

## Amplituden- und Phasengang Von RC – gekoppelten Verstärkern

# Vs 61

2 Blätter

In Fi 21 ist der Amplituden- und Phasengang in einem Widerstandsverstärker behandelt, der sich auf Grund zu kleiner Längs- oder zu großer Querkapazität einstellt. Dabei ist angenommen, daß Katode und Schirmgitter wechselstrommäßig gut geerdet sind. Im vorliegenden Blatt Vs 61 wird gezeigt, welchen Amplituden- und Phaseneinfluß eine unzureichende Entkopplung in Schirmgitter oder Katode bewirkt.

### Frequenz- und Phasengang infolge zu kleiner Überbrückungskapazität des Katodenwiderstandes

Mit den Bezeichnungen nach Bild 1 gilt<sup>1)</sup>:

$$\frac{\mathfrak{A}}{V_m} = \frac{1 + j \cdot \omega \cdot C_k \cdot R_k}{1 + V_m \cdot \frac{R_k}{R_a} + j \cdot \omega \cdot C_k \cdot R_k} \quad (1)$$

Darin ist:

$\mathfrak{A}$  = Verstärkung bei der beliebigen Frequenz  $f$  ( $\omega$ ).

$V_m$  = Verstärkung im ungestörten Fall, d. h. Katode wechselstrommäßig geerdet.

$S$  = Anodenstromsteilheit.

Formel (1) gilt unter der Voraussetzung, daß der Schirmgitterwechselstrom nicht über den Katodenwiderstand fließt und  $R_k \ll R_i$  ist.

$V_m = S \cdot \frac{R_a \cdot R_i}{R_a + R_i}$ ; unter der Annahme  $R_i \gg R_a$  (bei

Pentoden) wird  $V_m = S \cdot R_a$  und

$$\frac{\mathfrak{A}}{V_m} = \frac{1 + j \cdot \omega \cdot C_k \cdot R_k}{1 + S \cdot R_k + j \cdot \omega \cdot C_k \cdot R_k} \quad (2)$$

Nimmt man an, daß  $C_S$  nicht an Katode, sondern an Masse gelegt ist, gilt:

$$\frac{\mathfrak{A}}{V_m} = \frac{1 + j \omega C_k \cdot R_k}{1 + S_k \cdot R_k + j \cdot \omega \cdot C_k \cdot R_k} \quad (3)$$

Darin ist:

$S_k$  die Katodenstromsteilheit.

Bezeichnet man in (1) und (3)  $V_m \cdot \frac{R_k}{R_a}$  bzw.  $S_k \cdot R_k$  mit  $a$  und  $\omega C_k R_k$  mit  $x$ , so wird

$$\frac{\mathfrak{A}}{V_m} = \frac{1 + jx}{1 + a + jx} \quad (4)$$

$$\text{also} \quad \left| \frac{\mathfrak{A}}{V_m} \right| = \sqrt{\frac{1 + x^2}{(1 + a)^2 + x^2}} \quad (5)$$

$$\text{und} \quad \text{tg} \varphi = \frac{a x}{1 + a + x^2} \quad (6)$$

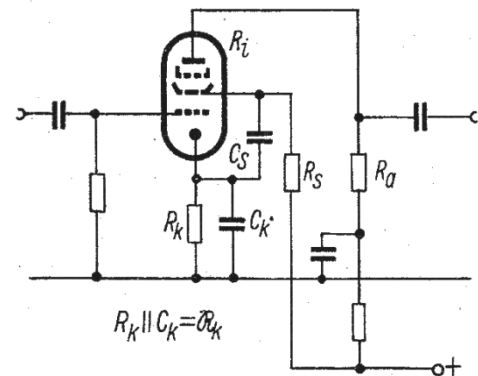


Bild 1. Prinzipschaltbild einer Nf-Verstärkerstufe

Gleichungen (5) und (6) sind in den Bildern 2 und 3 dargestellt

## Frequenz und Phasengang infolge zu kleiner Entkopplungskapazität am Schirmgitter

Mit den Bezeichnungen nach Bild 1 gilt:

$$\frac{\mathfrak{U}}{V_m} = \frac{1+j\omega C_s R_s}{1+S_s D R_s + j\omega C_s R_s} \quad (11)$$

