

Magisches Auge – Magischer Fächer – Magisches Band

Die **Anzeigeröhre** gehört zur Gruppe der **Kathodenstrahlröhren**. Sie ist eigentlich eine Mehrfachröhre (Triode oder Pentode plus Anzeigeeinheit).

Erfunden wurde sie 1930 in den USA. In dieser Zeit wurde im Rundfunk der Überlagerungsempfänger (Superhet) mit Schwundregelung eingeführt. Mit dieser Technik konnten die Lautstärkeunterschiede von starken und schwachen Sendern ausgeglichen werden. Die Anzeige wurde direkt durch die vom Demodulator gelieferte Regelspannung angesteuert.

Schon damals existieren Zeigerinstrumente bzw. sogenannte „Schattenanzeiger“ (Das Licht einer Glühlampe wurde durch eine elektromagnetisch bewegte Blende auf eine Milchglasscheibe projiziert). Anzeigeröhren waren aber zu dieser Zeit offenbar günstiger herzustellen. Vielleicht waren sie aber auch angenehmer abzulesen (ohne Brille) oder einfach nur magischer...

Außer als **Abstimm-Anzeige** in Rundfunk- und Fernsehgeräten wurden die Röhren auch als **Pegelanzeige** in Verstärkern, Tonband- und Echogeräten sowie in Servicegeräten für die Radio- und Fernsehtechnik verbaut.

Die Anzeigeröhren wurden in rascher Abfolge weiterentwickelt.

Hier die wichtigsten **europäischen Typen** mit ihrem Erscheinungsjahr:

Auge:

1936 AM1, EM1
1938 EFM1, EFM11
1939 EM11, EM4
1946 EM34
1950 EM5
1952 EM35

Fächer:

1952 EM85
1953 EM80
1956 EM81

Band:

1957 EM84
1961 EM87

Sondertyp:

1957 EMM801
1964 EMM803
1967 EM800

Anmerkung: Anzeigeröhren mit einer Pentode als Vorverstärker erhielten die Typenbezeichnung EFM, diejenigen mit einer Triode müssten daher strenggenommen ECM heißen.



Beispiele für Anzeigeröhren, von links: Mag. Band, Fächer, Auge
(Bild aus wiki.utdx.de)

Die ersten Typen hatten ein rundes Anzeigefeld am Kopf der Röhre mit teilweise unterschiedlich empfindlichen Segmenten. Die Anzeige leuchtete mit grüner bis blau-grüner Farbe. Die runde Kappe in der Mitte deckte den rot leuchtenden Heizfaden ab. Wegen ihres Anzegebildes wurden sie „Magisches Auge“ genannt. Mit der Weiterentwicklung zum Magischen Fächer wanderte die Anzeige auf die Seite des Röhrenkolbens. Die Bezeichnung "Auge" wurde in der Umgangssprache allerdings beibehalten. Diese wurden wiederum durch die bandförmigen Anzeigen abgelöst.

Bei den magischen Augen und Fächern ist die Leuchtschicht auf dem metallischen Leuchtschirm aufgetragen, bei den Bändern als leitfähiger Belag innen auf dem Röhrenkolben. Letztere haben aufgrund einer anderen Beschichtung einen weniger starken Verschleiß der Leuchtschicht, welcher durch Elektronenbeschuss verursacht wird.

Bei den magischen Bändern waren Anzeigesystem und Triode nicht mehr intern verbunden. Die Triode konnte theoretisch für andere Zwecke verwendet werden.

(Ein seltenes Beispiel dafür war der Verstärker ‚Dynacord Excellent‘: Die nötige hohe Steuerspannung zur Direktansteuerung des Anzeigesystems wurde aus der 100V-Wicklung des Ausgangstransformators gewonnen, die Triode diente zu Verstärkerzwecken.)

Eine Regeneration der verbrauchten Leuchtschicht ist nicht möglich. Es gibt Versuche, den Leuchtschirm mit einer durch eine Verdopplerschaltung erzeugten, sehr hohen, außerhalb der Spezifikation liegenden Spannung zu betreiben, um einer eigentlich unbrauchbaren Röhre noch etwas Leuchtkraft zu entlocken. Verbunden damit ist allerdings eine Reduzierung der Empfindlichkeit.



