 \text{ nF} 500 \text{ V}$	$C_{14} = 150 \text{ pF} 500 \text{ V}$
$C_4 = 2,5 \text{ nF} 500 \text{ V}$	$C_{15} = 100 \text{ pF} 500 \text{ V}$
$C_5 = 1 \text{ nF} 500 \text{ V}$	$C_{16} = 50 \text{ pF} 500 \text{ V}$
$C_6 = 250 \text{ pF} 500 \text{ V}$	$C_{17} = 100 \text{ pF} 500 \text{ V}$
$C_7 = 100 \text{ pF} 500 \text{ V}$	$C_{18} = 10 \text{ nF} 500 \text{ V}$
$C_8 = 25 \text{ pF} 500 \text{ V}$	$C_{19} = 0,1 \text{ }\mu\text{F} 500 \text{ V}$
$C_9 = 50 \text{ nF} 500 \text{ V}$	$C_{20} = 200 \text{ pF} 500 \text{ V}$
$C_{10} = 10 \text{ nF} 500 \text{ V}$	$C_{21} = 0,1 \text{ }\mu\text{F} 500 \text{ V}$
$C_{11} = 5 \text{ nF} 500 \text{ V}$	$C_{22} = 0,1 \text{ }\mu\text{F} 500 \text{ V}$

Führen wir den Aufbau der Teile 3 und 4 in Form der gedruckten Schaltung aus, so benötigen wir dazu zwei Platinen kupferkaschiertes Pertinax in der Größe $95 \times 160 \text{ mm}$. Eine für den Kippteil und eine für den Meßverstärker, dazu die Chemikalien, die komplett käuflich sind.

In **Bild 36** ist ein Vorschlag für die Leitungsführung angegeben. Die genauen Abstände der Bohrungen für die Einzelteile hängen von der Größe der Teile ab. Am besten ist es, wenn wir zuerst ein Modell in Pappe anfertigen und dort die Drahtenden der Teile durchstecken. Sind alle Teile, Röhrenfassungen, Widerstände, Kondensatoren untergebracht, übertragen wir die ermittelten Abstände mit Hilfe einer Nadel auf die Kupferseite der Pertinaxplatte. Dabei müssen wir darauf achten, daß auch die richtigen Seiten von Modellpappe und Pertinaxplatte aufeinanderliegen, wenn wir die Bohrabstände übertragen. Die Einzelteile müssen beim fertigen Gerät auf der Pertinaxseite angebracht sein.

Die Bohrungen für die Röhrenfassungen richten sich nach der Dicke der Stifte. Die übrigen sind mit $1 \text{ mm } \phi$ zu bohren. Nach dem Bohren wird vorsichtig entgratet und mit einem dünnen Pinsel Bitumenlack zum Abdecken der Leitungszüge aufgetragen. Die Leitungszüge sind etwa $2 - 3 \text{ mm}$ breit, die Abstände dazwischen etwa 5 mm . Bei den Bohrungen sind zum besseren Löten Verdickungen vorgesehen. Ist uns beim Auftragen des Lacks einmal ein Fehler unterlaufen, so wischen wir vorsichtig die fehlerhafte Stelle mit Verdünnung, Benzol oder Petroleum ab.

Ist die Platine einwandfrei gezeichnet und frei von Schaltungsfehlern, mehrmaliges Kontrollieren der Schaltung empfiehlt sich, lassen wir den Lack trocknen. Anschließend erfolgt ein vorsichtiges Waschen der Platte mit einer weichen Bürste in Pril-Wasser o. ä.



Teile außerhalb der Platte sind an der Frontplatte

-----Teile sind auf der Oberseite

Bild 36
Vorschlag zur Ausführung der Platine für Teile 3 und 4

Dies dient zur Entfernung von Fett- und Schweißrückständen. Nach gutem Abspülen in klarem Wasser, wird die Platte in die Ätzlösung gelegt. Je nach Stärke der Lösung und Temperatur dauert der Ätzvorgang $\frac{1}{2}$ bis 1 Stunde.

