

Bemessung von R / C Koppelgliedern

Fi 21

2. Ausgabe

3 Blätter

A. Grundgleichungen

1. Grundschaltung

Entkopplung von Katode und Schirmgitter als unendlich gut angenommen, d. h. C_{sg} und C_{ka} sehr groß. (s. a. Vs 61)

2. Allgemeine Ersatzschaltung

r_i = Innenwiderstand der Röhre 1

$U_{g\sim}$ = Eingangswchelspannung

S = Steilheit der Röhre 1

i = Kurzschlußstrom der Röhre 1

C_A = Ausgangskapazität der Röhre 1 plus anodenseitige Schaltkapazität

R_a = Außenwiderstand

C_k = Kopplungskondensator

R_g = Gitterableitwiderstand der Röhre 2

C_E = Eingangskapazität der Röhre 2 plus gitterseitige Schaltkapazität

U = Ausgangswchelspannung

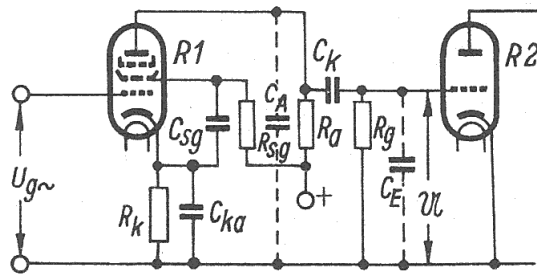


Bild 1. Grundschaltung einer widerstandsgekoppelten Verstärkerstufe

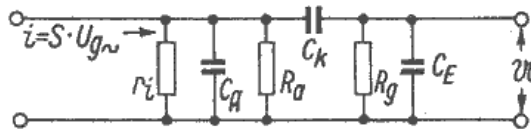


Bild 2. Ersatzschaltung für eine widerstandsgekoppelte Verstärkerstufe nach Bild 1

Vereinfachte Ersatzschaltungen

Je nach der betrachteten Frequenz vereinfacht sich das Ersatzschaltbild (Bild 2).

a) für tiefe Frequenzen:

Der Einfluß von C_A und C_E kann vernachlässigt werden.
Ersatzschaltung für tiefe Frequenzen

b) für hohe Frequenzen:

Der Einfluß von C_k kann vernachlässigt werden.
Ersatzschaltung für hohe Frequenzen

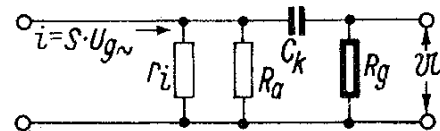


Bild 3. Ersatzschaltung nach Bild 1 und 2, gezeichnet für eine tiefe Frequenz

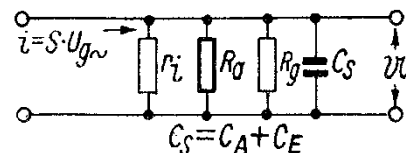


Bild 4. Ersatzschaltung nach Bild 1 und 2, gezeichnet für eine hohe Frequenz

3. Gleichungen für den Spannungsabfall

a) für tiefe Frequenzen (R in Ω , C in F)

$$\frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_a} = \frac{1}{R_n} \quad \frac{U_{\omega n}}{U_{\max}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega_n^2 (R_n + R_g)^2 C_k^2}}}$$

U_{\max} = maximale Ausgangsspannung im mittleren Frequenzbereich

$U_{\omega n}$ = Ausgangsspannung bei der niedrigen Frequenz

b) für hohe Frequenzen

$$\frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_h} \quad \frac{U_{\omega h}}{U_{\max}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega_h^2 R_h^2 C_s^2}}$$

(R in Ω , C in F)

$U_{\omega h}$ = Ausgangsspannung bei der hohen Frequenz (ωh)

B. Kurvendarstellung

1. Amplitudengang über der Frequenz mit RC als Parameter

a) für tiefe Frequenzen (Bild 3)