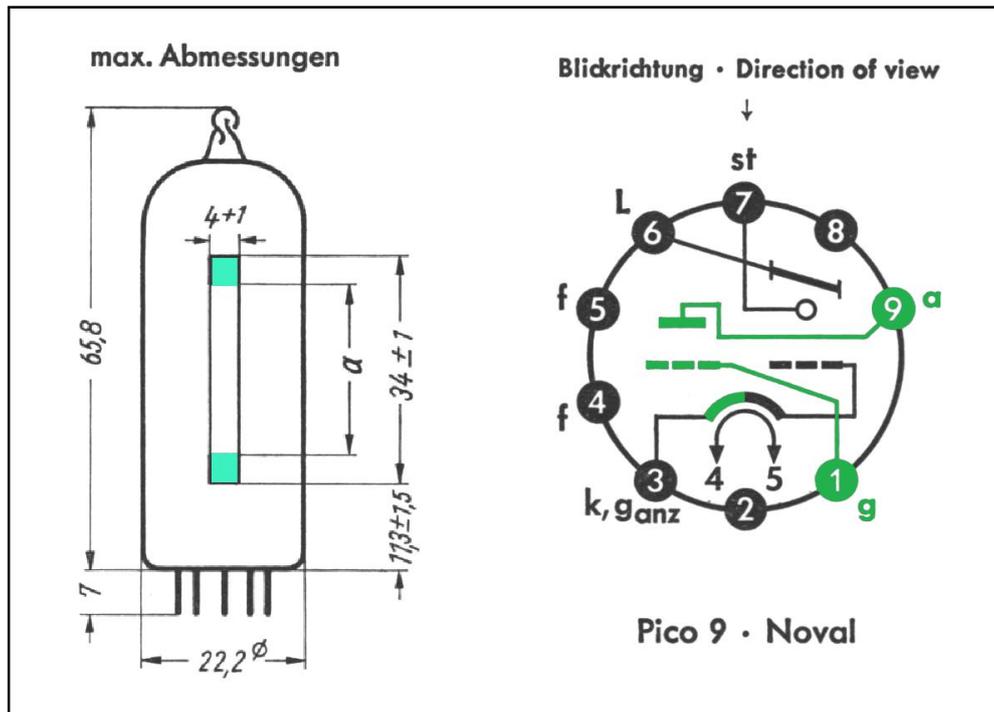
DM71

Eine Sonderform stellt die Subminiaturröhre DM70/DM71 (ab 1952) dar, die mit geringster Heizleistung und einer Betriebsspannung von etwa 70V für Batteriegeräte bestimmt war. Die Anzeige hatte die Form eines Ausrufezeichens, manchmal auch "Magischer Strich" oder „Schlüsselloch-Anzeige“ genannt. Der interne Aufbau war sehr einfach, das Funktionsprinzip kann als Vorläufer des Vakuum-Fluoreszenzdisplays (VFD) angesehen werden.

Die Anzeigeröhre EM84

Im Folgenden wollen wir uns etwas ausführlicher mit der **EM84** befassen, die ab 1957 in sehr vielen Geräten eingebaut wurde. Diese Röhre ist auch heute noch zu akzeptablen Preisen erhältlich.

Die später entwickelte empfindlichere EM87 konnte die EM84 allerdings nicht verdrängen. Die beiden Röhren sind zwar pinkompatibel, die EM87 hat aber einen etwas höheren Heizstrom und benötigt einen anderen Anodenwiderstand.



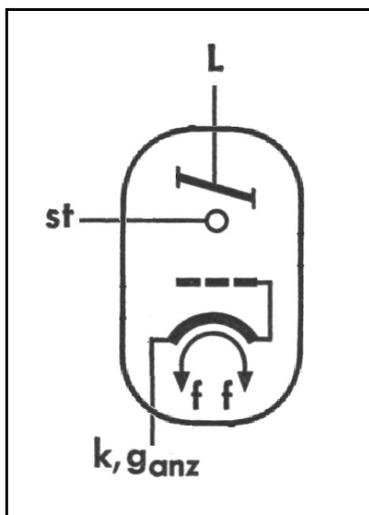
Die Röhre **EM84**

gemeinsame Elektroden:

k Kathode
f Heizung

Elektroden der Triode (grün markiert):

g Steuergitter
a Anode



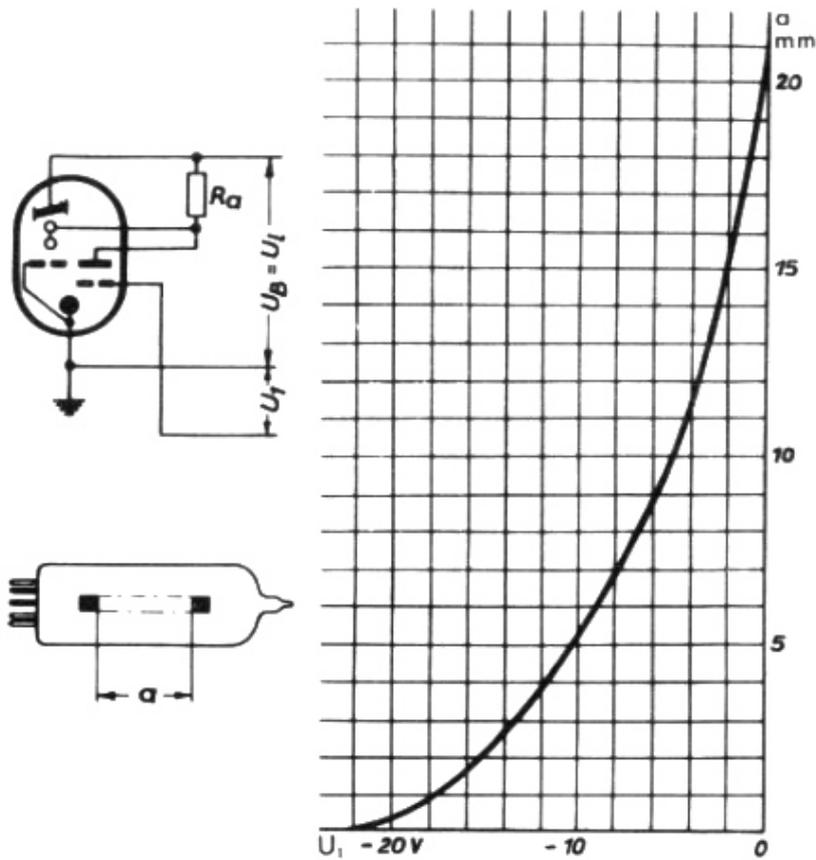
Das Schaltbild der Anzeigeröhre ist zunächst etwas verwirrend aufgrund der vielen Elektroden. Das liegt daran, dass zwei unabhängige Röhrensysteme gemeinsam dargestellt werden.