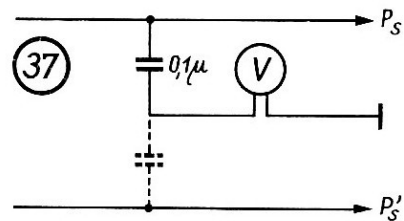
Ist das überflüssige Kupfer weggeätzt, wird die Platte gut gewässert, getrocknet und der Lack mit den oben genannten Lösungsmitteln abgewischt. Ist die Platte völlig sauber und trocken, können wir mit dem Einlöten der Teile beginnen. Die Anschlußdrähte der Teile werden von der Pertinaxseite her durch die Bohrungen gesteckt, mit dem Seitenschneider auf 2 bis 3 mm Überstand gekürzt und mit den Leitungszügen verlötet.

Beim Löten ist darauf zu achten, daß der LötKolben gut warm ist, aber nicht zu heiß. Vor allen Dingen muß die Lötung schnell durchgeführt werden, damit sich das Kupfer nicht vom Pertinax löst. Zum Löten verwenden wir nur Lötzinn mit Kolophonium. Löt fett ist in keiner Form zu verwenden, da, trotz bestem Säubern der Lötstelle nach dem Lötvorgang, doch Grünspanbildung auftritt.

Vor dem Einbau der bestückten Platine, müssen wir noch die Kippkondensatoren C_1 bis C_{16} einbauen. Sie werden direkt an den Schalter S_1 gelötet. Dann wird der Kippteil auf dem Chassis verschraubt und die Verbindungen zwischen P_6 , P_7 , P_9 , S_1 , S_2 und S_3 und dem Kippteil hergestellt. Es fehlen nun nur noch die Anschlüsse für die Heizung, die Anodenspannung, zu den Kondensatoren der Ablenkplatten P_s und P'_s , zum Buchsenpaar 4, und die Verbindung von Diode D_2 zum Kondensator an G_1 der Bildröhre.

Sind die Verbindungen hergestellt, werden das Gerät an das Netz angeschlossen und die Spannungen an den Anschlüssen der Röhrenfassungen vor dem Einsetzen der Röhren kontrolliert. Bei der EF 80 haben alle Anschlüsse, außer der Heizung und der Katode, einen mehr oder weniger großen positiven Spannungswert. Bei der ECC 82 sind nur die Anoden positiv. Ist alles einwandfrei, so können wir die Röhren einsetzen.

Bild 37



Nach der Anheizzeit wird bei richtig eingestellter Bildröhre auf dem Bildschirm ein waagerechter Strich entstehen. Dabei muß S_2 geschlossen sein. Jetzt fehlt noch der Abgleich der beiden Kippspannungen an P_s und P'_s auf die gleiche Größe. Wir schalten dazu ein möglichst hochohmiges Wechselspannungsinstrument an, z. B. das eventuell vorhandene Röhrenvoltmeter, über einen Kondensator von $0,1 \mu\text{F}$ zwischen P_s und Masse (Bild 37). Dabei steht S_1 in Stellung 2 und P_6 etwa in der Mitte. Mit P_7 wird ein gut ablesbarer Spannungswert eingestellt. Wir lösen nun den Kondensator von P_s und legen ihn an P'_s . Mit dem Trimpotentiometer auf der Platine stellen wir nun den gleichen Spannungswert am Spannungsmesser ein wie an P_s . Falls nicht irgendwelche Fehler bei den Einzelteilen oder in der Schaltung vorliegen, ist damit die Arbeit an den Teilen 1 bis 4 beendet.

(Wird fortgesetzt)

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen (Schluß)

Zu 5. Meßverstärker

Nach der Fertigstellung der Teile eins bis vier, wollen wir uns nun dem Meßverstärker zuwenden. Wer Lust hat, kann vorher noch eine provisorische Versuchsschaltung aufbauen, um die Netzspannung zu oszillografieren. Wir benötigen dazu nur einen kleinen Netztransformator, der zwei gleiche symmetrische Spannungen liefert (z. B. eine Heizwicklung mit Mittelabgriff). Noch besser ist die Anodenspannungswicklung für eine Zweiweggleichrichtung, etwa 2×200 bis 2×250 V. Die beiden Enden der Wicklung schließen wir an die Kondensatoren der Ablenkplatten P_k und P'_k an, den Mittelabgriff legen wir an das Chassis (Masse).

