

# Gittervorspannung durch Gitterableitwiderstand erzeugt

## Anwendung

Die durch den Gitterstrom an einem Gitterableitwiderstand erzeugte Gittervorspannung ermöglicht es, die Kathode der indirekt geheizten Röhre unmittelbar an Masse zu legen. Damit läßt sich der Isolationsbrumm vermeiden, der in Nf-Eingangsstufen stören könnte.

Diese Gittervorspannung beträgt im allgemeinen etwa  $-0,6\text{ V} \dots -1,2\text{ V}$ . Sie erlaubt damit in Nf-Vorstufen mit Signal-Steuer Spannungen bis zu etwa  $200\text{ mV}$  Effektivwert zu arbeiten. Übersteigt der Spitzenwert der Signalspannung diese Gittervorspannung, so wird durch Spitzengleichrichtung eine zusätzliche Gittervorspannung erzeugt.

## Elektronenübergang von der Kathode auf das Gitter

Über eine äußere leitende Verbindung zwischen Gitter und Kathode einer Elektronenröhre fließt auf Grund der thermischen Elektronenemission der Kathode ein Strom. Diesen nennt man **Gitter-Anlaufstrom**. Er hat seine Ursache darin, daß die Elektronen aus der geheizten Kathode mit von Null verschiedenen Geschwindigkeiten austreten.

Einer Elektronengeschwindigkeit im Vakuum kann eine Spannung zugeordnet werden. Die Geschwindigkeit  $v$  eines durch die Spannung  $U$  von der Geschwindigkeit Null aus beschleunigten Elektrons ist nämlich gegeben mit:

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{q}{m} \cdot U} \quad \text{oder} \quad \frac{v}{\text{km/s}} \approx 594 \sqrt{\frac{U}{\text{V}}}$$

$$q \text{ Elementarladung} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s}$$

$$m \text{ Ruhemasse des Elektrons} = 0,91 \cdot 10^{-27} \text{ g} = 0,91 \cdot 10^{-31} \frac{\text{W} \cdot \text{s}^3}{\text{cm}^2}$$

Auf Grund ihrer Austrittsgeschwindigkeiten können die von der Kathode emittierten Elektronen nicht nur bei fehlender Spannung zwischen Gitter und Kathode, also bei kurzgeschlossener Gitter-Kathoden-Strecke, nach dem Gitter übergehen, sondern sogar gegen geringe negative Gitterspannungen anlaufen.

## Messung der Abhängigkeit des Anlaufstromes von der Gitterspannung

**Bild 1** zeigt die Meßschaltung. Voraussetzung für einwandfreie Ergebnisse ist, daß auf den Strommesser keine nennenswerte Teilspannung entfällt. Hier interessieren Ströme bis zu etwa  $100\text{ nA} = 10^{-7}\text{ A} = 0,1\text{ }\mu\text{A}$  und Spannungen ab etwa  $0,3\text{ V}$ . Dem entspricht ein Mindestwert des Gleichstrom-Eingangswiderstandes der Röhre von  $3\text{ M}\Omega$ . Der Strommesserwiderstand muß hiergegen klein sein, was schon mit etwa  $100\text{ k}\Omega$  ausreichend erfüllt ist.

**Bild 2** veranschaulicht eine mit der Schaltung nach **Bild 1** gewonnene Gitterstrom-Kennlinie. Der Gitterstrom steigt mit abnehmendem Betrag der negativen Gitterspannung exponentiell an. Exponentieller Anstieg bedeutet, daß jede Verminderung der negativen Gitterspannung um jeweils den gleichen Betrag einen Stromanstieg um jeweils den gleichen Faktor bewirkt.

Wählt man als solchen Faktor die Zahl  $e = 2,718\dots$ , so bekommt man als zugehörigen Betrag der Gitterspannungsverschiebung die „Temperaturspannung“  $U_T$ .

