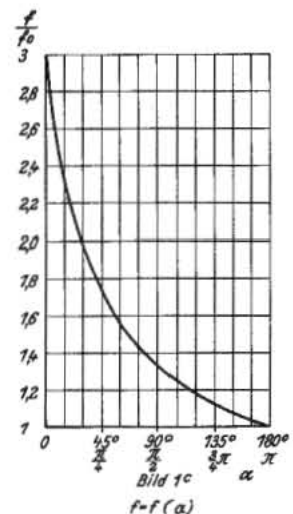
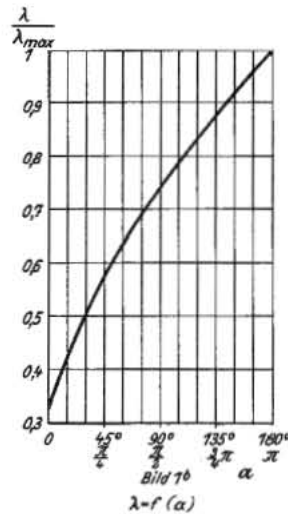
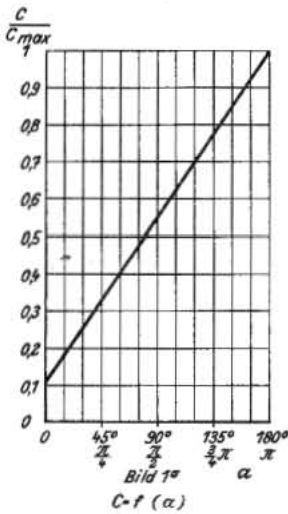


1. Kapazitätsgerader Kondensator

Voraussetzung: C proportional α

Verwendungszweck: für Meßzwecke, Normal-, Eichkondensatoren



$$C = C_0 + (C_{max} - C_0) \frac{\alpha}{\pi}$$

$$\frac{C}{C_{max}} = \frac{C_0}{C_{max}} + \left(1 - \frac{C_0}{C_{max}}\right) \frac{\alpha}{\pi}$$

und für $C_{max} : C_0 = 9$

$$\frac{C}{C_{max}} = \frac{1}{9} + \frac{8}{9} \frac{\alpha}{\pi}$$

$$\frac{C}{C_{max}} = \frac{1}{9} + \frac{8}{9} \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}$$

$$C_{max} = 1,11 (n-1) \cdot \epsilon \cdot \frac{R^2 - r^2}{8d}$$

(pF) (cm²)/(cm)

$$\frac{\lambda}{\lambda_{max}} = \sqrt{\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{max}}\right)^2 + \left(1 - \left[\frac{\lambda_0}{\lambda_{max}}\right]^2\right) \frac{\alpha}{\pi}}$$

und für $\lambda_{max} : \lambda_0 = 3$

$$\frac{\lambda}{\lambda_{max}} = \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{8}{9} \frac{\alpha}{\pi}}$$

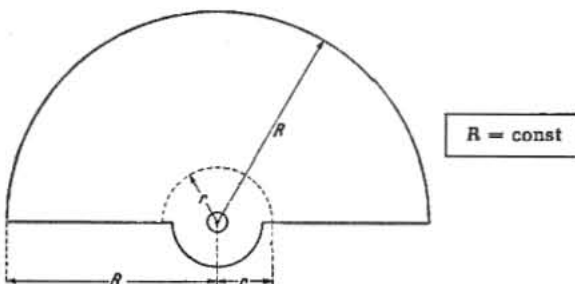
$$\frac{\lambda}{\lambda_{max}} = \sqrt{\frac{1}{9} + \frac{8}{9} \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}}$$

$$\frac{f}{f_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{f_0}{f_{max}}\right)^2 + \left(1 - \left[\frac{f_0}{f_{max}}\right]^2\right) \frac{\alpha}{\pi}}}$$

und für $f_{max} : f_0 = 3$

$$\frac{f}{f_0} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{9} + \frac{8}{9} \frac{\alpha}{\pi}}}$$

$$\frac{f}{f_0} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{9} + \frac{8}{9} \frac{\alpha^\circ}{180^\circ}}}$$