Werden jetzt Oszillograf und Transformator eingeschaltet, so sehen wir nach der Anheizzeit nicht mehr den geraden Leuchtstrich, sondern wahrscheinlich ein Muster aus mehreren Kurvenstücken, je nach eingestellter Kippfrequenz. Die ordnungsmäßige Einstellung der anderen Werte, wie Helligkeit, Schärfe usw. vorausgesetzt. Drehen wir S_1 auf Stellung 1, also niedrigster Kippfrequenzbereich, dann wird an einer Stelle beim Durchdrehen des Potentiometers P_6 die Sinuskurve der Netzspannung auf dem Bildschirm erscheinen. Es wird schwer sein, ein völlig stehendes Bild zu erhalten, wenn der Schalter S_3 nicht auf Netz steht. P_9 steht dabei etwa in der Mitte.

Je nach angelegter Spannung an das Plattenpaar P_k wird die vertikale Auslenkung verschieden sein. Messen wir den Abstand zwischen den Spitzen der Sinuskurve, so können wir durch Division den Ablenkfaktor der Bildröhre bestimmen.

Beim Entwurf der Schaltung für den Meßverstärker müssen wir einen Kompromiß schließen. Bei gegebener Stufenzahl (Röhren) läßt sich entweder eine hohe Verstärkung bei geringem Frequenzumfang (Bandbreite) oder eine große Bandbreite bei geringerer Verstärkung erreichen. Sicher läßt sich der Verstärkungsabfall bei großer Bandbreite durch eine Erhöhung der Stufenzahl wieder ausgleichen, dieses erfordert aber eine umfangreiche Erfahrung im Bau von Verstärkern und stellt große Anforderungen an die elektrische und mechanische Konstruktion.

Unter Bandbreite versteht man den Frequenzumfang, bei dem die Verstärkung des Verstärkers an den Bandenden auf das 0,7fache der normalen Verstärkung abgesunken ist. Ein guter und mit nicht zu großem Aufwand zu verwirklichender Kompromiß ist eine Bandbreite von etwa 2,5 bis 3 MHz. Sie erlaubt noch eine genügende Eingangsempfindlichkeit.

Bei der Festlegung der notwendigen Verstärkung bei einer Bandbreite von 2,5 MHz müssen wir vom Spannungsbedarf der Oszillografenröhre ausgehen. Die Bildröhre DG 7–5 benötigt für die Vertikalablenkung 40 V/cm , die DG 7–32 und die DG 13–32 etwa 15 V/cm . Für die Durchrechnung eines Beispiels wollen wir uns auf die DG 7–32 beschränken.

Verlangen wir, daß eine effektive Eingangsspannung am Verstärker von $0,1 \text{ V}$ noch eine Ablenkung auf der Bildröhre von einem Zentimeter bewirkt, so ergibt sich die notwendige Verstärkung aus der Division von Ausgangsspannung und Eingangsspannung.

Eine Effektivspannung von 100 mV hat einen Spitzen/Spitzenwert von

$$U_{ss} = U_{\text{eff}} \cdot 2 \sqrt{2} = 0,1 \cdot 2,8 = 0,28 \text{ V,}$$

damit wird die notwendige Verstärkung $v = \frac{25}{0,28} \approx 90$ fach.

Zur Ermittlung der erforderlichen Stufenzahl wollen wir jetzt die Verstärkung einer Stufe mit einer normalen Breitbandpentode errechnen. Selbstverständlich erstreckt sich diese Berechnungsgrundlage nicht auf alle benötigten Werte einer Verstärkerstufe und auf die Größe aller verwendeten Einzelteile. Sie zeigt nur überschlägig die Größenordnungen auf, reicht aber für unsere Voraussetzungen und die an den Oszillografen gestellten Ansprüche völlig aus. Die Maximalverstärkung einer Pentode, z. B. der EF 80, errechnet sich nach der Formel

$$v = \frac{S \cdot 10^3}{2 \pi b (C_e + C_a)} \quad (6)$$

$$v = \frac{6,8 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot 2,5 (7,5 + 3,3)} = 40 \text{ fach.}$$

v = Verstärkungsfaktor der Stufe,
 b = Bandbreite in MHz
 S = Steilheit der Röhre in mA/V,
 C_e = Eingangskapazität der Röhre,
 C_a = Ausgangskapazität der Röhre