Daher ist im nebenstehenden Bild nur der Anzeigeteil dargestellt.

Elektroden des Anzeige-Systems:

L Leuchtschirm
st Steuersteg
k Kathode
ganz Raumladegitter

Das Raumladegitter der Anzeigeröhre hat keine Steuerfunktion. Es ist intern mit der Kathode verbunden.



Der Zusammenhang zwischen der Gitterspannung und dem Abstand der Leuchtbalken, auch Schattenlänge genannt, ist nicht linear. Die nebenstehende Grafik zeigt die genaue Zuordnung.

Die Ansteuerung geschieht mit einer **negativen** Spannung.

Schattenlänge als Funktion der Gitterspannung



Im Gegensatz zum Drehspulinstrument ist die Anzeigeröhre kein Präzisionsteil. Daher ist sie auch fast nie mit einer Skala versehen worden

EM 84 in einem Rundfunkgerät

Funktionsprinzip

Bei allen im Folgenden genannten Spannungswerten wurden die Herstellerangaben zugrunde gelegt.

Die Anzeigeröhre besitzt eine geheizte Kathode, der positiv geladene Leuchtschirm bzw. die Leuchtschicht wirkt als Anode. Der Leuchtschirm ist an die Betriebsspannung angeschlossen. Zwei Ablenk- oder Steuerstege lenken die Elektronen auf ihrem Weg von der Kathode zur Anode ab. Der Spannungsbereich, mit dem die Steuerstege angesteuert werden, ist sehr groß, daher ist die in die Röhre integrierte Triode als vorgegeschaltete Verstärkerstufe nötig.

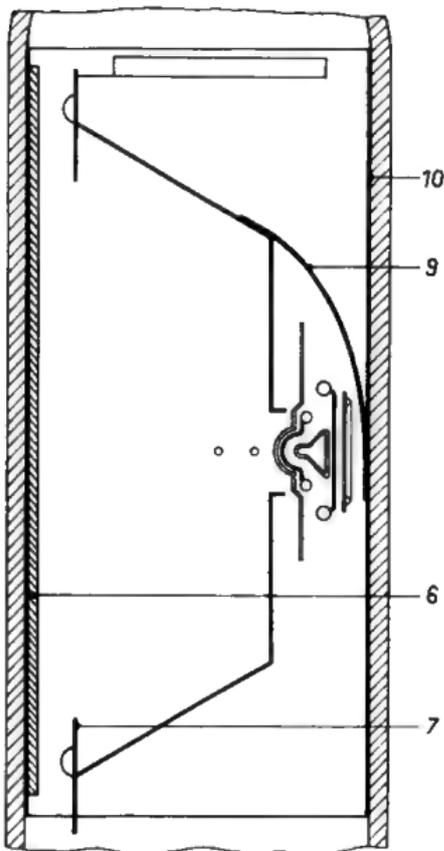
Bei einer Gitterspannung von 0V (Ruhezustand) ist die Triode voll durchgesteuert. Die Anodenspannung und damit auch die Steuersteg-Spannung liegen bei niedrigen Werten (ca. 50V). Bei diesem Zustand hat die Schattenlänge (Abstand der Anzeigebalken) den größten Wert.

Nimmt die Gitterspannung negative Werte an, steigt die Anodenspannung und die Schattenlänge wird kleiner. Erreicht die Gitterspannung -22V (EM87: -10V), ist die Triode voll gesperrt. Die Anodenspannung ist jetzt auf ihrem höchsten Wert. Dieser liegt aufgrund des Stroms, den der mit der Anode verbundene Steuersteg weiterhin aufnimmt, etwas unterhalb der Betriebsspannung. Die Anzeigebalken sind nun vollkommen geschlossen. Es kann auch eine geringe Überlappung auftreten (besonders heller Bereich). Das kann als Indiz für eine Übersteuerung ausgewertet werden.

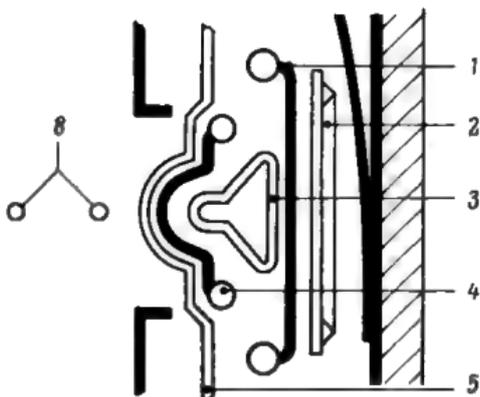
Durch Absenken der Leuchtschirmspannung unter den Wert der höchsten erreichbaren Anodenspannung kann der Bereich der überlappenden Anzeigebalken auf etwa 2mm vergrößert werden. Das kann z.B. durch einen Vorwiderstand am Anschluss des Leuchtschirms geschehen.