Bezeichnungen

- α = Winkel des eingedrehten Sektors im Bogenmaß
- α° = Winkel des eingedrehten Sektors im Gradmaß
- n = Zahl der Kondensatorplatten
- ϵ = Dielektrizitätskonstante
- d = Plattenabstand (cm)
- r = Radius des Ausschnittes der Statorplatte (cm)
- R = Plattenradius (cm)
- C_0 = Anfangskapazität (pF)
- λ_0, f_{max} = Wellenlänge, Frequenz für C_0
- C_{max} = Endkapazität (pF)
- λ_{max}, f_0 = Wellenlänge, Frequenz für C_{max}

Bild 1d. Randkurve des kapazitätsgeraden Kondensators

2. Wellengerader Kondensator

Voraussetzung: λ proportional α

Verwendungszweck: Geräte mit Wellenlängeneichung

$$\frac{C}{C_{\max}} = \left(\sqrt{\frac{C_0}{C_{\max}}} + \left[1 - \sqrt{\frac{C_0}{C_{\max}}} \right] \frac{\alpha}{\pi} \right)^2$$

und für $C_{\max} : C_0 = 9$

$$\frac{C}{C_{\max}} = \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\pi} \right)$$

$$\frac{C}{C_{\max}} = \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \frac{\alpha^0}{180^0} \right)^2$$

$$C_{\max} = 1,11 (n-1) \cdot \epsilon \cdot \frac{R_{\max}^2 - r^2}{16 d} \cdot \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} \right)$$

[pF] (cm²)/(cm)

(R_{\max} = größter Abstand der Randkurve von der Drehachse)

$$\lambda = \lambda_0 + (\lambda_{\max} - \lambda_0) \frac{\alpha}{\pi}$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} + \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} \right) \frac{\alpha}{\pi}$$

und für $\lambda_{\max} : \lambda_0 = 3$

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\pi}$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \frac{\alpha^0}{180^0}$$

$$\frac{f}{f_0} = \frac{1}{\frac{f_0}{f_{\max}} + \left(1 - \frac{f_0}{f_{\max}} \right) \frac{\alpha}{\pi}}$$

und für $f_{\max} : f_0 = 3$

$$\frac{f}{f_0} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\pi}}$$

$$\frac{f}{f_0} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{2}{3} \frac{\alpha^0}{180^0}}$$

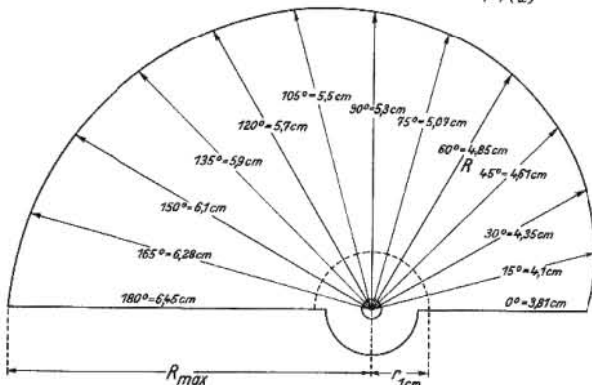
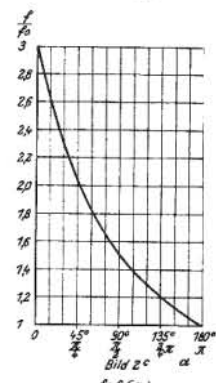
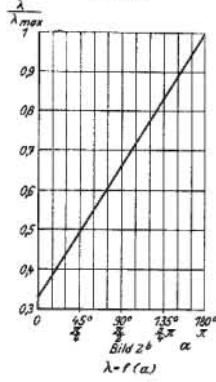
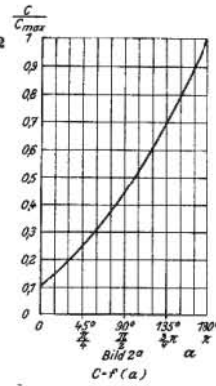