Der die Verstärkung und die Bandbreite bestimmende Arbeitswiderstand (in Verbindung mit Röhren- und Schaltkapazitäten) ergibt sich aus der Formel

$$v = R_a \cdot S, \text{ somit ist}$$

$$R_a = \frac{v}{S} = \frac{40}{6,8} = 6 \text{ k}\Omega \quad (7)$$

Wie schon früher beschrieben, erzeugen wir die Gittervorspannung durch einen Katodenwiderstand. Da dieser aber eine Gegenkopplung erzeugt, überbrückt man ihn mit einem Kondensator entsprechender Größe. Es zeigt sich aber, daß sich ein möglichst linearer Verstärkungsgang erzielen läßt, wenn der Katodenkondensator entfällt. Oft benutzt man einen wesentlich kleineren Katodenkondensator, der bei den unteren Frequenzen keinen Einfluß hat. Er gleicht aber den Verstärkungsabfall an der oberen Bandgrenze aus. Sein Wert liegt zwischen 150 pF und 1500 pF.

Unter linearem Verstärkungsgang versteht man, daß alle Frequenzen innerhalb der Bandbreite möglichst gleichmäßig verstärkt werden. Lassen wir also den Katodenkondensator fort, so erniedrigt sich die Verstärkung der Stufe auf:

$$v = \frac{v}{1 + \frac{R_k}{R_a} \cdot v} \quad (8)$$

Die Größe des Katodenwiderstandes R_k findet sich in der Röhrentabelle bzw. errechnet er sich aus der Größe der festgelegten Gittervorspannung und dem Anodenstrom nach dem Ohmschen Gesetz:

$$R_k = \frac{U_g}{I_a}$$

R_k ist für die EF 80 = 250 Ω .

Setzen wir die Werte für v , R_k und R_a in die Gleichung (8) ein, so ergibt sich die Stufenverstärkung für eine EF 80 zu 17fach. Für eine 90fache Gesamtverstärkung ist also eine weitere Stufe notwendig. Dabei ist zu beachten, daß sich die Verstärkungsfaktoren der einzelnen Stufen multiplizieren.

Die DG 7 – 32 verlangt eine symmetrische Ablenkspannung, wie es schon beschrieben wurde. Zur Erzeugung einer gegenphasigen Ablenkspannung können wir nun die gleiche Schaltung wie beim Kippverstärker verwenden. Um auch andere Möglichkeiten einer Phasenumkehr kennenzulernen, wollen wir hier die Schaltung nach **Bild 38**

benutzen. Die Steuerspannung wird wie üblich auf das Gitter der Phasenumkehröhre gegeben. Die Abnahme der gegenphasigen Spannungen erfolgt an der Katode und an der Anode der Röhre. Dazu müssen die Widerstände R_k und R_a gleich groß sein. Die Symmetrie der Spannungen ist ausgezeichnet, solange keine Belastungen durch Ströme auftreten. Das ist aber bei der Aussteuerung der Bildröhre auch nicht der Fall. ($R_k = R_a = 10 \text{ k}\Omega$). Der Widerstand R dient zur Einstellung des Arbeitspunktes (Gittervorspannung) der Röhre. Er ist im Verhältnis zu R_k so klein, daß wir seinen Wert nicht zu berücksichtigen brauchen. Natürlich können wir auch diese Schaltung für die Phasenumkehr im Kippausgang verwenden.

Nehmen wir für diese Stufe eine Doppeltriode, so können wir das andere System für die noch fehlende Verstärkerstufe verwenden. Eine ECC 82 hat auf Grund ihrer geringen Steilheit nicht die genügende Verstärkung, um die geforderte Gesamtverstärkung zu erreichen. Bei der notwendigen Gesamtverstärkung von 90 muß die zweite Stufenverstärkung etwa 11fach sein.

Verwenden wir die ECC 81, so wird nach der Verstärkungsformel für Trioden,

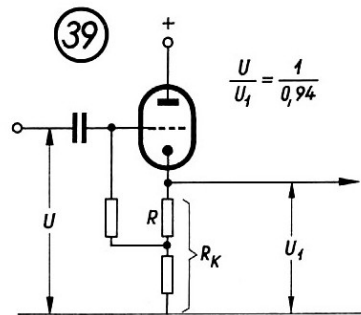
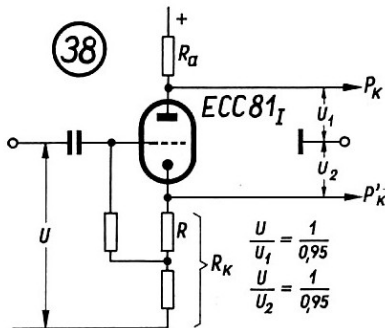
$$v = S \frac{R_i \cdot R_a}{R_i + R_a} \quad (9)$$