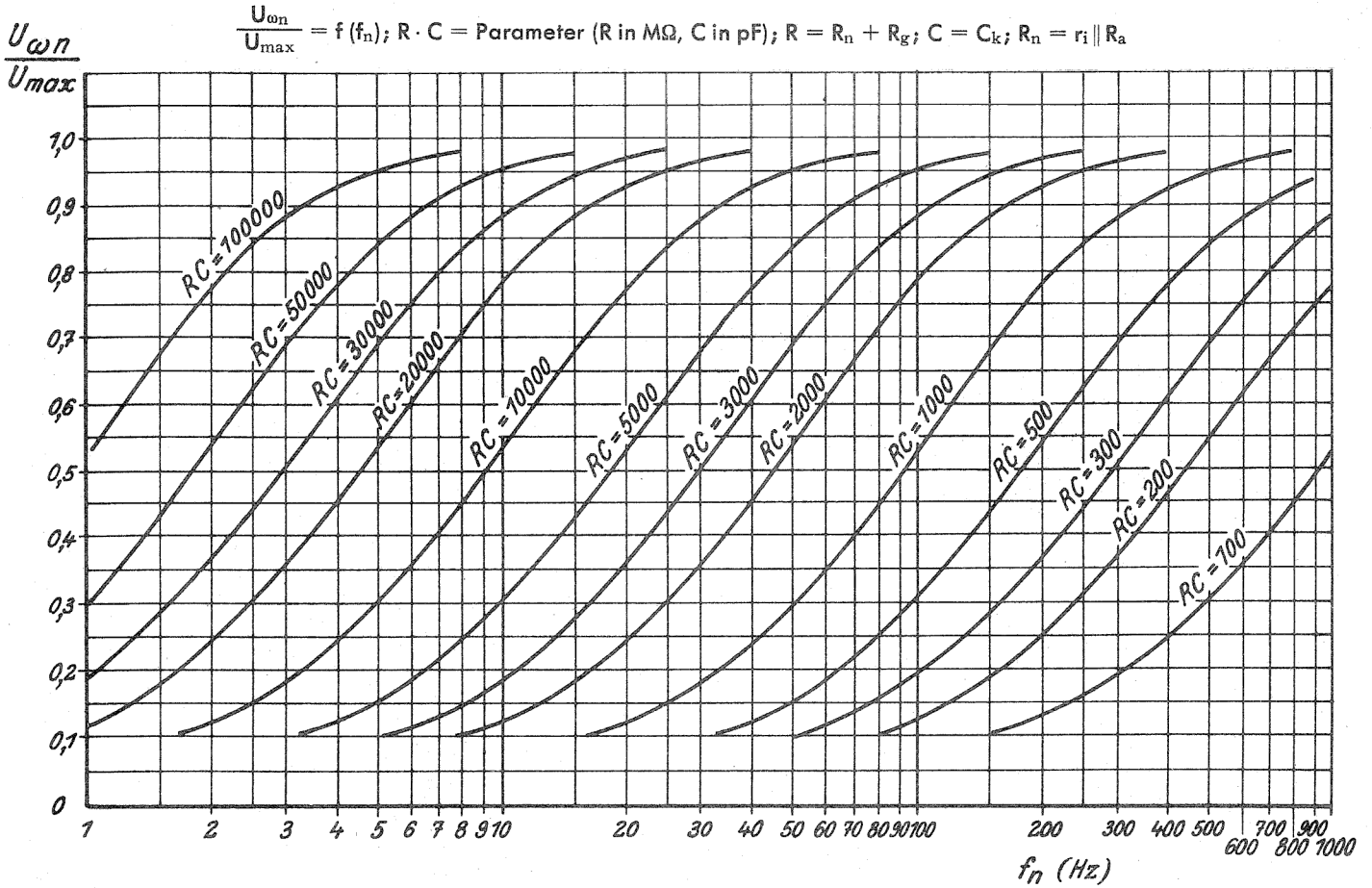


Bild 5. Amplitudenverlauf über der Frequenz, im Gebiet unterhalb der Grenzfrequenz

b) für hohe Frequenzen (Bild 4)

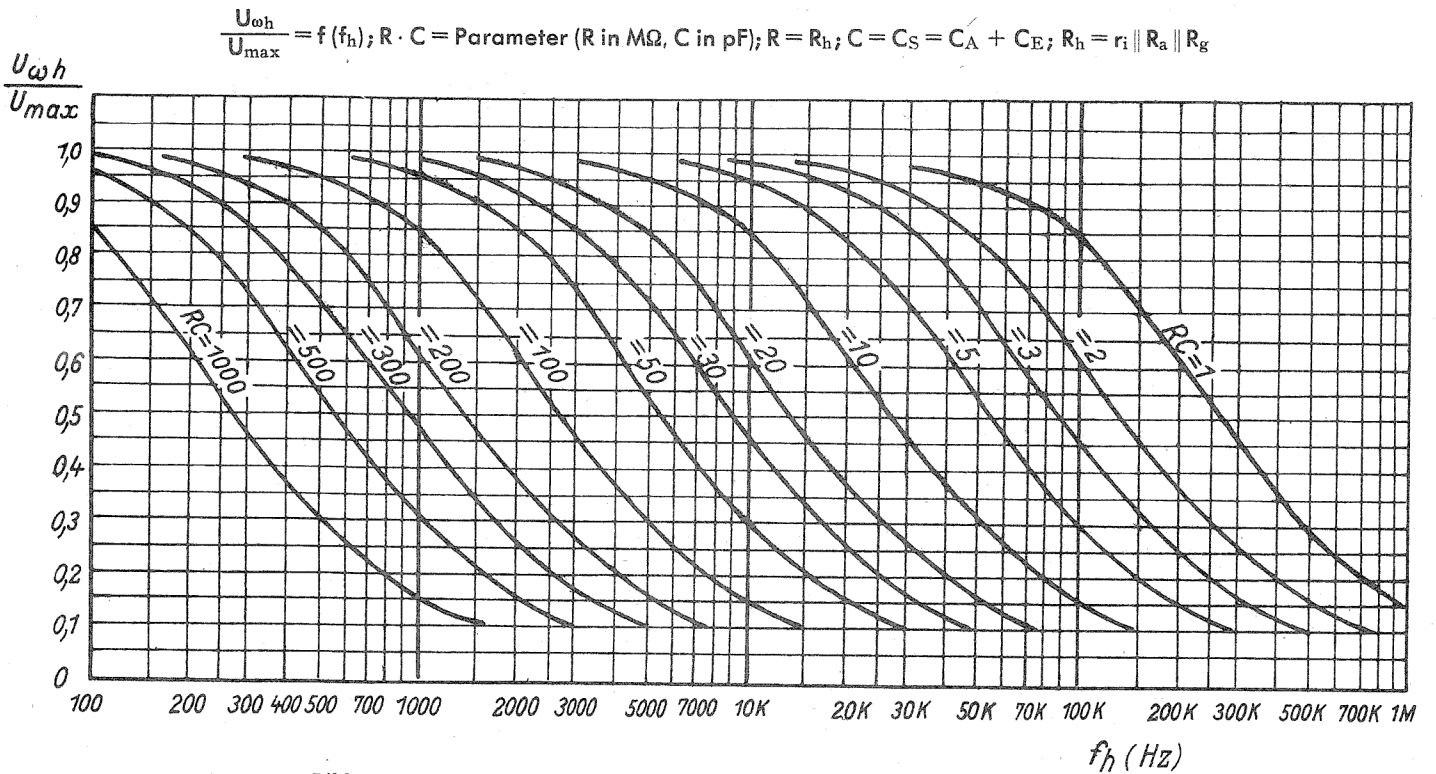


Bild 6. Amplitudenverlauf über der Frequenz, im Gebiet oberhalb der Grenzfrequenz