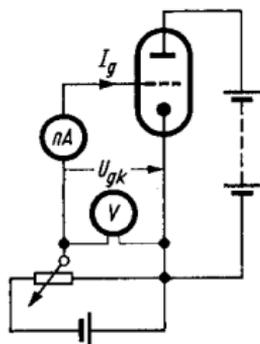


Bild 1

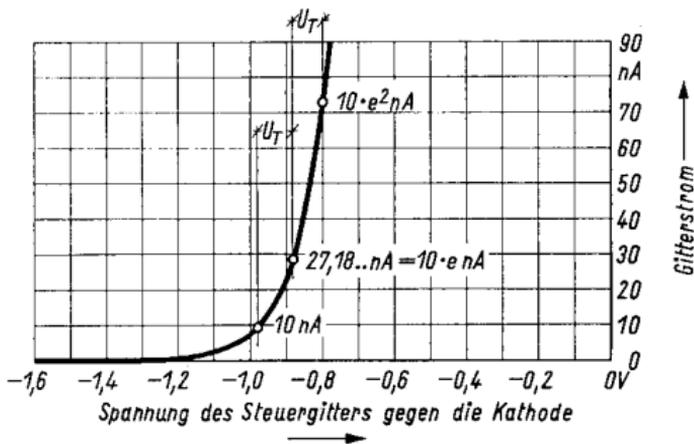


Bild 2

Die **Temperaturspannung**  $U_T$  ist eine Gleichspannung mit dem Wert, der erforderlich wäre, um ein Elektron auf die Geschwindigkeit  $v_T$  zu beschleunigen. Dabei bedeutet  $v_T$  die zum Maximum der Häufigkeitsverteilung gehörende Emissiongeschwindigkeit der Elektronen, die aus einer Kathode bei deren Temperatur  $T$  emittiert werden. Es ist

$$v_T^2 = 2 \cdot \frac{k}{m} \cdot T \quad (\text{Emission})$$

$$v_T^2 = 2 \cdot \frac{q}{m} \cdot U_T \quad (\text{Beschleunigung})$$

Daraus folgt:

$$U_T = \frac{k \cdot T}{q}$$

mit

- $k$  Boltzmannkonstante
- $m$  Elektronen-Ruhemasse
- $q$  Elektronenladung

Mit  $U_T$  und mit

$I_{sat}$  Sättigungsstrom

ist der zu der Gleichspannung  $U$  (hier  $U_{gk}$ ) gehörende Gleichstrom  $I$  (hier  $I_g$ )

$$I_g = I_{sat} \cdot \exp \frac{U_{gk}}{U_T} \quad \text{für } U_{gk} < 0$$

Die hier in Betracht kommenden Werte der Temperaturspannung liegen etwa zwischen 0,09 V und 0,15 V.

## Gitterstrom und Gitterableitwiderstand

In der Schaltung nach Bild 3 liegt zwischen Gitter und Kathode der ohmsche Gitterwiderstand  $R_g$ . Für ihn ist der Zusammenhang zwischen Spannung und Strom linear, wozu als Kennlinie eine Gerade gehört.

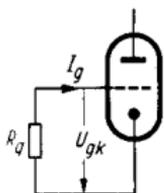


Bild 3

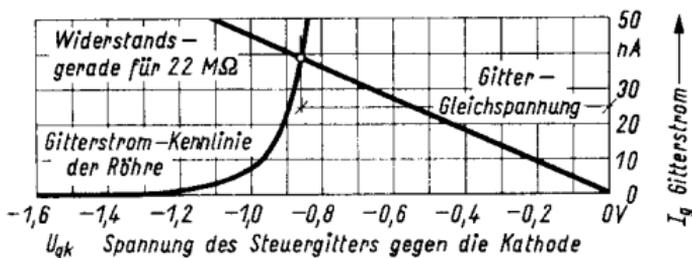


Bild 4

Bild 4 enthält außer dem unteren Teil der Gitterstromkennlinie von Bild 2 die Widerstandsgerade für einen Widerstand  $R_g$  von  $22 \text{ M}\Omega$ . Daß für diese Widerstandsgerade der Strom positiv und die Spannung negativ eingetragen ist, folgt aus den mit den Richtungspfeilen von Bild 1 und 3 festgelegten Zählrichtungen.

Widerstandsgerade und Gitterstromkennlinie der Röhre schneiden sich. Zum Schnittpunkt gehört die Gittergleichspannung, die hier aufgrund des Gitterstromes als Gittervorspannung der Röhre auftritt.