überlappende Anzeigebalken



**Bild 3. Schematische
Schnittdarstellung des
Systems der EM 84**



**1, 2, 3 = Steuergitter, Anode und
Katode**

4 = Raumladegitter

5 = Schlitzblende

6 = Leuchtschicht

7 = Maske am Schirmkasten

8 = Ablenkstege

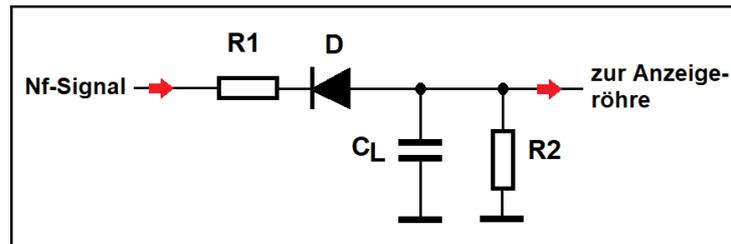
9 = Kontaktfeder

10 = Leitschicht

Ansteuerung

Die EM 84 benötigt, wie erwähnt, eine Ansteuerspannung im Bereich von 0...-22V. Während in Rundfunkempfängern diese Spannung in Form der Regelspannung direkt zur Verfügung steht, muss sie zur Anzeige von Nf-Pegeln durch Halbwellengleichrichtung und Glättung der Nf-Wechselspannung erzeugt werden.

Für einen Spitzenwert von -22V ist ein Pegel von immerhin $16V_{\text{eff}}$ nötig. Falls die zur Verfügung stehende Amplitude nicht ausreicht, ist eine Gleichrichtung mit Spannungsverdopplung erforderlich.



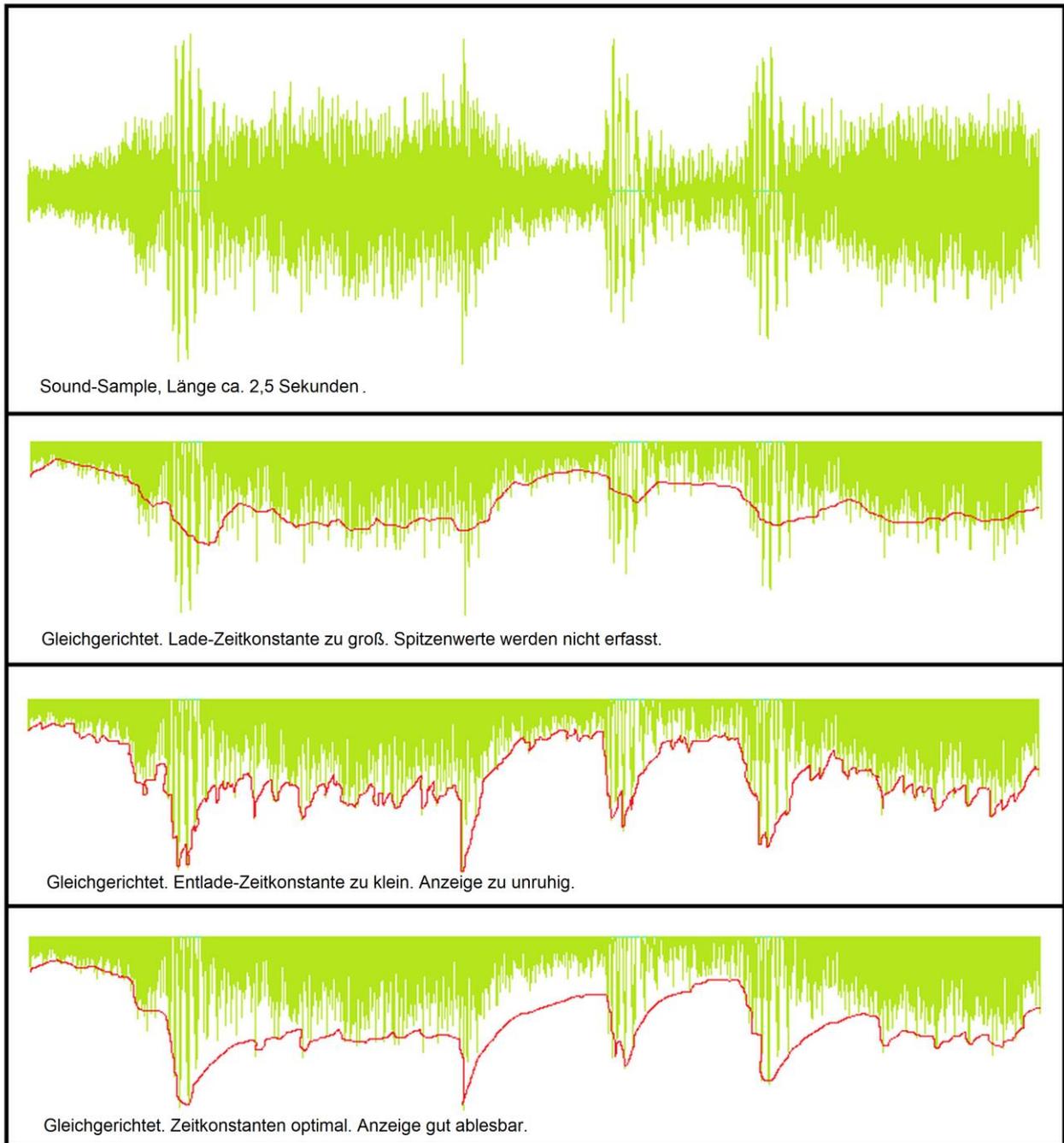
Prinzip der Gleichrichtung

Die Gleichrichtung geschieht mit der Diode D. In den Anfangszeiten war das ein Selen-Einweggleichrichter, später eine Germanium-Diode. In der Schaltung entstehen zwei Zeitkonstanten *):