2. Bestimmung von R · C für gegebene Frequenz bei gegebenem Spannungsabfall von 1, 10 u. 30%

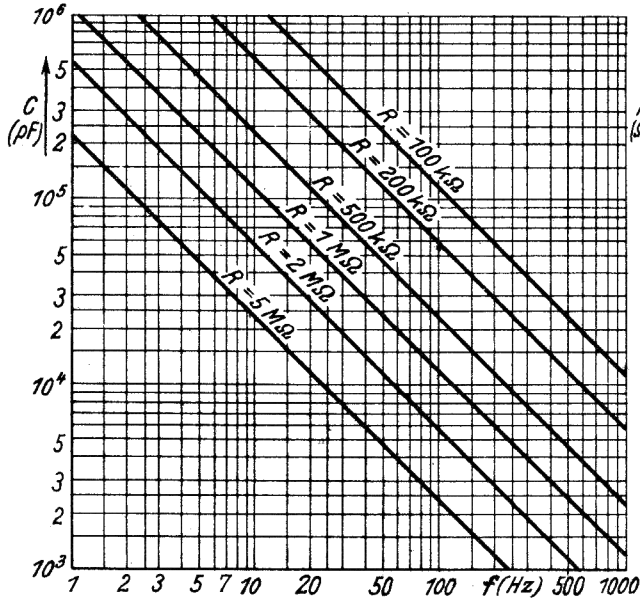


Bild 7a. Für tiefe Frequenzen, Spannungsabfall 1%

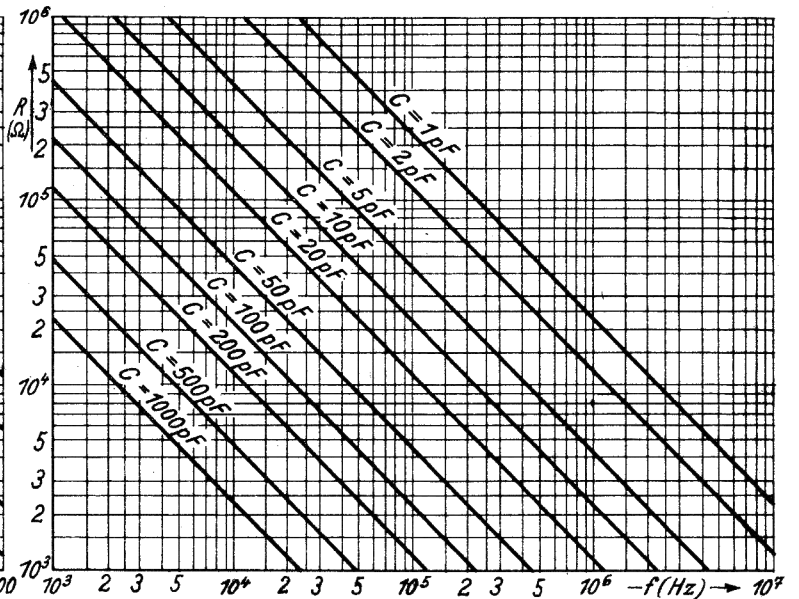


Bild 8a. Für hohe Frequenzen, Spannungsabfall 1%

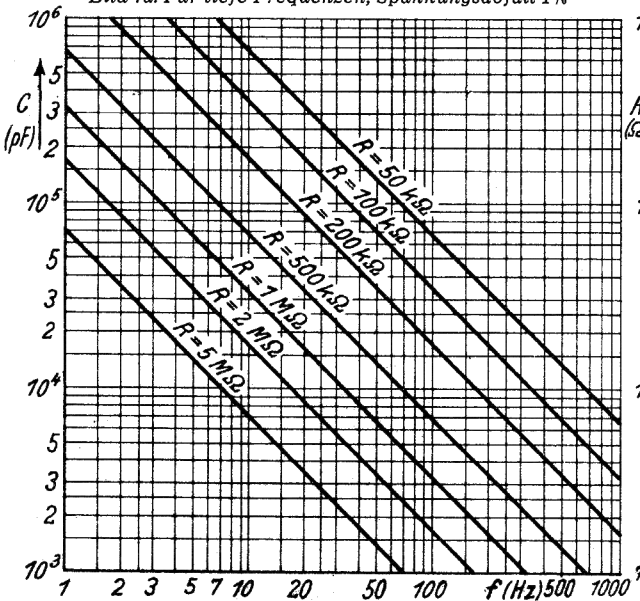


Bild 7b. Für tiefe Frequenzen, Spannungsabfall 10%

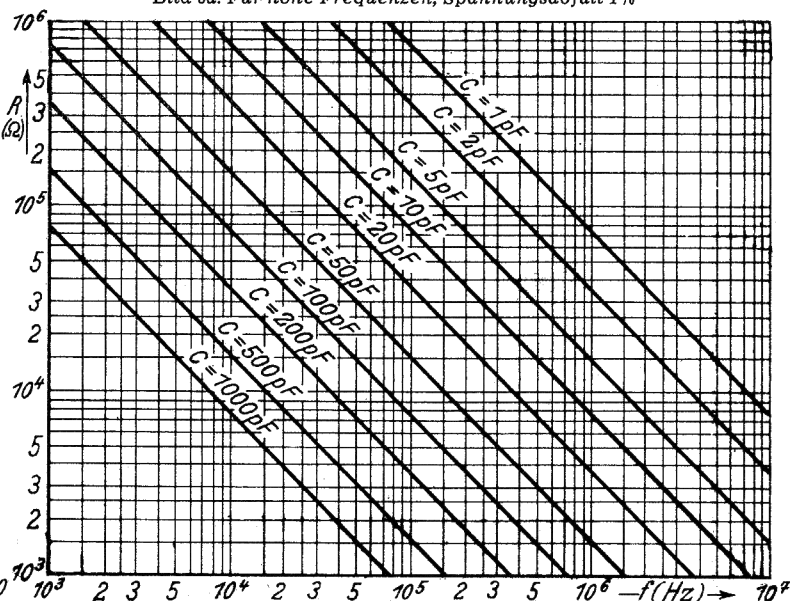


Bild 8b. Für hohe Frequenzen, Spannungsabfall 10%

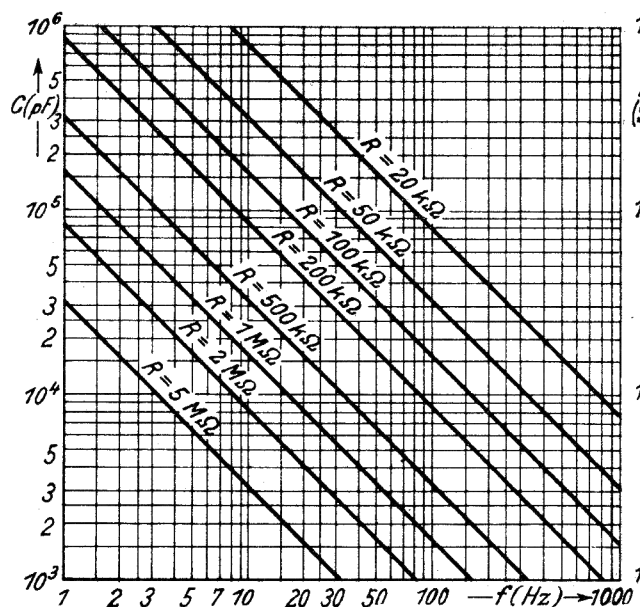


Bild 7c. Für tiefe Frequenzen, Spannungsabfall $(1 - \frac{1}{\sqrt{2}})$ ca. 30%