$$v = 6,7 \frac{10,4 \cdot 6}{10,4 + 6} = 25,5\text{fach}$$

Wird kein Katodenkondensator verwendet, so ist nach (8) die Stufenverstärkung etwa 13,5fach. Wir haben dabei den Arbeitswiderstand zu $6 \text{ k}\Omega$ gewählt. Das ist nicht ganz statthaft, bringt in unserem Falle aber keine große Ungenauigkeit für die Bandbreite. Die Gesamtverstärkung beider Stufen beträgt dann etwa 230. Die Umkehrstufe hat auch in diesem Falle keine Verstärkung, die Eingangsspannung verhält sich zur Ausgangsspannung wie 1 : 0,95 für jeden Ausgang zur Masse.

Ein schwieriges Kapitel haben wir vor der Beendigung der Überlegungen für den Meßverstärker noch vor uns: Wie schalten wir die Meßspannung auf den Verstärker? Wollten wir nur kleine Spannungen oszillografieren, die den Verstärker nicht übersteuern, wäre das Problem gelöst. In den meisten Fällen wird sie aber $0,3 \text{ V}$ übersteigen.

Eine einfache Vorrichtung, eine Spannung herabzusetzen, ist ein Spannungsteiler in Form eines Potentiometers oder als Stufenschalter. Für Gleichspannungen oder sehr niedrige Wechselspannungen lassen sich Teiler einfach herstellen. Je höher die Frequenz wird, desto schwieriger ist es, schädliche Kapazitäten zu vermeiden. Sie würden eine zusätzliche unkontrollierbare Spannungsteilung bewirken. Im Interesse einer geringen Belastung der Meßspannungsquelle soll der Teiler möglichst hochohmig sein. Hier wirken sich die unerwünschten Kapazitäten besonders schädlich aus.



Diese und noch andere Schwierigkeiten lassen sich mit Hilfe einer Anodenbasis-Eingangsstufe vermeiden. Eine solche Anodenbasis-Stufe wirkt als Impedanzwandler. Bei hohem Eingangswiderstand und geringer Eingangskapazität hat sie einen geringen Innenwiderstand. Für die folgende Verstärkerstufe bedeutet das einen von Belastungsschwankungen ziemlich unabhängigen Generator. Sie kann deshalb bis ins Gitterstromgebiet hinein ausgereicht werden, was eine große Steilheit und damit Verstärkung ergibt. **Bild 39** zeigt die Schaltungsweise einer Anodenbasis-Stufe.

Die Anodenspannung liegt ohne Arbeitswiderstand direkt an der Anode. Die Ausgangsspannung wird am Katodenwiderstand abgegriffen. Wie die Umkehrstufe, hat auch die Anodenbasis-Stufe eine Spannungsverstärkung kleiner als 1. Da die vorher errechnete Gesamtverstärkung aber noch Reserven hat, ist das kein Nachteil.

Wird für die Anodenbasis-Stufe die Röhre EC 92 verwendet, so ergibt sich die Spannungsverstärkung nach der Formel

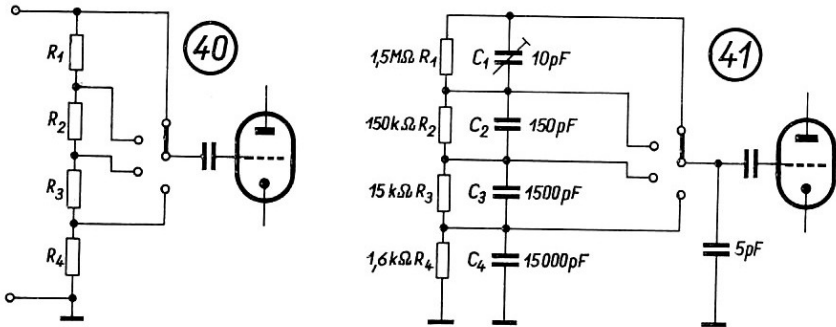
$$v = \frac{1}{D + 1} \quad (D = \text{Durchgriff, wird aus den Röhrendaten entnommen.}) \quad (10)$$

$$v = \frac{1}{0,0167 + 1} = 0,94$$

Dann ist jetzt die Gesamtverstärkung des Meßverstärkers einschließlich der Anodenbasis-Stufe und Umkehrstufe

$$v_{\text{ges}} = v_{\text{EC92}} \cdot v_{\text{EF80}} \cdot v_{\text{ECC81 I}} \cdot v_{\text{ECC81 II}}$$