Bild 2d. Randkurve des wellengeraden Kondensators

$$R = \sqrt{(R_{\max}^2 - r^2) \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} + \left[1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} \right] \frac{\alpha}{\pi} \right) + r^2}$$

3. Kondensator mit logarithmischem Plattenschnitt

Voraussetzung: $C = C_0 \cdot e^{K_0 \alpha}$

Verwendungszweck: Dämpfungsmessung und Tongenerator

$$C = C_0 \cdot e^{K_0 \alpha} \quad C = C_{\max} \cdot e^{-K_1 (\pi - \alpha)}$$

$$K_0 = \frac{1}{\pi} \cdot \ln \frac{C_{\max}}{C_0} \quad K_1 = -\frac{1}{\pi} \cdot \ln \frac{C_0}{C_{\max}}$$

$$C = C_0 \cdot e^{\left(\ln \frac{C_{\max}}{C_0} \right) \frac{\alpha}{\pi}} \quad C = C_{\max} \cdot e^{\left(\ln \frac{C_0}{C_{\max}} \right) \frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

$$\frac{C}{C_0} = \left(\frac{C_{\max}}{C_0} \right)^{\frac{\alpha}{\pi}} \quad \frac{C}{C_{\max}} = \left(\frac{C_0}{C_{\max}} \right)^{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

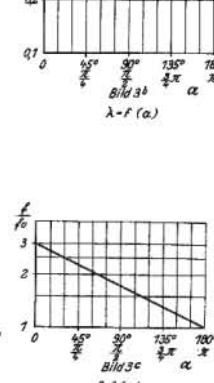
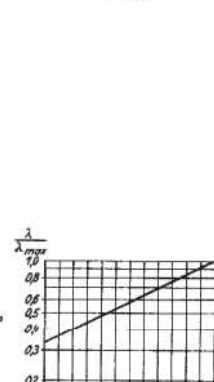
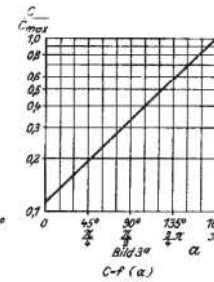
und für $C_{\max} : C_0 = 9$

$$\frac{C}{C_0} = 9^{\frac{\alpha}{\pi}} \quad \frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{9} \frac{\pi - \alpha}{\pi}$$

$$\log \frac{C}{C_0} = \frac{\alpha^0}{180^0} \cdot \log 9 \quad \log \frac{C}{C_{\max}} = \frac{180^0 - \alpha^0}{180^0} \cdot \log \frac{1}{9}$$

$$C_{\max} = 1,11 (n-1) \cdot \epsilon \cdot \frac{R_{\max}^2 - r^2}{8 d} \cdot \frac{1 - \frac{C_0}{C_{\max}}}{\ln \left(\frac{C_{\max}}{C_0} \right)}$$

[pF] (cm²)/(cm)



$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_0} \right)^{\frac{\alpha}{\pi}} \quad \frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} \right)^{\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

und für $\lambda_{\max} : \lambda_0 = 3$

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = 3^{\frac{\alpha}{\pi}} \quad \frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{3} \frac{\pi - \alpha}{\pi}$$

$$\log \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{\alpha^0}{180^0} \cdot \log 3 \quad \log \frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{180^0 - \alpha^0}{180^0} \cdot \log \frac{1}{3}$$

$$\frac{f}{f_{\max}} = \left(\frac{f_{\max}}{f_0} \right)^{-\frac{\alpha}{\pi}} \quad \frac{f}{f_0} = \left(\frac{f_0}{f_{\max}} \right)^{-\frac{\pi - \alpha}{\pi}}$$

und für $f_{\max} : f_0 = 3$

$$\frac{f}{f_{\max}} = 3^{-\frac{\alpha}{\pi}} \quad \frac{f}{f_0} = \frac{1}{3} \frac{\pi - \alpha}{\pi}$$

$$\log \frac{f}{f_{\max}} = -\frac{\alpha^0}{180^0} \cdot \log 3 \quad \log \frac{f}{f_0} = \frac{180^0 - \alpha^0}{180^0} \cdot \log \frac{1}{3}$$