Darin ist:

$S_s$  = Schirmgitterstromsteilheit

Formel 11 gilt unter der Voraussetzung, daß der Katodenstrom bei Pentoden in dem normalen Arbeitsbereich von der Anodenspannung unabhängig ist,

daß der Innenwiderstand  $R_i$  bei der Berechnung der Verstärkung vernachlässigt, d. h.  $\frac{R_a \cdot R_i}{R_a + R_i} = R_a$

gesetzt werden kann und daß der aus  $S_s$  und  $D$  bestimmte Innenwiderstand der Schirmgitterstrecke

$R_{is} \left( R_{is} = \frac{1}{S_s \cdot D} \right)$  klein gegen  $R_s$  ist.

$D$  = Durchgriff des Schirmgitters durch das Steuergitter. Macht man die zuletzt genannte Vernachlässigung nicht, dann wird

$$\frac{\mathfrak{U}}{V_m} = \frac{1+j\omega C_s \cdot \frac{R_s^2}{R_s + R_{is}}}{1+S_s \cdot D \cdot R_s + j\omega C_s \cdot \frac{R_s^2}{R_s + R_{is}}} \quad (12)$$

Man wird aber generell mit (11) rechnen können, denn z. B. beträgt bei der Röhre EF 12 :  $D = 4\%$ ,  $S \sim 0,7 \text{ mA/V}$

$$\text{also } R_{is} = \frac{1}{0,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,04} = 36 \text{ k}\Omega.$$

Bezeichnet man in (11)

$$S_s \cdot D \cdot R_s \text{ mit } a \text{ und } \omega C_s R_s \text{ mit } x, \text{ so wird} \quad \frac{\mathfrak{U}}{V_m} = \frac{1+jx}{1+a+jx} \quad (14)$$

$$\text{also} \quad \frac{|\mathfrak{U}|}{V_m} = \sqrt{\frac{1+x^2}{(1+a)^2 + x^2}} \quad (15)$$

$$\text{und} \quad \text{tg } \varphi = \frac{a x}{1+a+x^2} \quad (16)$$

## Grundformeln

Somit gelten für die Berechnung folgende Grundformeln:

$$1) \text{ für den Amplitudenabfall} \quad \frac{|\mathfrak{U}|}{V_m} = \sqrt{\frac{1+x^2}{(1+a)^2 + x^2}} \quad (\text{Bild 2})$$

$$2) \text{ für den Phasengang} \quad \text{tg } \varphi = \frac{a x}{1+a+x^2} \quad (\text{Bild 3})$$

Darin ist zu setzen:

a) für den Fall unzureichender Entkopplung in der Katode

$$\text{für } a = V_m \cdot \frac{R_k}{R_a} \quad \text{Schirmgitterwechselstrom fließt nicht über den Katodenwiderstand,}$$

für  $a = S_k \cdot R_k$  Schirmgitterwechselstrom fließt über den Katodenwiderstand,