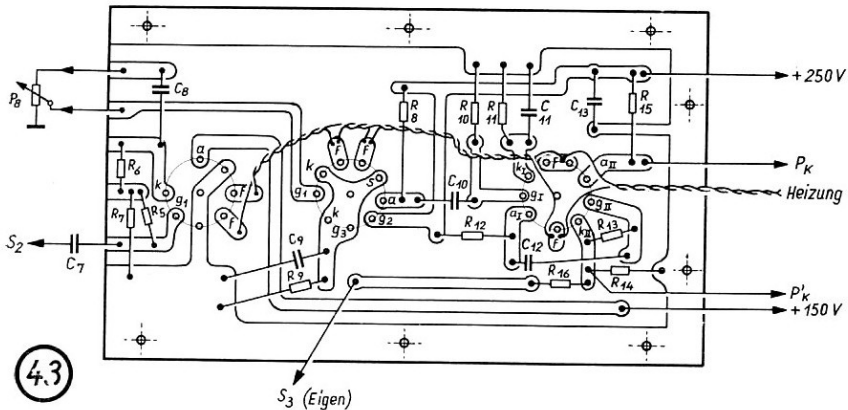
$$= 0,94 \cdot 17 \cdot 13,5 \cdot 0,95 = 205\text{fach.}$$



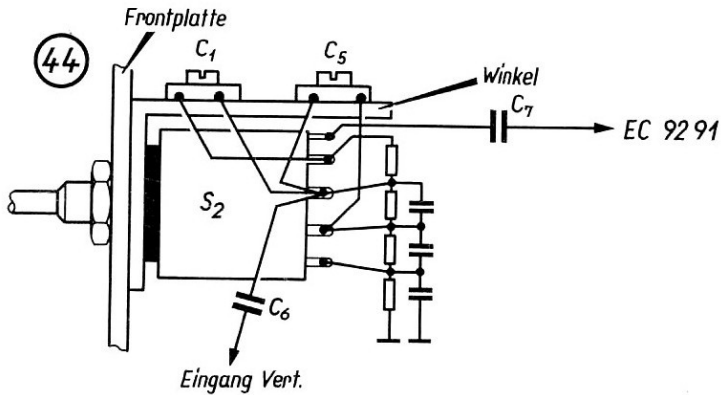
Auch eine Anodenbasis-Stufe benötigt bei höheren Eingangsspannungen einen Spannungsteiler, um Übersteuerungen zu vermeiden. Einfache Widerstandskombinationen nach **Bild 40** sind stark fehlerbehaftet durch die unvermeidbaren und kaum bestimmbar parallelen Kapazitäten. Ein Ausgleich (Kompensation) dieser Fehler kann durch zusätzliche Kapazitäten parallel zu den Widerständen erreicht werden (**Bild 41**). Für die Größe der Zusatzkapazitäten gilt, daß die Produkte aus $R \cdot C$ untereinander gleich sein müssen:

$$C_1 \cdot R_1 = C_2 \cdot R_2 = C_3 \cdot R_3 \text{ usw.}$$

Wählen wir für $R_1 = 1,5 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 150 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 15 \text{ k}\Omega$ und $R_4 = 1,6 \text{ k}\Omega$, so teilen wir die Eingangsspannung dekadisch. Jede Schaltstufe zeigt also immer den 10fachen Wert der vorhergehenden Stufe an.