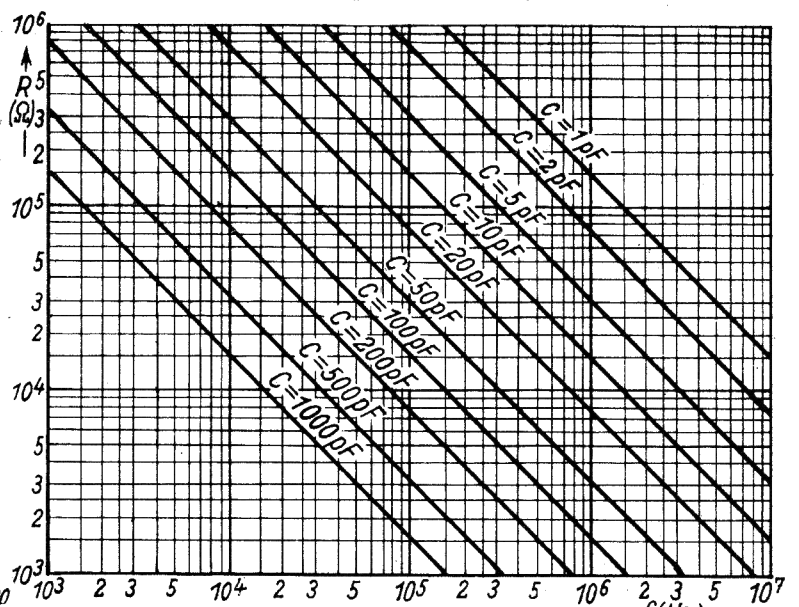


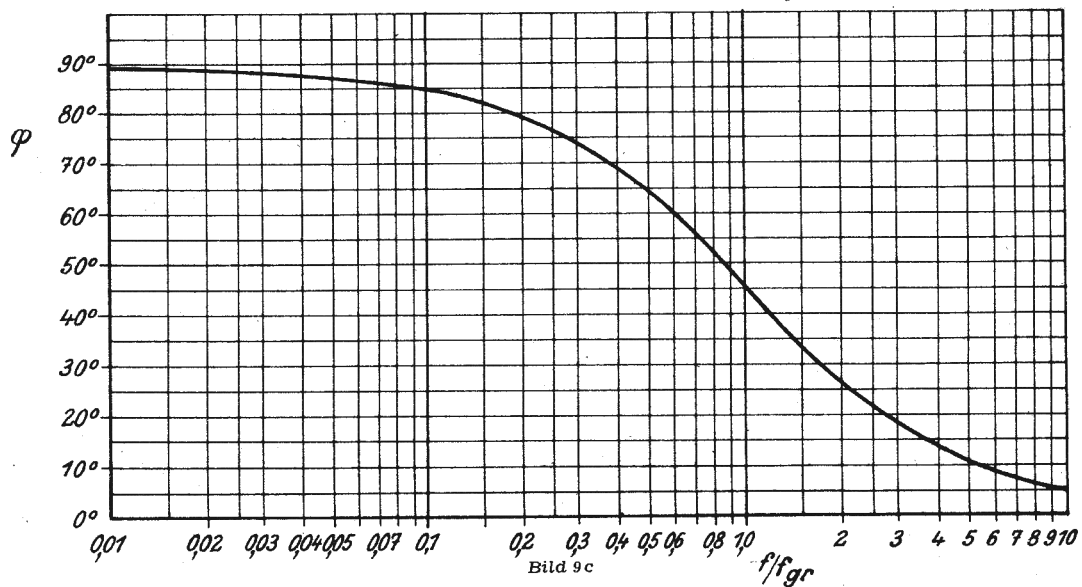
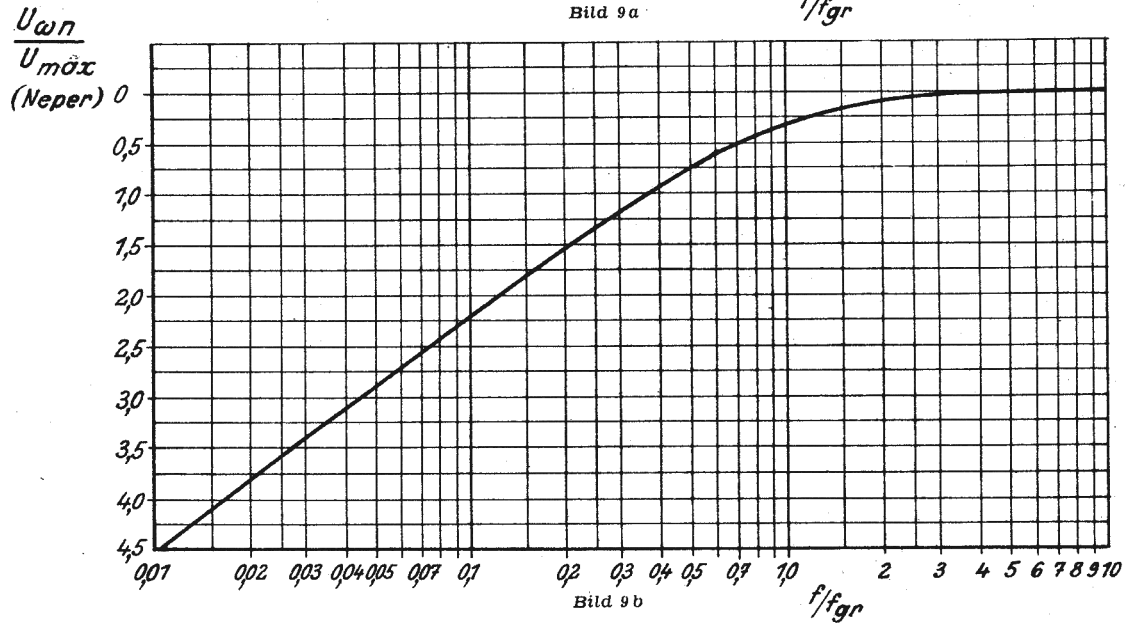
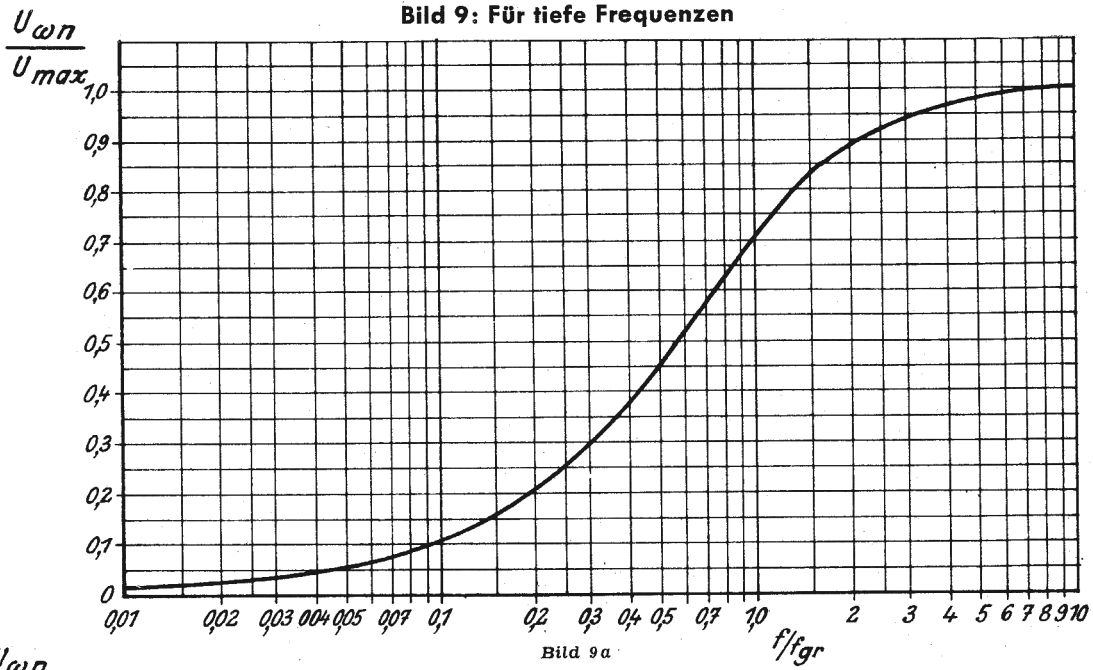
Bild 8c. Für hohe Frequenzen, Spannungsabfall $(1 - \frac{1}{\sqrt{2}})$ ca. 30%

Anwendung der beiden Kurvendarstellungen B 1 und B 2.