für  $x = \omega \cdot C_k \cdot R_k$

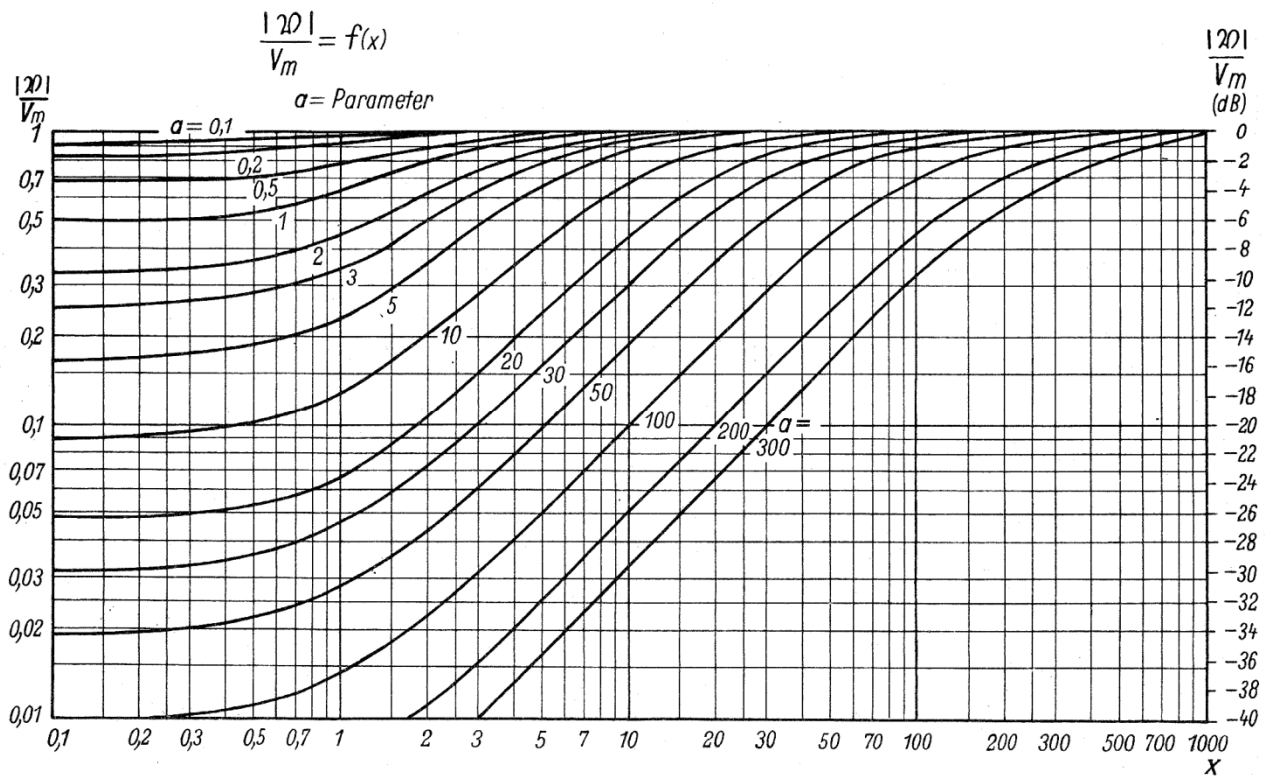


Bild 2. Diagramm zur Bestimmung des Amplitudenabfalls

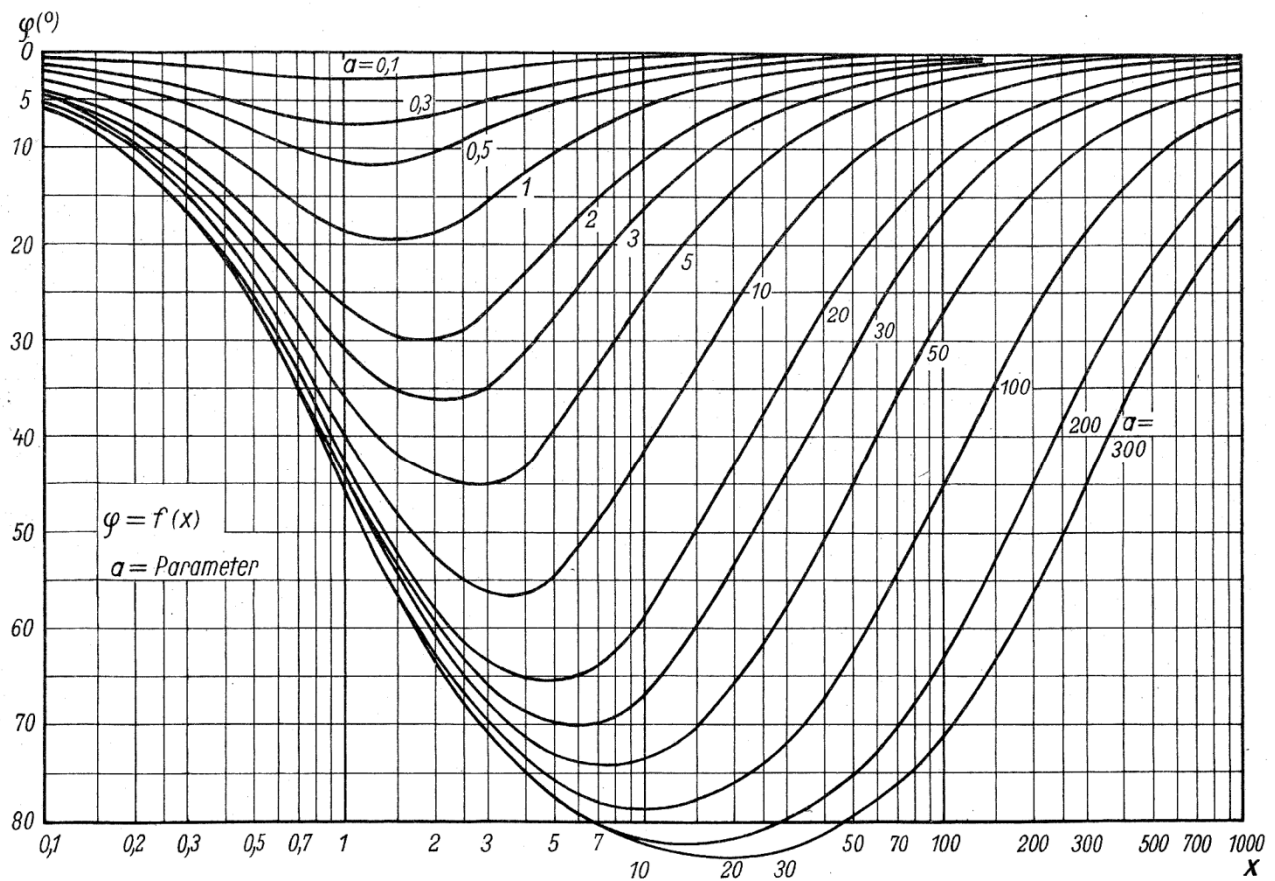


Bild 3. Diagramm zur Bestimmung der Phasenverschiebung

b) für den Fall unzureichender Entkopplung am Schirmgitter

für  $a = S_s \cdot D \cdot R_s$ ,

für  $x = \omega C_s \cdot R_s$ .

Zur Ermittlung der in diesen Formeln benötigten Werte für  $S_k$  (Katodenstromsteilheit) und  $S_s$  (Schirmgitterstromsteilheit) kann folgendermaßen verfahren werden:

$$S_k \approx \frac{S}{i_a} \cdot i_k \quad \begin{array}{l} S = \text{Anodenstromsteilheit} \\ i_a = \text{Anodenstrom} \\ i_k = \text{Katodenstrom} \end{array}$$

$$S_s \approx \frac{S}{i_a} \cdot i_{g2} \quad i_{g2} = \text{Schirmgitterstrom}$$

3) für den Sonderfall, daß nach dem Mindestwert von  $C_k$  oder  $C_s$  gefragt ist, steht folgende durch

Umformung gewonnene Gleichung zur Verfügung  $x = \sqrt{\frac{a^2(1+a)^2 - 1}{1 - a^2}}$  (Bild 4)

$x$  und  $a$  haben die unter a) und b) angegebene Bedeutung  $a = \frac{|U|}{V_m}$

So ergibt sich für:

den Fall unzureichender Entkopplung in der Katode, für  $a = 0,7$  und für den Betriebszustand, bei dem der Schirmgitterwechselstrom über den Katodenwiderstand fließt

$$\omega C_k R_k = \sqrt{\frac{0,5(1+S_k \cdot R_k)^2 - 1}{0,5}} \quad C_k (\mu F) = \sqrt{\frac{0,5(1+S_k \cdot R_k)^2 - 1}{0,5 \cdot \omega^2 \cdot R_k^2 \cdot 10^{-12}}}$$

