Aus FUNKSCHAU 6/1958, im Original 2-spaltig. Digitalisiert 08/2016 von Eike Grund für http://www.radiomuseum.org mit freundlicher Genehmigung der FUNKSCHAU-Redaktion. Die aktuellen Ausgaben der FUNKSCHAU finden Sie unter http://www.funkschau.de

Funktechnische Arbeitsblätter

DK 621.317.334

Kp 01

2. Ausgabe

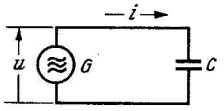
1 Blatt

Kapazitiver Blindwiderstand

A. Phasenverschiebung von Strom und Spannung

Wird an einen Kondensator C nach Bild 1 eine veränderliche Spannung u angeschaltet, so verursacht eine in der Zeitspanne dt erfolgte

Bild 1.



Spannungsänderung du eine Ladungsänderung auf dem Kondensator von der Größe

$$dQ = i\,dt = C \cdot du \qquad (1)$$

daraus ergibt sich für den dabei durch den Kondensator fließende Strom i

$$i = C\frac{du}{dt} \qquad (2)$$

Setzt man für den zeitlichen Verlauf der Generatorspannungsänderung eine Sinuswelle ein,

$$u = U_m \sin(\omega t) \qquad (3)$$

(U_m = Scheitelwert der Spannung, ω = Kreisfrequenz), so ergibt (3) in (2) eingesetzt: [1])

$$i = C\frac{d\,[U_m \sin(\omega t)]}{dt} = \omega \cdot C \cdot U_m \cos(\omega t) = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (4)$$

Ändert sich also die Generatorspannung u sinusförmig, so ist auch der durch den Kondensator fließende Verschiebungsstrom ein Sinusstrom, seine Anfangsphase ist jedoch um $\frac{\pi}{2}$ größer, d. h. der Verschiebungsstrom eilt der Spannung um $\frac{\pi}{2} = 90°$ voraus.

Bild 2 zeigt dies mit Hilfe von Liniendiagramm und gegenübergestelltem Vektordiagramm.

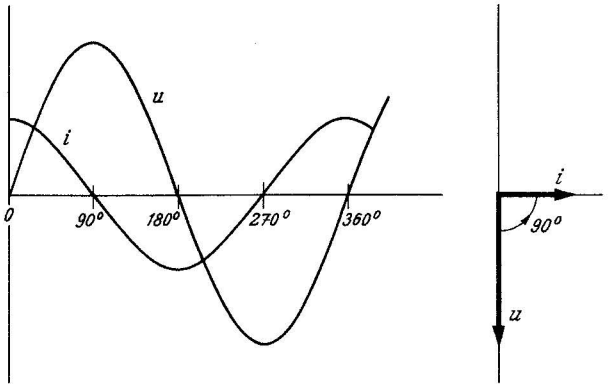


Bild 2. Phasenverschiebung von i und u am Kondensator im Linien- und Vektordiagramm

B. Kapazitiver Blindwiderstand

Für den Zeitpunkt t = 0 zeigt das Liniendiagramm Bild 2 für i einen positiven Höchstwert:

$$i_{t=0} = I_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} \sin\left(0 + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (5)$$

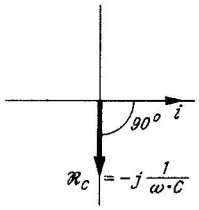
Das Verhältnis

$$\frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C} \qquad (6)$$

stellt einen Widerstand dar, $\frac{1}{\omega C}$ wirkt also wie ein Widerstand.

U_m und I_m treten aber nicht zum gleichen Zeitpunkt auf, sondern U_m eilt mit der konstanten Phasenverschiebung von —90° nach, so daß man das Verhältnis $\frac{U}{I}$, den Widerstand als gerichtete Größe, als Vektor $\mathfrak{R}_C$ mit dem Betrag $\frac{1}{\omega C} = X_C$ und dem Phasenwinkel $-\frac{\pi}{2} = -90°$ auffassen kann, siehe Bild 3. Hier ist wieder, wie in Blatt Ind 01, der Vektor des Blindwiderstandes nach dem Strom als Bezugsvektor (reelle Achse) ausgerichtet, so daß sich bei der Multiplikation des Widerstandsvektors mit dem Strom die Richtung des Spannungsvektors ergibt.