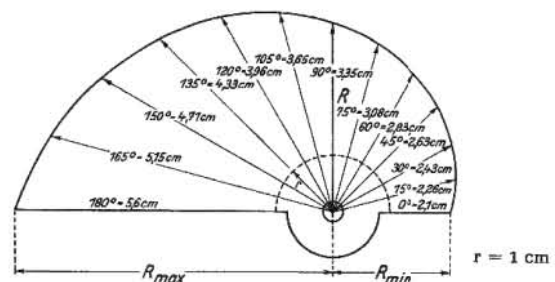


Bild 3d. Randkurve eines Kondensators mit logarithmischem Plattenschnitt

$$R = \sqrt{(R_{\max}^2 - r^2) \left(\frac{C_{\max}}{C_0} \right)^{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} + r^2}$$

Besondere Bedeutung des logarithmisch geschnittenen Kondensators

Wie die Bilder 3a, 3b und 3c zeigen, ist bei einem derartigen Plattenschnitt:

$\Delta \alpha^\circ$ = Winkeländerung am Drehkondensator um von I_r auf $I_r/\sqrt{2}$ zu kommen.

Das heißt, man braucht bei gegebenem Kondensator, also gegebener Konstante:

a) C-Kurve

$\log C \sim \alpha$ · Die Neigung der Geraden $[\log C = f(\alpha)]$

$$= \log \frac{C_{max}}{C_0}$$

$$\frac{\ln \left(\frac{C_{max}}{C_0} \right)}{180^\circ}$$

b) λ-Kurve

$\log \lambda \sim \alpha$ · Die Neigung der Geraden $[\log \lambda = f(\alpha)]$

$$= \frac{1}{2} \log \frac{C_{max}}{C_0}$$

nur mit der gemessenen Winkeländerung zu multiplizieren, um die Dämpfung zu erhalten.

c) f-Kurve

$\log f \sim \alpha$ · Die Neigung der Geraden $[\log f = f(\alpha)]$

$$= - \frac{1}{2} \log \frac{C_{max}}{C_0}$$

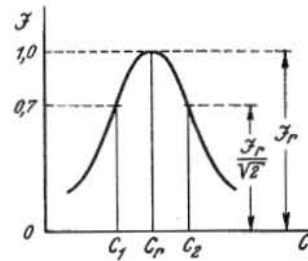


Bild 3e. Resonanzkurve

d) Dämpfungsmessung

$$d = \frac{C_2 - C_1}{2 C_r} = \frac{\Delta C}{2 C_r}$$

$$\ln \left(\frac{C_{max}}{C_0} \right)$$

für logarithmischen Schnitt ist: $d = \frac{\ln \left(\frac{C_{max}}{C_0} \right)}{180^\circ} \cdot \Delta \alpha^\circ$

4. Drehkondensatoren für Schwebungssumme (Tonfrequenzgeneratoren)

Bei Schwebungssummen wird die Tonfrequenz f_T durch Überlagerung zweier Hochfrequenzen, einer festen f_{H1} und einer veränderlichen f_{H2} , gebildet.

$$f_T = f_{H1} - f_{H2}$$

Man verlangt nun, daß die Skala des Tonfrequenzgenerators einen logarithmischen Gang aufweist, das heißt, daß der Bereich 100 bis 1000 Hz den gleichen Winkel wie der von 1000 bis 10 000 Hz einnimmt (vergleiche Bild 4a).