In gleicher Weise erhält man für:

den Fall unzureichender Entkopplung im Schirmgitter und für  $a = 0,7$

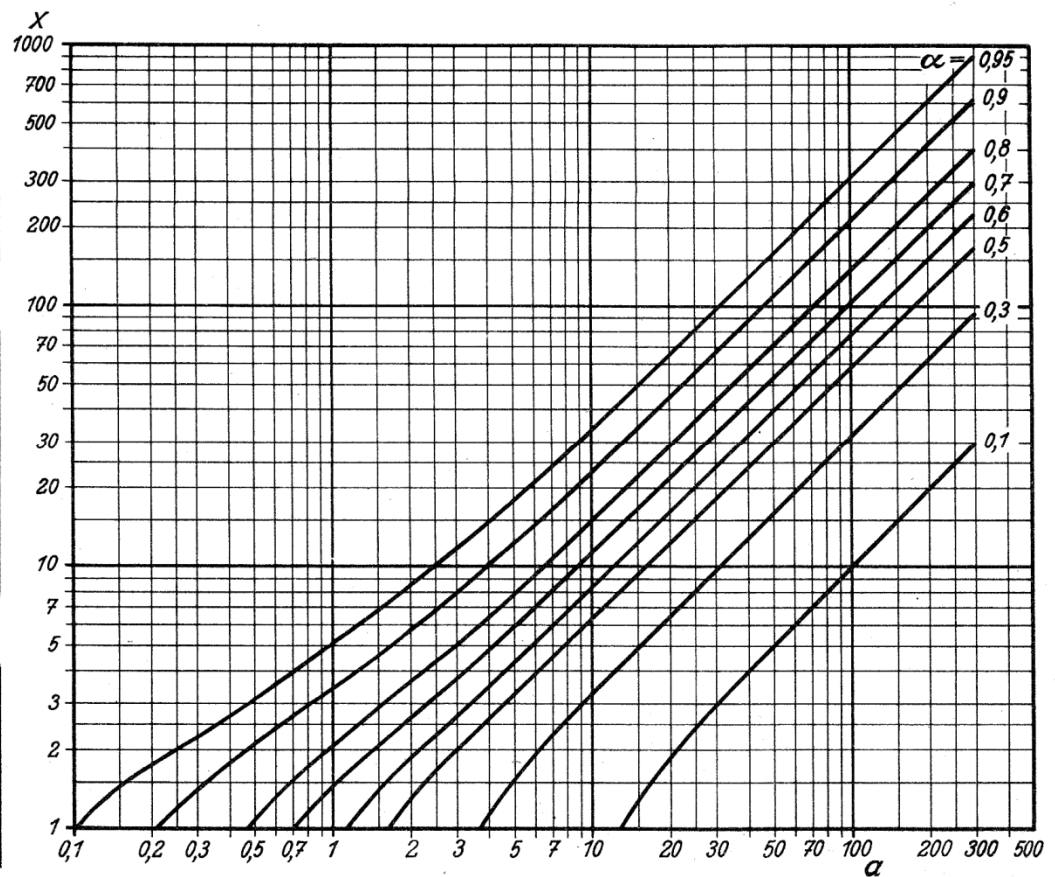
$$\omega C_s R_s = \sqrt{\frac{0,5(1+S_s \cdot D \cdot R_s)^2 - 1}{0,5}} \quad C_s (\mu F) = \sqrt{\frac{0,5(1+S_s \cdot D \cdot R_s)^2 - 1}{0,5 \cdot \omega^2 \cdot R_s^2 \cdot 10^{-12}}}$$

Rechts: Bild 4.  
Diagramm zur Bestimmung der erforderlichen Kapazitätswerte

$x = f(a)$   
 $a = \frac{|U|}{V_m} = \text{Param.}$

**Beispiel 1:**  
Bestimmung von  $C_k$   
 $a = V_m \cdot \frac{R_k}{R_a}$   
oder  $a = S_k \cdot R_k$   
 $x = \omega \cdot C_k \cdot R_k$   
 $C_k = \frac{x}{\omega \cdot R_k}$