1. **Auflade-Vorgang:** Während die Signalspannung ansteigt, wird der Ladekondensator CL über den Widerstand R1 aufgeladen. Dabei bestehen zwei Vorgaben: Die Anzeige soll auch kurzzeitige Spitzenwerte erfassen, daher darf R1 nicht zu groß sein, weil sonst CL nicht schnell genug aufgeladen wird. Andererseits darf der Ladestrom durch R1 den speisenden Schaltungsteil nicht merklich belasten und genau diese Vorgabe bestimmt letztlich den Wert von R1. R1 und R2 bilden aber auch einen Spannungsteiler. Damit die Ladespannung von CL möglichst groß werden kann, muss R2 wesentlich größer als R1 gewählt werden. Bei der Bestimmung der **Lade-Zeitkonstante** dürfen wir daher R2 vernachlässigen und berechnen diese zu **$R1 \times CL$** . Die tatsächliche Zeitkonstante kann sich durch den Innenwiderstand der speisenden Schaltung noch etwas erhöhen.
2. **Entlade-Vorgang:** Sinken die Spitzen des Nf-Signals unter die Ladespannung von CL, wird dieser über R2 entladen. Diese Zeitkonstante muss ausreichend groß gewählt werden, dass die Anzeigebalken sich nicht zu hektisch bewegen und ein Ablesen erschweren. Anders als ein Zeigerinstrument hat eine Anzeigeröhre nämlich keinerlei Trägheit. CL und R2 sollten so gewählt werden, dass die **Entlade-Zeitkonstante** von **$R2 \times CL$** im Bereich von 0,1 bis 1 Sekunde liegt. R1 spielt für die Entlade-Zeitkonstante keine Rolle, denn während des Entladens ist D gesperrt. Achtung: R2 ist auch gleichzeitig der Gitterableitwiderstand der Anzeigeröhre.

*) **Zeitkonstante:** Die Zeit, in der sich der Kondensator auf $1 - 1/e = 63,2\%$ der Ladespannung aufgeladen bzw. bis auf $1/e = 36,8\%$ entladen hat.

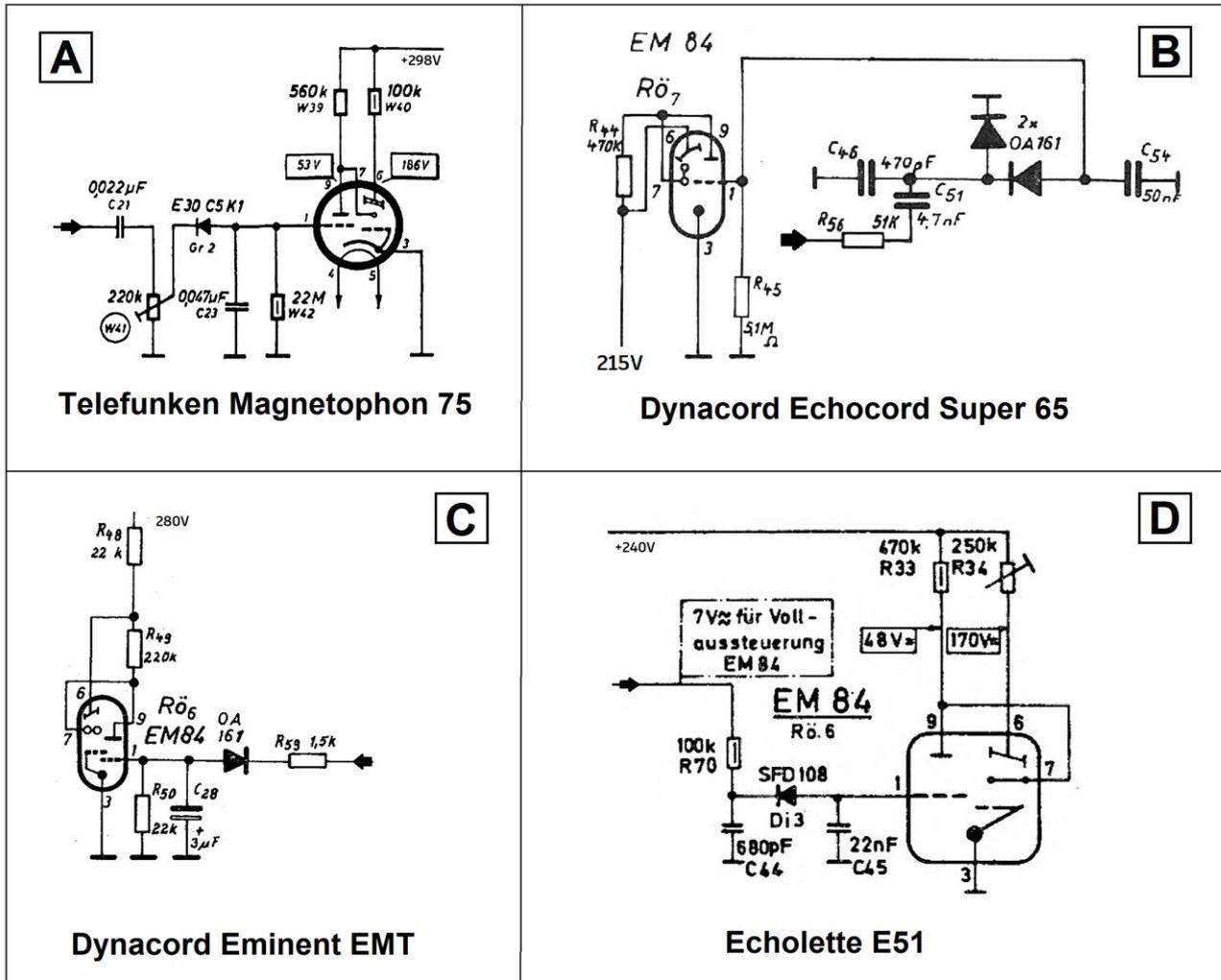
Wie wirkt sich die Wahl der Zeitkonstanten auf das Verhalten der Anzeige aus?