Die beiden Darstellungen genügen den in der Praxis auftretenden Bedingungen. Entweder ist eine Schaltung gegeben, das heißt, die Werte für R und C liegen fest und man verlangt Auskunft über den Frequenzgang. Dann verwendet man die Diagramme B 1. Oder man will eine andere Schaltung aufbauen, für deren Frequenzgang (Spannungsabfall an den Bereichsgrenzen) bestimmte Qualitätsforderungen vorliegen. Dann benutzt man die Diagramme unter B 2.

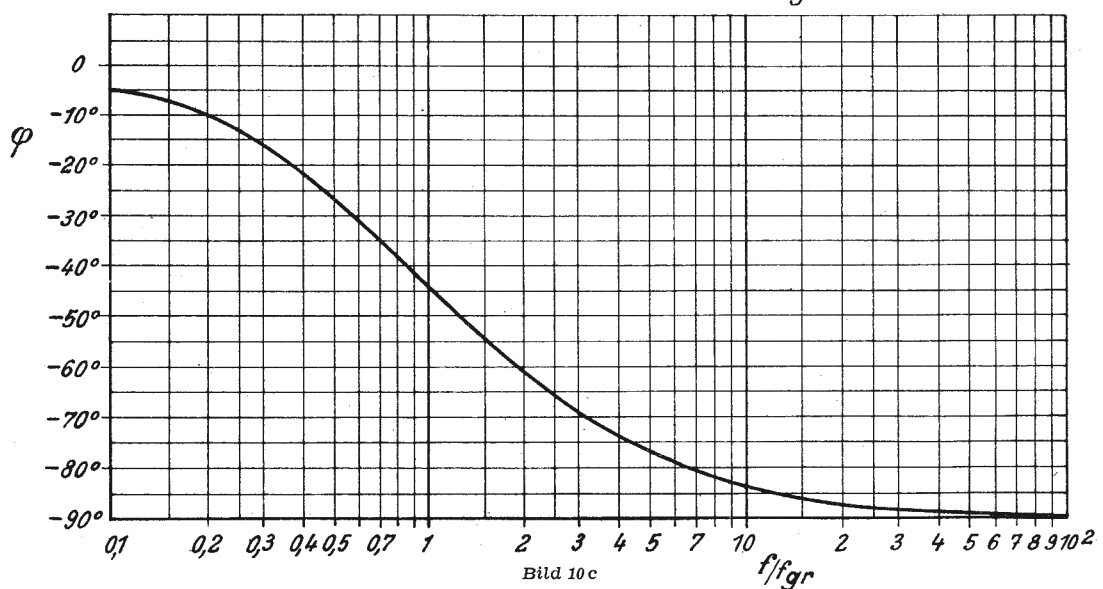
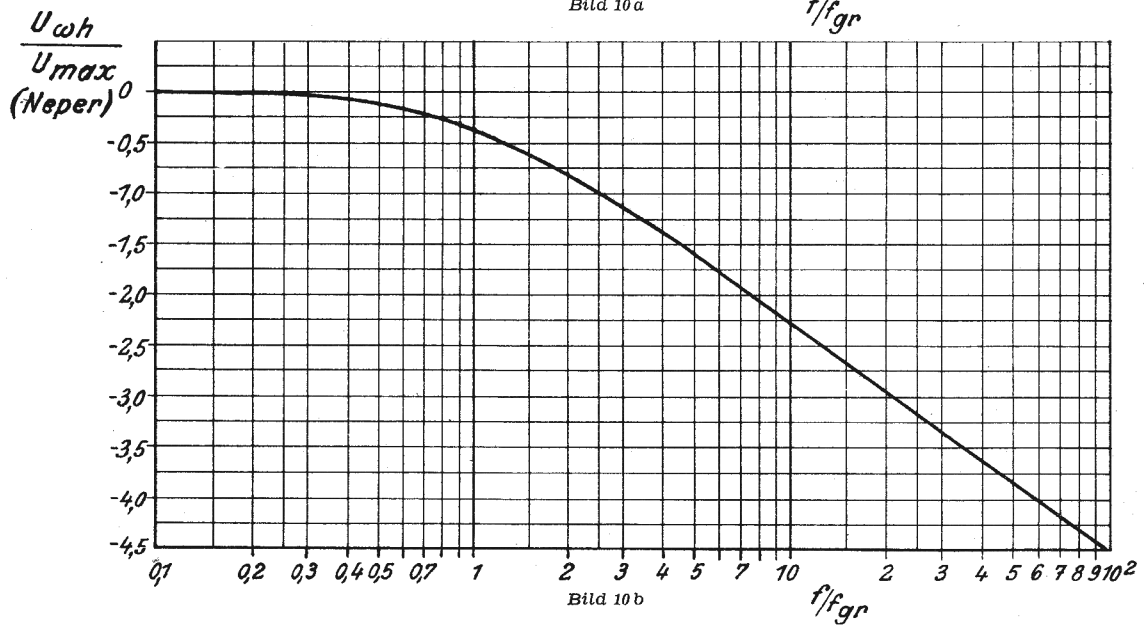
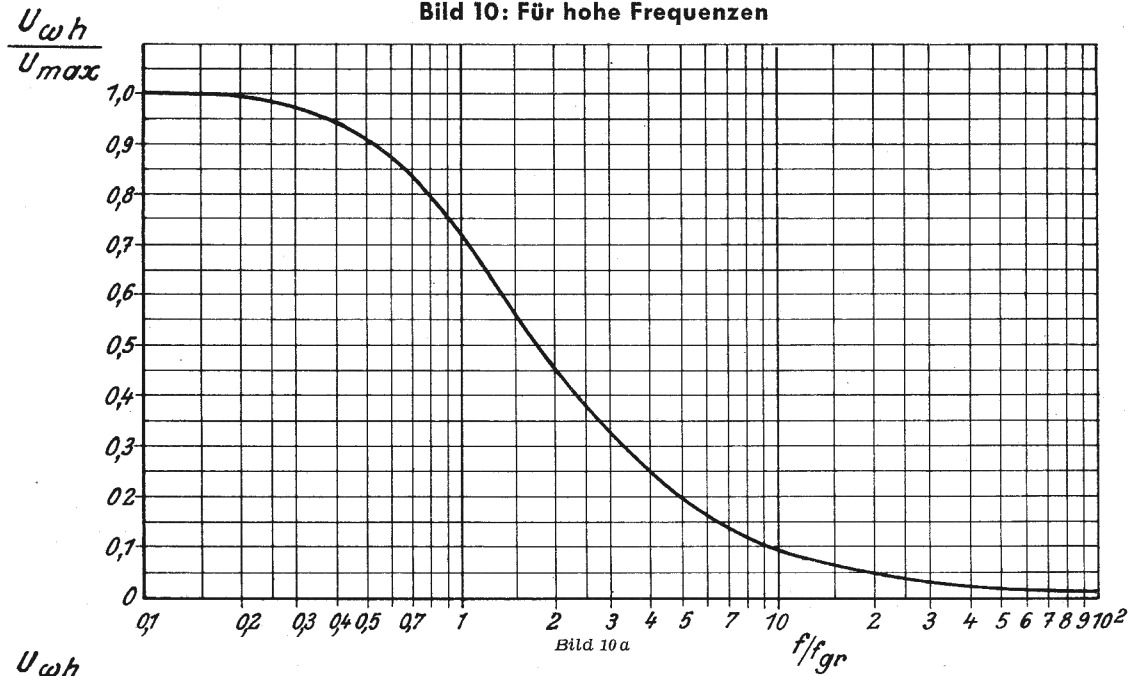
C. Normierter Spannungs- und Phasenverlauf, bezogen auf die Grenzfrequenz (f_{gr})