**Beispiel 2:**  
Bestimmung von  $C_s$   
 $a = S_s \cdot D \cdot R_s$   
 $x = \omega \cdot C_s \cdot R_s$   
 $C_s = \frac{x}{\omega \cdot R_s}$



## Vs 61

Beispiele:

1. Ungenügende Überbrückung des Katodenwiderstandes Röhrentype UL 41,  $R_k = 160 \Omega$ ,  $C_k = 50 \mu\text{F}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$

$S = 9 \text{ mA/V}$ ,  $i_a = 45 \text{ mA}$ ,  $i_{g2} = 8,5 \text{ mA}$

$$S_k = \frac{9}{45} \cdot 53,5 = 10,7 \text{ mA/V}$$

Schirmgitter gegen Erde abgeblockt.

Es gilt Formel 3

a in Formel 5/6 =  $S_k \cdot R_k = 160 \cdot 10,7 \cdot 10^{-3} = 1,71$

x in Formel 5/6 =  $\omega C_k \cdot R_k = 2 \pi \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot 160 = 2,5$

Nach Bild 2 und 3 ergibt sich

Amplitudenabfall gegenüber dem Mittelbereich auf 0,73

Amplitudenabfall 2,5 db

Phasenvoreilung gegenüber den Frequenzen des Mittelbereichs  $25^\circ$ .

2. Ungenügende Abblockung des Schirmgitters Röhrentype EBF 80

$R_s = 800 \text{ k}\Omega$ ,  $C_s = 0,1 \mu\text{F}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ ,  $D = 5,5 \%$   $S = 2,2 \text{ mA/V}$ ,  $i_a = 5 \text{ mA}$

$$i_{g2} = 1,75 \text{ mA}, S_s = \frac{2,2}{5} \cdot 1,75 = 0,77 \text{ mA/V}$$

Es gilt Formel 11

a in Formel 5/6 =  $S_s \cdot D \cdot R_s = 0,77 \cdot 10^{-3} \cdot 0,055 \cdot 800 \cdot 10^3 = 34$

x in Formel 5/6 =  $\omega C_s \cdot R_s = 2 \pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 800 \cdot 10^3 = 25$

Nach Bild 2 und 3 ergibt sich:

Amplitudenabfall gegenüber dem mittleren Frequenzbereich auf 0,59

Amplitudenabfall 4,5 db

Phasenvoreilung gegenüber den Frequenzen des Mittelbereichs  $52^\circ$ .

## Die Zusammenfassung der drei den Amplituden- und Phasengang beeinflussenden Schaltungsdimensionierungen

In Fi 21 ist der Einfluß der Koppelglieder zwischen zwei Stufen behandelt. Im vorliegenden Blatt Vs 61 ist zunächst getrennt dargestellt, welche Wirkung durch den Katoden- und Schirmgitterkondensator ausgeübt wird. Es interessiert nun die Zusammenfassung der drei Beeinflussungen. Solange

$$\frac{|X|}{V_m} \text{ nicht viel } < 1 \text{ ist, können}$$

die für die drei Fälle errechneten Phasenverschiebungen addiert,  
die in db ausgedrückten Verstärkungsänderungen addiert und  
die in % ausgedrückten Verstärkungsänderungen nach

$$\frac{|X_{\text{ges}}|}{V_m} = \frac{|X_1| \cdot |X_2| \cdot |X_3|}{V_m^3} \text{ berechnet werden.}$$

Beispiel (nach Schaltung Bild 5)

1. Einfluß des Katodenwiderstandes

In Formel 5/6 ist einzusetzen:

für  $x = \omega C_k \cdot R_k = 2 \pi \cdot 50 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 11,8$

$$\text{für } a = S_k \cdot R_k = \frac{S}{i_a} \cdot i_k \cdot R_k = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{5} \cdot 6,5 \cdot 1,5 \cdot 10^3 = 3,9$$

dann ergibt sich:

Röhre 1 EAF 42

$R_i$	1,4 M $\Omega$	$R_a$	= 200 k $\Omega$
$i_a$	5 mA	$R_g$	= 500 k $\Omega$
$S$	2,0 mA/V	$C_{1,2}$	= 10 000 pF
$i_k$	6,5 mA	$C_k$	= 25 $\mu$ F
$i_{g2}$	1,5 mA	$C_s$	= 0,1 $\mu$ F
$D$	$1/18 = 5,5\%$	$R_s$	= 1 M $\Omega$

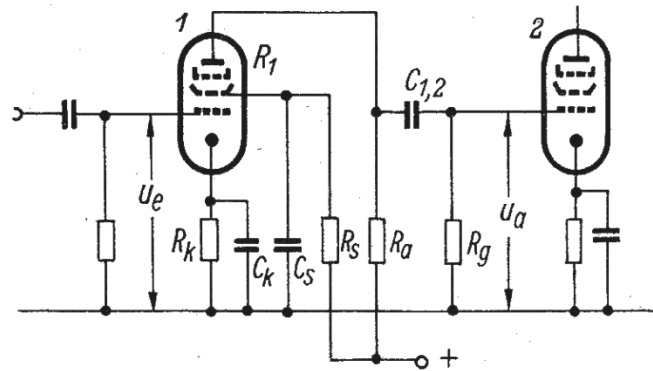


Bild 5. Schaltbild zum Berechnungsbeispiel

$$\frac{|Y_1|}{V_m} = \frac{\sqrt{1+11,8^2}}{\sqrt{(1+3,9)^2+11,8^2}} = 0,93$$

$$\text{tg } \varphi_1 = \frac{11,8 \cdot 3,9}{1+3,9+11,8^2} = 0,32 \quad \varphi_1 = 17,75^\circ$$

2. Einfluß der Schirmgitterabblockung, in Formel 5/6 ist einzusetzen:

$$\text{für } x = \omega \cdot C_s \cdot R_s = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^6 = 31,4$$

$$\text{für } a = S_s \cdot D \cdot R_s = \frac{S}{i_a} \cdot i_{g2} \cdot D \cdot R_s = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{5} \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{18} \cdot 1 \cdot 10^6 = 33,4$$

Dann ergibt sich:

$$\frac{|Y_2|}{V_m} = \frac{\sqrt{1+31,4^2}}{\sqrt{(1+33,4)^2+31,4^2}} = 0,675$$

$$\text{tg } \varphi_1 = \frac{31,4 \cdot 33,4}{1+33,4+31,4^2} = 1,03 \quad \varphi_2 = 45,85^\circ$$

3. Einfluß des Koppelgliedes (s. Fi 21)

$$\frac{|Y_3|}{V_m} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 (R_n + R_g)^2 C_k^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{4\pi^2 \cdot 50^2 (175000 + 500000)^2 10^8 \cdot 10^{-24}}}} = 0,90$$

$$R_n = \frac{r_i \cdot R_a}{r_i + R_a} = \frac{1,4 \cdot 10^6 \cdot 0,2 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^6} = 0,175 \cdot 10^6$$

$$\text{tg } \varphi_3 = \frac{1}{\omega C_k \cdot (R_g + R_n)} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 10000 \cdot 10^{-12} \cdot 675 \cdot 10^3} = 0,465 \quad \varphi_3 = 24,9^\circ$$

Gesamter Amplitudenabfall

$$\frac{|Y_{\text{ges}}|}{V_m} = \frac{|Y_1|}{V_m} \cdot \frac{|Y_2|}{V_m} \cdot \frac{|Y_3|}{V_m} = 0,93 \cdot 0,675 \cdot 0,9 = 0,57$$

Gesamte Phasenvoreilung

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 17,75^\circ + 45,85^\circ + 24,9^\circ = 88,5^\circ$$