Das oberste Bild zeigt einen kurzen Pegel-Verlauf aus einer Audiodatei (Wer erkennt den Song?). Die drei weiteren stellen (konstruierte) Verläufe der Ansteuerspannung für die Anzeigeröhre dar. Dabei wurden unterschiedlich konzipierte Zeitkonstanten angenommen. In der untersten Darstellung ist gut erkennbar, dass Pegelspitzen gut erfasst werden, die Anzeigebalken aber nicht zu hektisch reagieren.

Wenn kurze Peaks von der Anzeige nicht erfasst werden, kann das leicht zu einer Übersteuerung führen.

Schaltungsbeispiele



A: Das **Magnetophon 75-15** war ein Heim-Tonbandgerät, welches ab 1959 hergestellt wurde. Das Eingangssignal der Anzeigeröhre wird am Aufsprechverstärker abgenommen. Der Abgleich für die Aussteuerung erfolgt mit W41, Gr 2 kappt die positive Halbwelle, das Glättungsglied besteht aus C22 und W42. Mit den gewählten Werten ergibt sich eine relative hohe Entlade-Zeitkonstante von einer Sekunde. Das Öffnen der Anzeigebalken nach der Anzeige eines hohen Pegels verläuft eher gemächlich. Die Schaltung ist sehr hochohmig aufgebaut, damit der Ausgang des Aufsprechverstärkers möglichst wenig belastet wird. Der Widerstand W40 setzt die Leuchtschirm-Spannung herab, um eine Übersteuerungsanzeige durch Überlappung der Anzeigebalken zu ermöglichen. Nach diesem Muster waren praktisch alle Aussteuerungs-Anzeigen von Röhren-Tonbandgeräten konstruiert.

B: Dynacord Echocord Super 65. Die Pegelanzeige des Bandechos wird direkt vom Aufsprechverstärker angesteuert. Wegen des zu niedrigen zur Verfügung stehenden Pegels wird mit C46 und den beiden Dioden eine Gleichrichtung mit Spannungsverdopplung realisiert. Die Zeitkonstante von R45 und C54 beträgt 250msec.

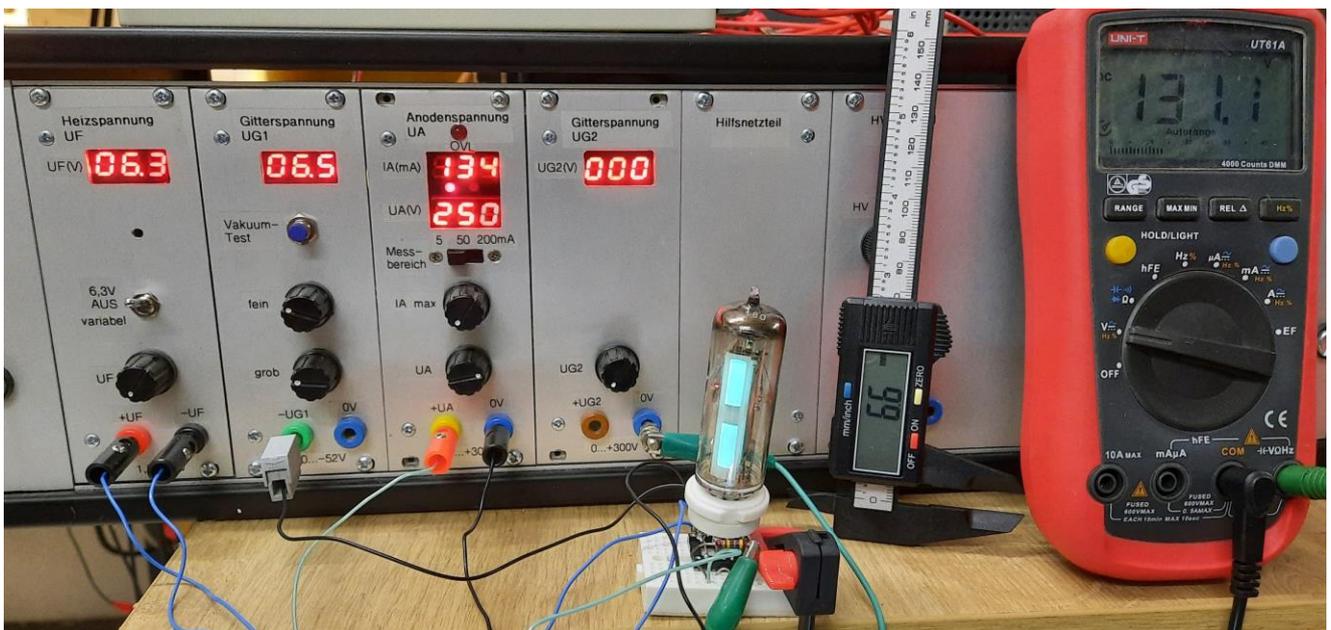
C: Dynacord Eminent EMT. Die Zeitkonstante aus C28 und R50 beträgt nur 70msec. Diese Anzeige wird relativ „nervös“ reagieren. In diesem Beispiel fällt auf, dass die maßgeblichen Widerstände des Glättungsglieds vergleichsweise niederohmig sind. Das ist möglich, weil die Anzeigeröhre vom 4Q-Anschluss des Ausgangsübertragers angesteuert wird.