Diese Bedingung wird formelmäßig ausgedrückt durch:

$$f_{H1} - f_{H2} = f_T = c \cdot e^{b\alpha}$$

α = Drehwinkel

c und b zu bestimmende Konstanten

e = 2,718. Basis der natürlichen Logarithmen.

Der Vorteil dieses Frequenzganges ist, daß die prozentuale Ablesegenauigkeit überall gleich groß ist. Wie Bild 4a zeigt, wird jedoch im unteren Frequenzbereich die exponentielle Beziehung zwischen α und f verlassen und die lineare Beziehung ($f = c \cdot \alpha$) angewendet, um das Gebiet zwischen 100 und 0 Hz nicht zu sehr zu dehnen.

Für den Bereich von 36° (100 Hz)... 180° (25 000 Hz) gilt für R folgende Formel:

$$R = \sqrt{\frac{2c \cdot b \cdot C_0 \cdot 4\pi d \cdot e^{ba}}{f_0 \cdot (n-1) \cdot \epsilon \cdot \left(1 - \frac{c}{f_0} \cdot e^{ba}\right)^3} + r^2}$$

f_0 = höchste Frequenz des variablen Oszillators = Frequenz des festen Oszillators.

C_0 = Anfangskapazität (cm)

(1 cm = 1,11 pF)

Die Konstanten b und c der Exponentialfunktion lassen sich aus zwei Beziehungen bestimmen:

1) $\alpha = 180^\circ = \pi$; dann soll $f_0 - f_{H2} = 25$ kHz sein.

2) $\alpha = 36^\circ = 0,2\pi$; dann soll $f_0 - f_{H2} = 100$ Hz sein.

Aus 1):

$$f_0 - f_{H2} = c \cdot e^{b\pi} = 25\,000$$

und 2):

$$f_0 - f_{H2} = c \cdot e^{b \cdot 0,2\pi} = 100$$

läßt sich c und b berechnen, so daß damit alle Größen in der Gleichung für R bekannt sind. Bei Ausrechnung der Radien zeigt sich, daß für kleine Drehwinkel, bis ca. $0,3\pi$, R nicht viel größer als der Plattenausschnitt r ist, das heißt, es machen sich unterhalb 50° Drehwinkel die Streu-(Rand-)Kapazitäten störend bemerkbar. Das läßt sich vermeiden, wenn man einzelne Rotorplatten kürzt, so daß innerhalb des Drehwinkels von 0° bis ca. 50° nur eine oder zwei Rotorplatten in den Stator eintauchen, die anderen aber außer Eingriff bleiben.

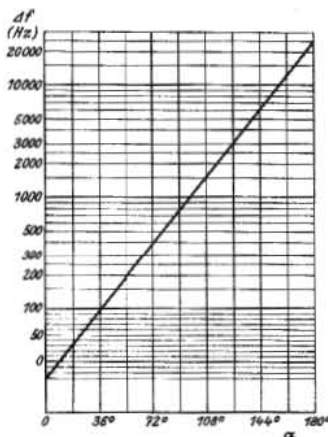


Bild 4a.

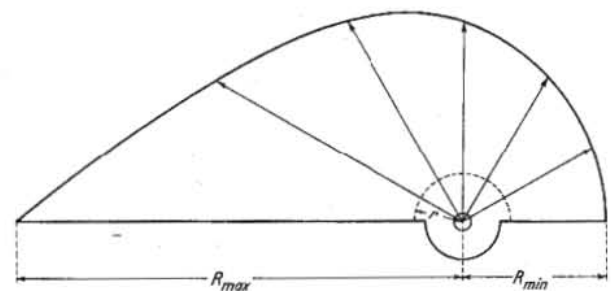
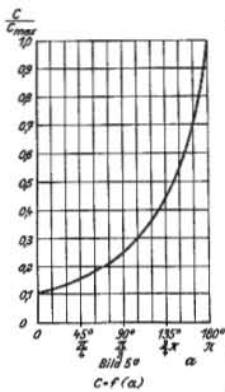