Bild 9: Für tiefe Frequenzen



$$f_{gr} = \frac{1}{2\pi (R_n + R_g) \cdot C_k}$$

Bild 10: Für hohe Frequenzen



$$f_{gr} = \frac{1}{2\pi \cdot R_h \cdot C_s}$$

Die Grenzfrequenz (f_{gr}) ist definiert als diejenige Frequenz, bei der der Blindwiderstand $\frac{1}{\omega_{gr} \cdot C}$ dem ohmschen Widerstand R_{st} ist.

Fi 21 2. Ausgabe

Die Diagramme Bild 9 und 10 haben allgemeine Gültigkeit, da auf der Abszisse das Verhältnis der betrachteten Frequenz f zur Grenzfrequenz f_{gr} ($\omega_{gr} = \frac{1}{R \cdot C}$) aufgetragen ist. Kennt man also von

einer Schaltung die Grenzfrequenz, so ist durch Bild 9a und 10a der Amplitudengang für alle anderen Frequenzen gegeben. Bild 9b und 10b zeigen die gleichen Verhältnisse, nur ist der Amplitudenabfall nicht in Prozenten, sondern in Neper ausgedrückt. Damit werden die Bilder 9b und 10b eine gute Hilfe, wenn der Verstärkungsabfall über mehrere Stufen berechnet werden soll, da dann nur die Neperwerte addiert zu werden brauchen.

Schließlich bringen die Bilder 9c und 10c den Phasengang in Ergänzung zu dem in den übrigen Diagrammen aufgetragenen Amplitudengang.

Im Fall tiefer Frequenzen

teilt sich die an C_k und R_g liegende Spannung U_a auf in: U (Spannung zwischen Gitter und Katode) und $i_g/\omega C_k$ (Spannungsabfall am Kopplungsblock).

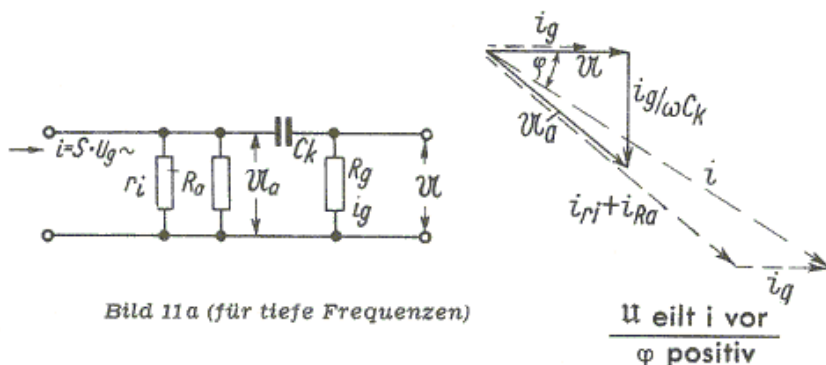


Bild 11a (für tiefe Frequenzen)

Die Spannung U eilt dem Gesamtstrom i voraus.

Diese Voreilung wird ausgedrückt durch den Winkel φ und ist bestimmt durch

$$\text{tg}\varphi = \frac{1}{R_g + R_n} \cdot \frac{1}{\omega C_k} = \frac{1}{\omega C_k (R_g + R_n)}$$

Mit steigender Frequenz ist der Einfluß von C_k zu vernachlässigen, $\text{tg } \varphi$ geht $\rightarrow 0$. Mit fallender Frequenz dagegen steigt die Voreilung.