D: Echolette E51. Prinzipiell eine Schaltung ähnlich Beispiel A. Hier sucht man aber den Entladewiderstand für den Kondensator C45 vergeblich. Die Entlade-Zeitkonstante ist Unendlich, einmal geschlossene Anzeigebalken würden sich nicht mehr öffnen. Echolette hat diese Schaltung bei allen Bandechos verwendet. Warum funktioniert sie trotzdem? Die Antwort liegt in den verwendeten Gleichrichter-Dioden: Ihr Sperrstrom ist so groß, dass er im eigentlich gesperrten Zustand den Glättungskondensator C45 wieder entlädt. Beim Ersatz der Diode durch einen modernen Typ muss daher unbedingt ein Entlade-Widerstand (etwa 3,3M) nachgerüstet werden!

Testaufbau - Aufnahme der Messwerte

Nach so viel Theorie sollen nun die in der Literatur angegebenen Werte an einer realen Anzeigeröhre nachvollzogen werden. Hierzu wurde eine Telefunken EM84 mit etlichen Betriebsstunden in einem Testaufbau durchgemessen. Dabei wurden die in den Datenblättern als Kenndaten angegebenen Werte verwendet:

- $U_b = 250V$ (Betriebsspannung)
- $U_L = 250V$ (Leuchtschirmspannung)
- $R_a = 470k\Omega$ (Anodenwiderstand)



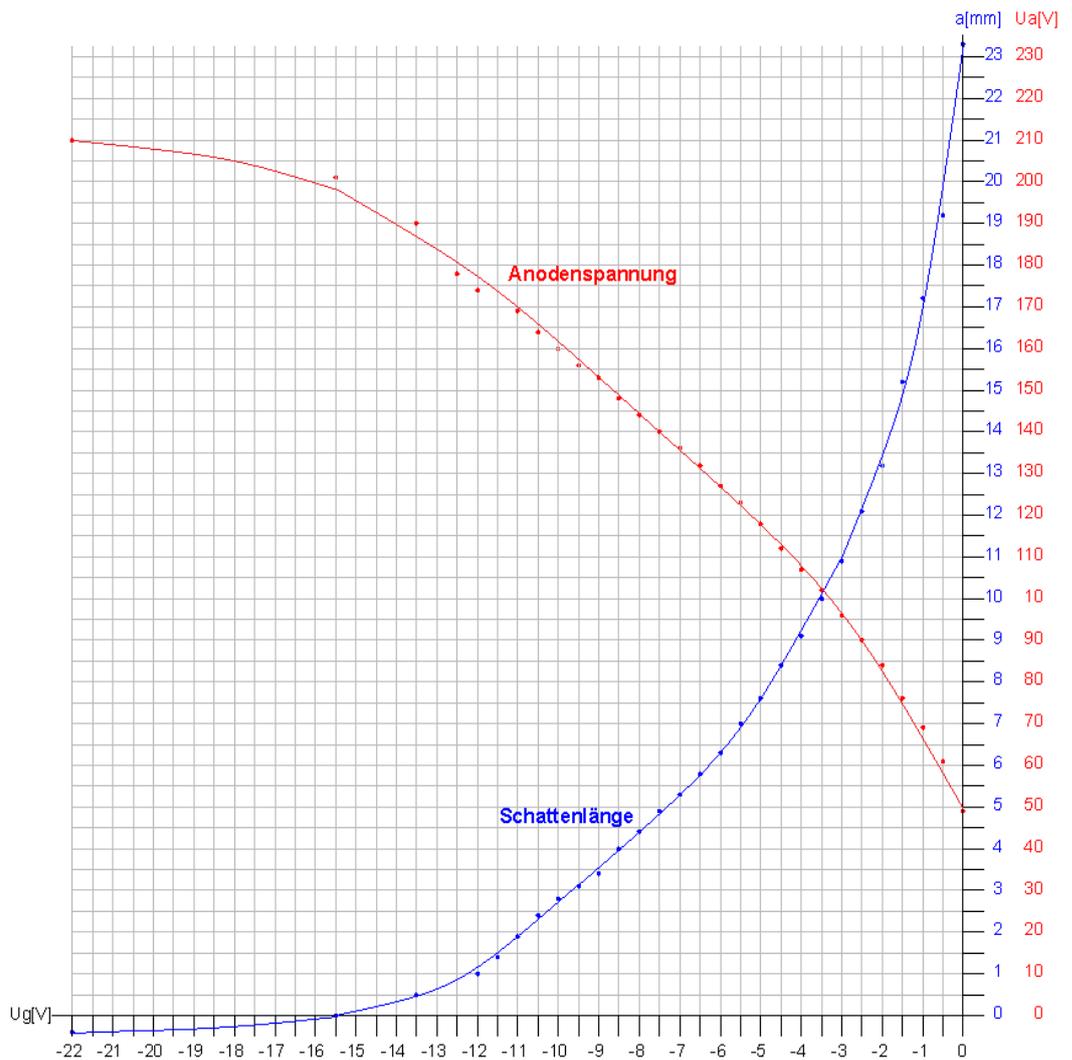
Messaufbau

Die Gitterspannung wurde in 0,5V-Stufen von 0V bis -22V variiert und zu jedem Wert die Anodenspannung sowie die mit einer Schieblehre gemessene Schattenlänge notiert. Es zeigte sich, dass die Anzeige bei kleinen Gitterspannungen besonders empfindlich reagiert und die Balken bereits bei einer Gitterspannung von -15,5V geschlossen waren. Bei einer weiteren Erhöhung bis -22V stellte sich eine Überlappung der Anzeigebalken von ca. 0,4mm ein. Die Anodenspannung bewegte sich dabei im Bereich von 49V bis 210V. Die Summe von Anoden-, Steuersteg- und Leuchtschirmstrom lag im Bereich von 1,2mA bis 1,6mA. Eine noch größere negative Gitterspannung bewirkte keine weitere Änderung der Anodenspannung mehr.