Bild 4b. Randkurve eines Drehkondensators für Schwebungssumme

5. Frequenzgerader Kondensator

Voraussetzung: f proportional α

Verwendungszweck: Geräte mit Frequenzziehung



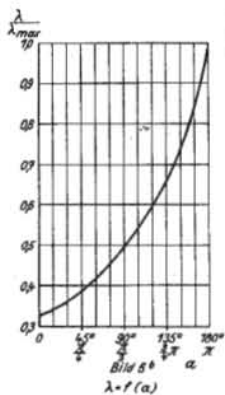
$$\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{\left(\sqrt{\frac{C_{\max}}{C_0}} - \left[\sqrt{\frac{C_{\max}}{C_0}} - 1 \right] \frac{\alpha}{\pi} \right)^2}$$

und für $C_{\max} : C_0 = 9$

$$\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{\left(3 - 2 \frac{\alpha}{\pi} \right)^2}$$

$$\frac{C}{C_{\max}} = \frac{1}{\left(3 - 2 \frac{\alpha^0}{180^0} \right)^2}$$

$$C_{\max} = 1,11 (n-1) \cdot \varepsilon \cdot \frac{R_{\max}^2 - r^2}{16 d} \cdot \left(\frac{f_0}{f_{\max}} + \frac{f_0^2}{f_{\max}^2} \right) \quad \text{(cm}^2\text{)/(cm)}$$

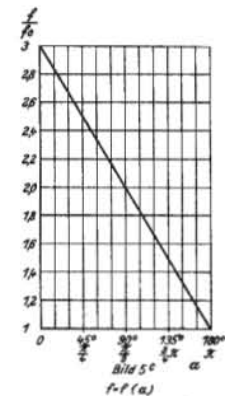


$$\frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_0} - \left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_0} - 1 \right) \frac{\alpha}{\pi}}$$

und für $\lambda_{\max} : \lambda_0 = 3$

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{3 - 2 \frac{\alpha}{\pi}}$$

$$\frac{\lambda}{\lambda_{\max}} = \frac{1}{3 - 2 \frac{\alpha^0}{180^0}}$$



$$f = f_{\max} - (f_{\max} - f_0) \frac{\alpha}{\pi}$$

$$\frac{f}{f_0} = \frac{f_{\max}}{f_0} - \left(\frac{f_{\max}}{f_0} - 1 \right) \frac{\alpha}{\pi}$$

und für $f_{\max} : f_0 = 3$

$$\frac{f}{f_0} = 3 - 2 \frac{\alpha}{\pi}$$

$$\frac{f}{f_0} = 3 - 2 \frac{\alpha^0}{180^0}$$

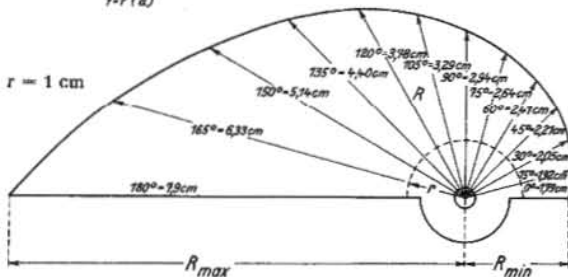


Bild 5d. Randkurve eines frequenzgeraden Kondensators

$$R = \sqrt{\frac{R_{\max}^2 - r^2}{\left(\frac{f_{\max}}{f_0} - \left[\frac{f_{\max}}{f_0} - 1 \right] \frac{\alpha}{\pi} \right)^2} + r^2}$$