EC 92 EF 80 ECC 81



Einzelteile für den Meßverstärker:

R ₁ = 1,5 MΩ	} 1/4 W
R ₂ = 150 kΩ	
R ₃ = 15 kΩ	
R ₄ = 1,8 kΩ	} 1/2 W
R ₅ = 2 MΩ	
R ₆ = 500 Ω	} 3 W
R ₇ = 5 kΩ	
R ₈ = 6 kΩ	} 1/2 W
R ₉ = 250 Ω	
R ₁₀ = 1 MΩ	} 1/4 W
R ₁₁ = 200 Ω	
R ₁₂ = 6 kΩ	} 3 W
R ₁₃ = 1 MΩ	
R ₁₄ = 10 kΩ	} 2 W
R ₁₅ = 10 kΩ	
R ₁₆ = 20 kΩ	} 1/4 W
P ₈ = 10 kΩ	

C ₁ = 10 pF	Trimmer
C ₂ = 120 pF	
C ₃ = 1,5 nF	
C ₄ = 15 nF	
C ₅ = 50 pF	Trimmer
C ₆ = 100 nF	} 500 V
C ₇ = 100 nF	
C ₈ = 100 μF	} Elektrolytkondensator
C ₉ = 1 nF	
C ₁₀ = 100 nF	} 500 V
C ₁₁ = 1 nF	
C ₁₂ = 100 nF	
C ₁₃ = 100 nF	
S ₂ = 1 x 4 Kontakte	

Röhren: 1 x EC 92, 1 x EF 80, 1 x ECC 81
mit Fassungen für gedruckte Schaltung.

Anleitung zum Entwurf und Bau eines Katodenstrahl-Oszillografen (7)

Bild 31 zeigt den Verlauf der Kippspannung an P_s und P_s' des Mustergerätes, aufgenommen mit einem Zweistrahloszillografen. Die Einstellung der Kippspannungen an P_s und P_s' geschieht am fertig eingebauten Kippenteil. Die Durchführung der Einstellung besprechen wir im Abschnitt: Abgleich und Einstellung des Oszillografen.

Es ist nun unmöglich, den Kippgenerator über eine längere Zeit genau auf einer bestimmten Frequenz zu halten. Hätten wir schon den Meßverstärker fertig und könnten wir P_k und P_k' mit der Meßspannung versorgen, so würden wir, auch bei genauer Einstellung der Kippfrequenz an P_6 , keine stehenden Bilder auf dem Bildschirm erhalten.

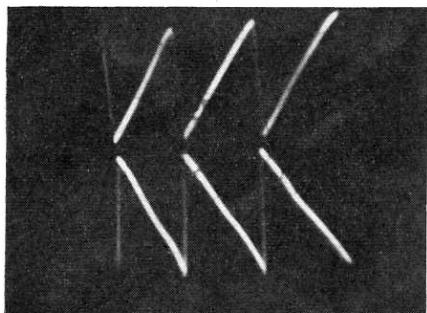


Bild 31
Oszillogramm der Kippkurven
an P_s und P_s'

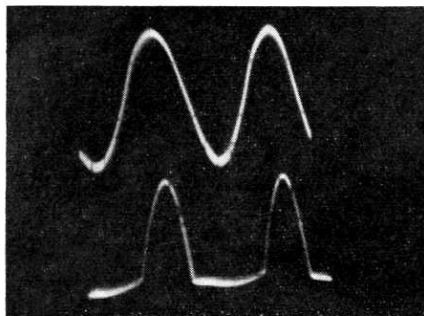


Bild 32
Synchronisierspannung.
oben: Eingangsspannung an S 3
unten: nach Gleichrichtung durch D 3

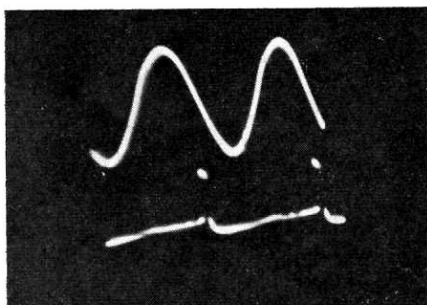


Bild 33
Synchronisierspannung.
oben: Eingangsspannung
unten: an a_1 der Röhre ECC 82

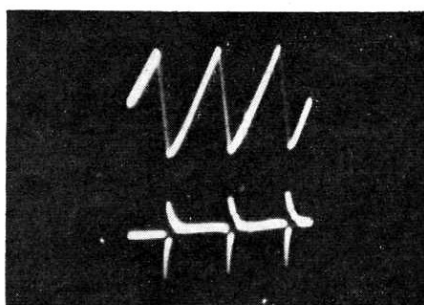


Bild 34
Oszillogramm.
oben: Kippkurve an P_s
unten: Impulse an g_3 der Röhre EF 80