U_g: Gitterspannung
 U_a: Anodenspannung
 a: Schattenlänge

U _g [V]	U _a [V]	a[mm]
0	49	23,5
-0,5	61	19,2
-1,0	69	17,2
-1,5	76	15,2
-2,0	84	13,2
-2,5	90	12,1
-3,0	96	10,9
-3,5	102	10,0
-4,0	107	9,1
-4,5	112	8,4
-5,0	118	7,6
-5,5	123	7,0
-6,0	127	6,3
-6,5	132	5,8
-7,0	136	5,3
-7,5	140	4,9
-8,0	144	4,4
-8,5	148	4,0
-9,0	153	3,4
-9,5	156	3,1
-10,0	160	2,8
-10,5	164	2,4
-11,0	169	1,9
-11,5	174	1,4
-12,0	178	1,0
-13,5	190	0,5
-15,5	201	0,0
-22,0	210	-0,4

Tabelle der Messwerte



Messwerte tabellarisch und graphisch

Es zeigte sich, dass – zumindest beim durchgemessenen Exemplar – eine Gitterspannung von -15,5V zum Schließen der Anzeigebalken ausreicht. Diese Röhre ist somit deutlich empfindlicher als es das Datenblatt angibt.

Weitere Versuche ergaben, dass die Leuchtschirmspannung folgende Parameter maßgeblich beeinflusst:

- Schattenlänge (a) im Ruhezustand (U_g = 0V)
- Wert der Gitterspannung (U_g) für Vollaussteuerung (a = 0mm)
- Länge der Überlappung (a_ü) bei Übersteuerung (U_g > -22V)

Eventuell lässt sich auch durch Variation des Anodenwiderstands die Empfindlichkeit beeinflussen (dies wurde im Rahmen des Testaufbaus nicht überprüft).

UL: Leuchtschirmspannung
 Ug: Gitterspannung
 a: Schattenlänge
 aü: Überlappung

UL[V]	a[mm] bei Ug=0V	Vollaussteuerung bei Ug=[V]	aü[mm] bei Ug= -22V
175	15,8	7,2	2,0
200	18,8	9,5	1,8
225	20,9	12,3	1,0
250	23,5	15,7	0,4
275	25,5	28,1	keine
300	26,5	nicht möglich	keine

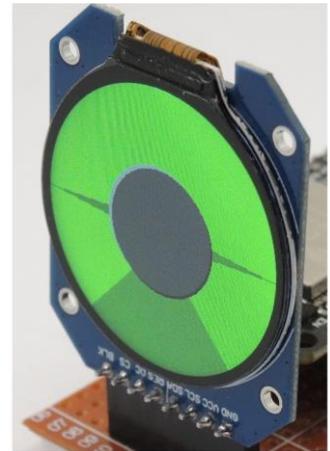
Messwerte bei Ua=250V

Erkenntnisse aus der Messung:

- Die Schattenlänge im Ruhezustand ($U_g = 0V$) ist ausschließlich von der Leuchtschirmspannung UL abhängig.
- Die nötige Gitterspannung für Vollaussteuerung ($a = 0mm$) reduziert sich durch Verringerung von UL. **Die Empfindlichkeit der Röhre kann auf diese Weise erhöht werden.** (siehe auch Schaltungen A und D der Schaltungsbeispiele).
- Bei $UL < 250V$ wird die Überlappung ($a_{\ddot{u}}$) der Leuchtbalken bei Übersteuerung größer (bis max. 2,0mm).
- Bei $UL < 200V$ nimmt die Helligkeit der Anzegebalken deutlich ab.

Anmerkungen

- Der englische Hersteller ‚Selmer UK‘ baute eine EM84 als optischen Anzeiger für die Tremolo-Frequenz in die Front einiger Verstärkermodelle ein.
- Im Zeitraum von ca. 1957 bis 1964, als in Tonbandgeräten Transistoren die Röhren ablösten, verblieb in manchen Geräten die Anzeigeröhre als letzte Röhre, sogar die DM71 bei portablen Batteriemodellen, obwohl die Erzeugung der Heiz- und Anodenspannung einigen Aufwand bedeutete. Erst nach und nach wurde sie durch einfache Drehspulinstrumente aus Japan ersetzt.
- Mit einem Arduino und einem runden LCD-Modul GC9A01 lässt sich ein magisches Auge EM34 simulieren. (siehe Bild)



Stand 13.10.2023 W. Grimm
 korr. 16.03.2024

Quellenangabe:

- Wikipedia
- www.radiomuseum.org
- Telefunken-Datenblatt EM84
- Lorenz-Datenblatt EM84
- Funkschau Heft 5 1961
- Prof. Jürgen Plate: „Das magische Auge“, veröffentlicht auf www.netzmafia.de. Die Website existiert leider nicht mehr.
- electroagenda.com/en/magic-eye-emulation-with-arduino

Heruntergeladen von...

bandechno.de