6. Kapazitätsgerader Kondensator mit Drehwinkel größer als 180°

Solche Kondensatoren sind von Wert, wenn eine große Abstimmgenauigkeit verlangt wird, denn die gesamte mögliche Kapazitätsänderung verteilt sich hier nicht auf nur 180°, sondern auf z. B. 270°. Für die Dimensionierung solcher Drehkondensatoren ergeben sich folgende Richtlinien:

r = Radius des Statorausschnittes

R = Radius der Rotorrandkurve

ε_0 = abs. Dielektrizitätskonstante = 0,0886 [pF/cm]

$$\varepsilon_0 = \frac{10}{9 \cdot 4 \cdot \pi}$$

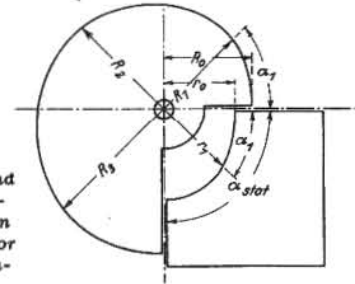


Bild 6. Rotor- und Stator-Plattenschnitt für einen Drehkondensator mit einem Drehwinkel = 270°

Im ersten Quadranten, d. h. $\alpha_1 \leq \alpha_{\text{stat}} \leq 90^\circ$

$$R_1^2 = r_1^2 + K \quad \text{und also auch} \quad R_0^2 = r_0^2 + K$$

(an der Stelle $\alpha = \alpha_1$)

(an der Stelle $\alpha = \alpha_0$)

Die Konstante K ist bestimmt aus max. Drehwinkel und Endkapazität nach

$$K = \frac{2 \cdot C_{\max} \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot (n-1) \cdot \alpha_{\max}} \quad \begin{array}{l} d \text{ (cm) Plattenabstand} \\ C \text{ (pF)} \\ \alpha \text{ im Bogenmaß} \end{array}$$

Aus K und einem angenommenen Wert für r_0 ermittelt man R_0 . Weiter gilt für den Verlauf von r und R über α , daß der geforderte Kurvenverlauf dann gewährleistet ist, wenn

$$r_1^2 = r_0^2 + K \cdot \frac{\alpha}{\alpha_{\text{stat}}} \quad \text{und} \quad R_1^2 = R_0^2 + K \cdot \frac{\alpha}{\alpha_{\text{stat}}} \quad \text{ist.}$$

Für den Rotorradius im zweiten (R_2) und dritten (R_3) Quadranten gelten folgende Formeln:

$$R_2^2 = R_1^2 + K \quad R_3^2 = R_2^2 + K$$

Bild 7 zeigt die durch die Formeln gegebenen Beziehungen für den Radius des Statorausschnittes und der Rotorrandkurve in grafischer Darstellung

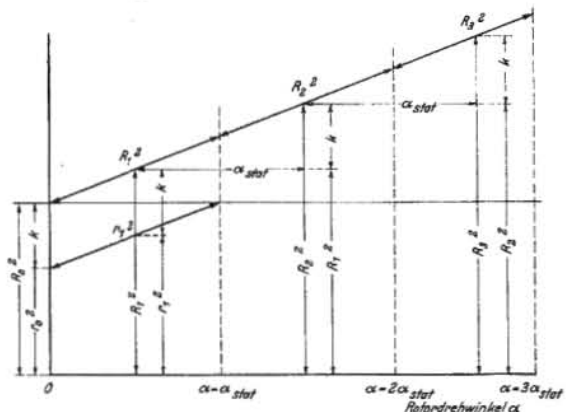


Bild 7. Radius der Rotor-Randkurve und des Stator-Ausschnittes in Abhängigkeit vom Rotor-Drehwinkel α

7. Literatur

- Zu 1...3 und 5 Kammerloher, Hochfrequenztechnik Band 1, Wintersche Verlagsbuchhandlung 1938, Seite 9
- Zu 4 Nüßlein, FTM 1939, Heft 1, Seite 4, - Dr. Schad, FTV 1942, Heft 7, Seite 97
- Zu 6 E. Leider und O. Zinke, ETZ 1942, Heft 37/38, Seite 433
O. Limann, Prüffeldmeßtechnik, 1947, S. 140