## Gitterstrom-Kennlinien der gebräuchlichen Röhren

Bild 5 enthält Beispiele für die mittleren Gitterstrom-Kennlinien der z. Z. wichtigsten, in

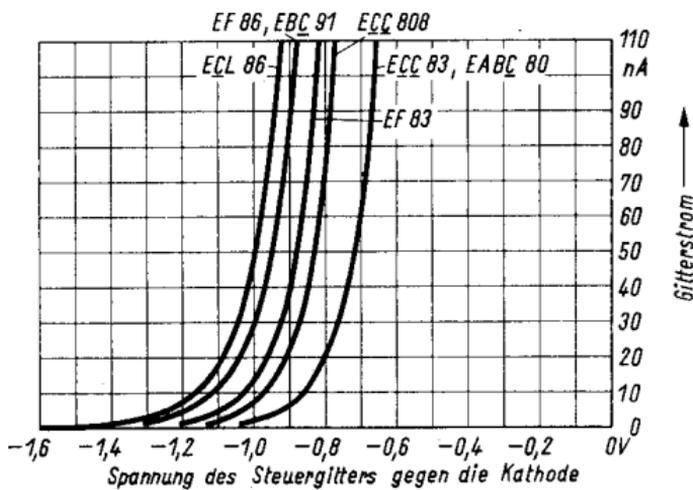


Bild 5

Anfangsstufen benutzten Röhren. Die unterschiedliche Lage der Kennlinien ist bedingt

durch Verschiedenheiten des Aufbaus der Röhrensysteme, der Materialien und des Wertes der angewendeten Anodenspannung.

**Bild 6** zeigt diese Kennlinien für logarithmischen Strommaßstab.

Man verwendet Gitterableitwiderstände mit sehr hohen Werten (üblicherweise  $10\text{ M}\Omega$  und  $22\text{ M}\Omega$ ). Die dafür geltende aus den „Technischen Daten“ zu entnehmende obere Grenze (z. B.  $22\text{ M}\Omega$ ) ist durch den Isolationswiderstand zwischen Anode und Steuergitter bzw. Schirmgitter und Steuergitter gezogen.

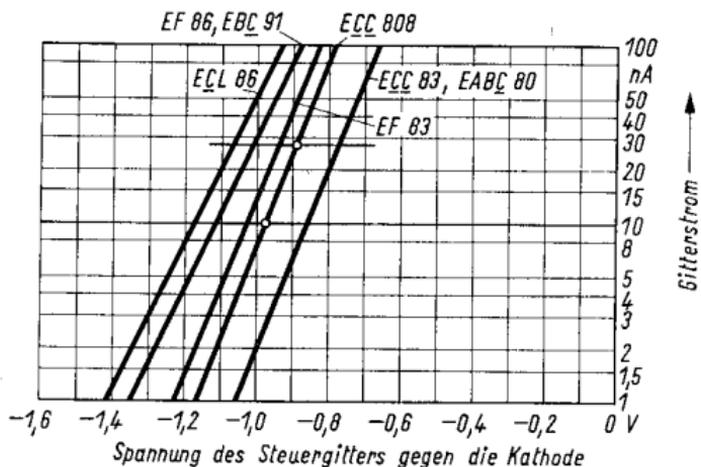


Bild 6

Für die Gitterstrom-Kennlinien gelten erhebliche Exemplarstreuungen. Diese sind bedingt durch die **Kontaktspannung** des Gitters gegen die Kathode. Darunter versteht man hier die durch die Elementarladung geteilte Differenz zwischen den in Elektronenvolt gemessenen Austrittsarbeiten für die Elektronen aus Kathode und Gitter. Die Austrittsarbeit der Elektronen aus der Kathode ist einigermaßen definiert. Die Austrittsarbeit der Elektronen aus dem Gitter wird durch Ablagerungen auf der Oberfläche der Gitterdrähte beeinflusst. Solche Ablagerungen ergeben sich z. B. beim Gettern der Röhre.

### Betrieb einer Stufe mit gitterstrombedingter Vorspannung

Der Gitterstrom hängt von der Gitterspannung exponentiell ab. Der differentielle Eingangswiderstand der Röhre ist somit bei weitem nicht konstant. **Bild 7** zeigt, wie man

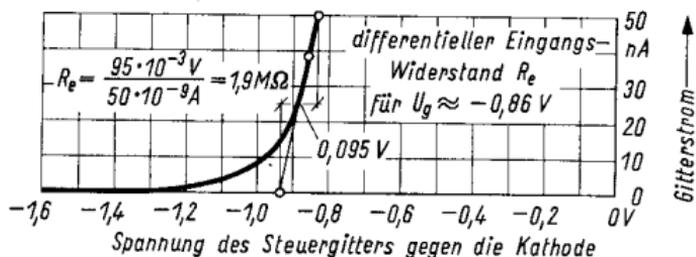


Bild 7

diesen Signal-Eingangswiderstand aus der Gitterstrom-Kennlinie für jeweils einen ihrer Punkte ermitteln kann.