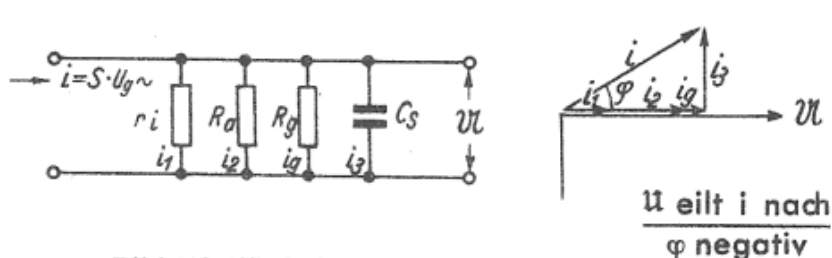


Bild 11b (für hohe Frequenzen)

Im Fall **hoher Frequenzen** tritt durch den kapazitiven Blindstrom i_3 eine Phasenverschiebung zwischen dem Gesamtstrom

$$i = \sum i_1 + i_2 + i_g + i_3$$

und U (Spannung zwischen Gitter und Katode) auf. Die Spannung U eilt dem Gesamtstrom i nach. Diese Nacheilung wird ausgedrückt durch den Winkel φ und ist bestimmt durch:

$$\text{tg}\varphi = \frac{\omega C_s}{\frac{1}{r_i} + \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_g}}$$

Mit abnehmender Frequenz ist der Einfluß von C_s zu vernachlässigen, $\text{tg } \varphi$ geht $\rightarrow 0$, φ geht $\rightarrow 0$. Mit steigender Frequenz wächst die Nacheilung.

Beispiel: Schon das Vektordiagramm zu Bild 11 a zeigt, daß bei der Berechnung der Phasenverschiebung die Widerstände r_i und R_a nicht vernachlässigt werden dürfen, wenn man als Ausgangspunkt den Betriebsfall betrachtet, bei dem der Blindwiderstand von C_k verschwindend klein ist.

Nur wenn man die Phasenverschiebung zwischen \mathcal{U} und \mathcal{U}_a betrachtet, dann ist allein C_k und R_g zu berücksichtigen. Die gleichen Überlegungen gelten für den Amplitudengang.

Das zeigt folgendes Beispiel:

a) $R_a = 0,2 \text{ M}\Omega$

für $f = 30 \text{ Hz}$ ist $\mathcal{U} = 16,6 \text{ V}$ $\frac{U_{\omega_n}}{U_{\max}} = \frac{16,6}{26,9} = 0,62$
 $f \gg 30 \text{ Hz}$ $\mathcal{U} = 26,9 \text{ V}$

berechnet mit den

Kirchhoffschen Stromverteilungsregeln. Zum Vergleich s. a. Bild 5: $f = 30 \text{ Hz}$ und $R \cdot C = 4335$

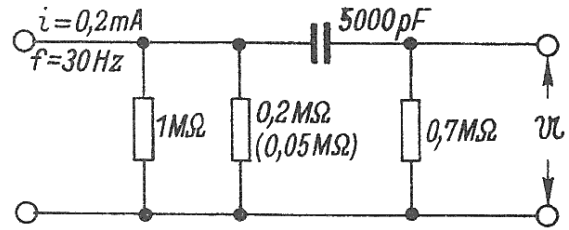
Bild 9a: $f/f_{gr} = 0,81$

b) $R_a = 0,05 \text{ M}\Omega$

für $f = 30 \text{ Hz}$ ist $\mathcal{U} = 5,05 \text{ V}$ $\frac{U_{\omega_n}}{U_{\max}} = \frac{5,1}{8,9} = 0,565$
 $f \gg 30 \text{ Hz}$ $\mathcal{U} = 8,9 \text{ V}$

Zum Vergleich s. a. Bild 5: $f = 30 \text{ Hz}$ und $R \cdot C = 3740$

Bild 9a: $f/f_{gr} = 0,7$



D. Nomogramm für die speziellen Fälle

$f = 30$ und $f = 50 \text{ Hz}$ (Funk 1940/Seite 60)

Für die Elektroakustik, für Tonfrequenzverstärker, Schallaufnahme- und Wiedergabegeräte muß meist der Frequenzgang bei den tiefen Frequenzen 30 und 50 Hz besonders sorgfältig geprüft werden. Dazu dient das untenstehend gebrachte Nomogramm. Es enthält für die beiden kritischen Frequenzen 30 und 50 Hz die Beziehung zwischen dem Gitterableitwiderstand R_g , dem Koppelkondensator C_k und dem Amplitudenabfall in Prozenten der im mittleren Frequenzbereich auftretenden Spannung.

So muß z. B. bei 50 Hz und einem zugelassenen Amplitudenabfall um 10% auf 90% bei einem Gitterableitwiderstand von 1 MΩ ein Koppelkondensator von mindestens 6000 pF gewählt werden.

Das gleiche Ergebnis erhält man auch aus dem Diagramm (Bild 7b) zu Abschnitt B 2. Nur sind in Abschnitt B 2 die Verhältnisse für alle Frequenzen, aber für einen Spannungsabfall von 1 %, 10 % und 30 % dargestellt, in Abschnitt D dagegen für die beiden festen Frequenzen 30 und 50 Hz und für einen Amplitudenabfall zwischen 0 und 30% mit allen Zwischenwerten.