Wegen des exponentiellen Verlaufes der Gitterstromkennlinie ist der differentielle Eingangswiderstand der Röhre etwa gleich dem Verhältnis der „Temperaturspannung“ zum Gittergleichstrom. Der Gittergleichstrom steigt mit abnehmendem Betrag der (negativen) Gitterspannung exponentiell an. Folglich hängt der Eingangswiderstand der Röhre für den Fall, in dem die Gittervorspannung lediglich durch einen Gitterwiderstand erzeugt wird, im Prinzip entsprechend **Bild 8** mit der Gitterspannung zusammen.

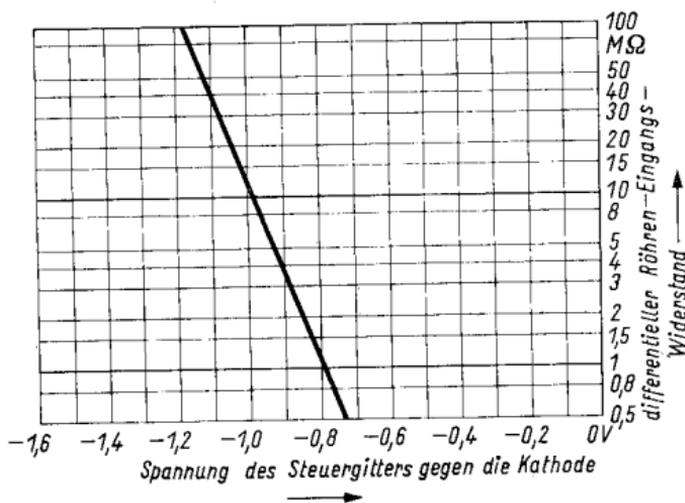


Bild 8

Faßt man die Signalquelle als Ersatz-Stromquelle auf, so liegen ihrem inneren Leitwert, also dem Kehrwert ihres Quellwiderstandes, sowohl der hier meistens vernachlässigbare

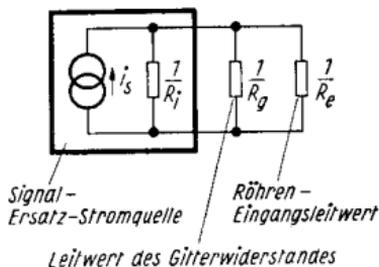


Bild 9

Leitwert des Gitterwiderstandes wie auch der Eingangsleitwert der Röhre parallel (**Bild 9**). Um durch den nichtlinearen Eingangsleitwert der Röhre keine übermäßig großen Verzerrungen zu bekommen, muß man den Innenleitwert der Signalquelle so

groß wählen, daß Schwankungen des Röhren-Eingangsleitwertes auf den Gesamtleitwert der Parallelschaltung nur einen geringen Einfluß haben.

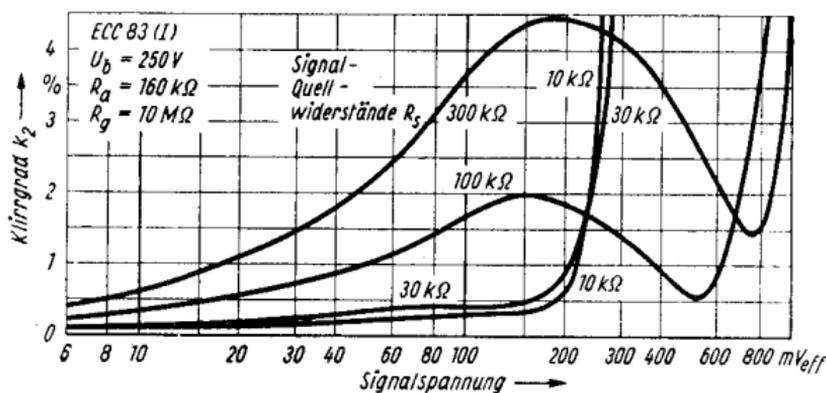


Bild 10

### Meßergebnisse

Die Bilder 10 ... 15 zeigen Beispiele für Meßergebnisse am System I der Röhre ECC 83 bei einer Anodenspeisespannung  $U_b = 250$  V, einem Anodenwiderstand  $R_a = 160$  k $\Omega$

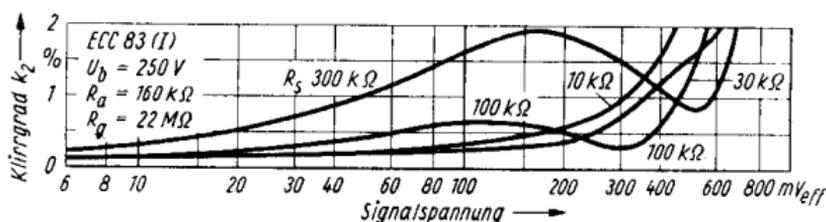


Bild 11

und einem Gitterwiderstand  $R_g = 10$  M $\Omega$  bzw. 22 M $\Omega$ . Jede der Messungen ist für vier Quellwiderstände (Innenwiderstände der Signalquelle), nämlich  $R_s = 300$  k $\Omega$ , 100 k $\Omega$ , 30 k $\Omega$  und 10 k $\Omega$  durchgeführt.

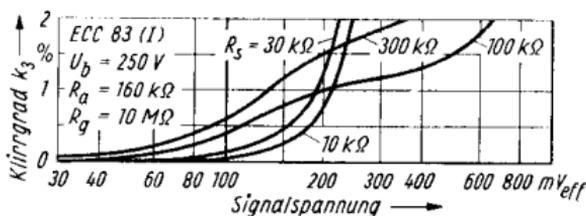


Bild 12

Zu den kleineren Werten des Quellwiderstandes gehören, wie aus dem Vorhergehenden folgt, in dem brauchbaren Bereich der Signalspannung (bis etwa 200 mV Effektivwert) niedrigere Werte der Verzerrung als zu den größeren Werten des Quellwiderstandes.

Daß sich für einen Quellwiderstand von 30 k $\Omega$  in einigen Fällen geringere Verzerrungen ergeben als für einen Quellwiderstand von 10 k $\Omega$ , rührt von einer gewissen Kompen-

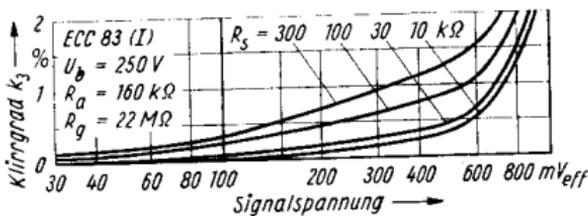


Bild 13

sation nichtlinearer Verzerrungen in der Röhre her. Sie ergibt sich für den Klirrgrad  $k_2$  durch die Krümmung der Anodenstrom-Gitterspannungs-Kennlinie.

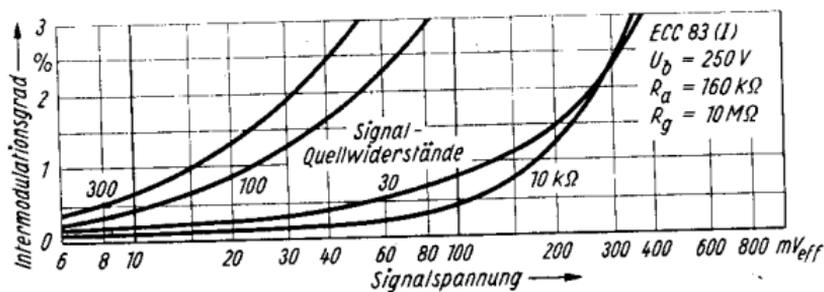


Bild 14

Durch passende Wahl des Anodenwiderstandes der Triode bzw. des Schirmgitter-Vorwiderstandes der Pentode ist eine teilweise Kompensation dieser Verzerrungen möglich.

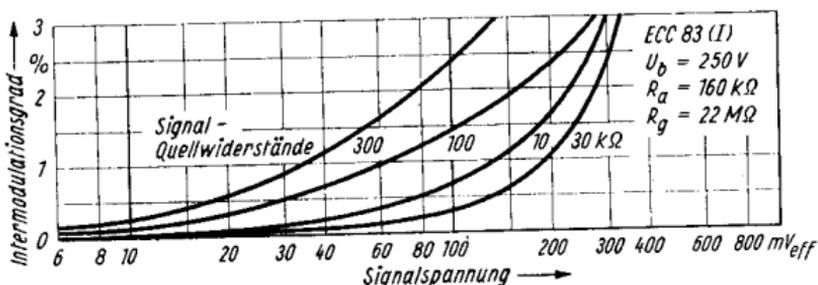


Bild 15

Dabei ist es allerdings notwendig, Kontrollen mit verschiedenen Röhren desselben Typs durchzuführen, um festzustellen, inwieweit die Kompensation durch die Exemplarstreuung der Röhren beeinträchtigt wird.