Bild 3. Lage des Vektors $\mathfrak{R}_c$



Die Drehung des Vektors gegen den Bezugsvektor um —90° in der Gaußschen Zahlenebene wird durch Multiplikation mit —j zum Ausdruck gebracht [2]) und es gilt:

$$\boxed{\mathfrak{R}_C = \frac{\mathfrak{U}}{\mathfrak{J}} = -j\frac{1}{\omega C}} \qquad (7)$$

(7) stellt auch dimensionsmäßig einen Widerstand dar, was folgende Dimensionsgleichung [3]) bestätigt:

ω hat die Dimension $\frac{1}{s}$

C hat die Dimension $\frac{A \cdot s}{V}$

also:

$$\mathfrak{R}_C = -j\frac{1}{\omega C}\left[\frac{1}{\frac{1}{s} \cdot \frac{A \cdot s}{V}}\right] = -j\frac{1}{\omega C}\left[\frac{V}{A}\right] \qquad (8)$$

C. Praktische Formeln, Diagramm

$\lvert\mathfrak{R}_C\rvert = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \approx \frac{0{,}159}{f \cdot C}$	in Ω, Hz, F oder MΩ MHz pF
$\lvert\mathfrak{R}_C\rvert \approx \frac{159}{f \cdot C}$	in kΩ, MHz, pF
$\lvert\mathfrak{R}_C\rvert \approx \frac{159000}{f \cdot C}$	in Ω, Hz, µF oder kΩ, kHz, pF
$\lvert\mathfrak{R}_C\rvert \approx 0{,}53 \cdot \frac{\lambda}{C}$	in kΩ, m, pF

für Netzfrequenz 50 Hz:

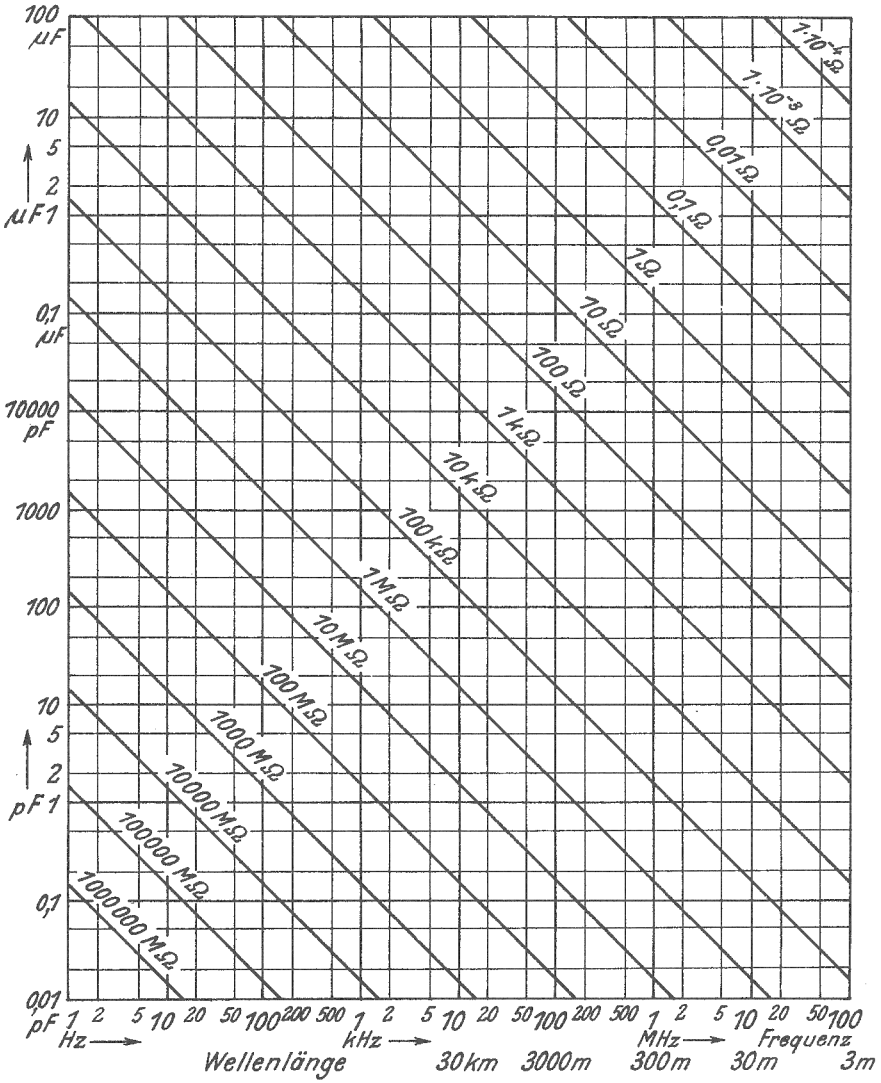
$$\boxed{\lvert\mathfrak{R}_{C50}\rvert = \frac{3183}{C} \quad \text{in } \Omega, \mu F \text{ oder } M\Omega, pF}$$

Zur schnellen Ermittlung kapazitiver Blindwiderstände bei gegebener Kapazität C und Frequenz f dient das auf der Rückseite befindliche Diagramm.

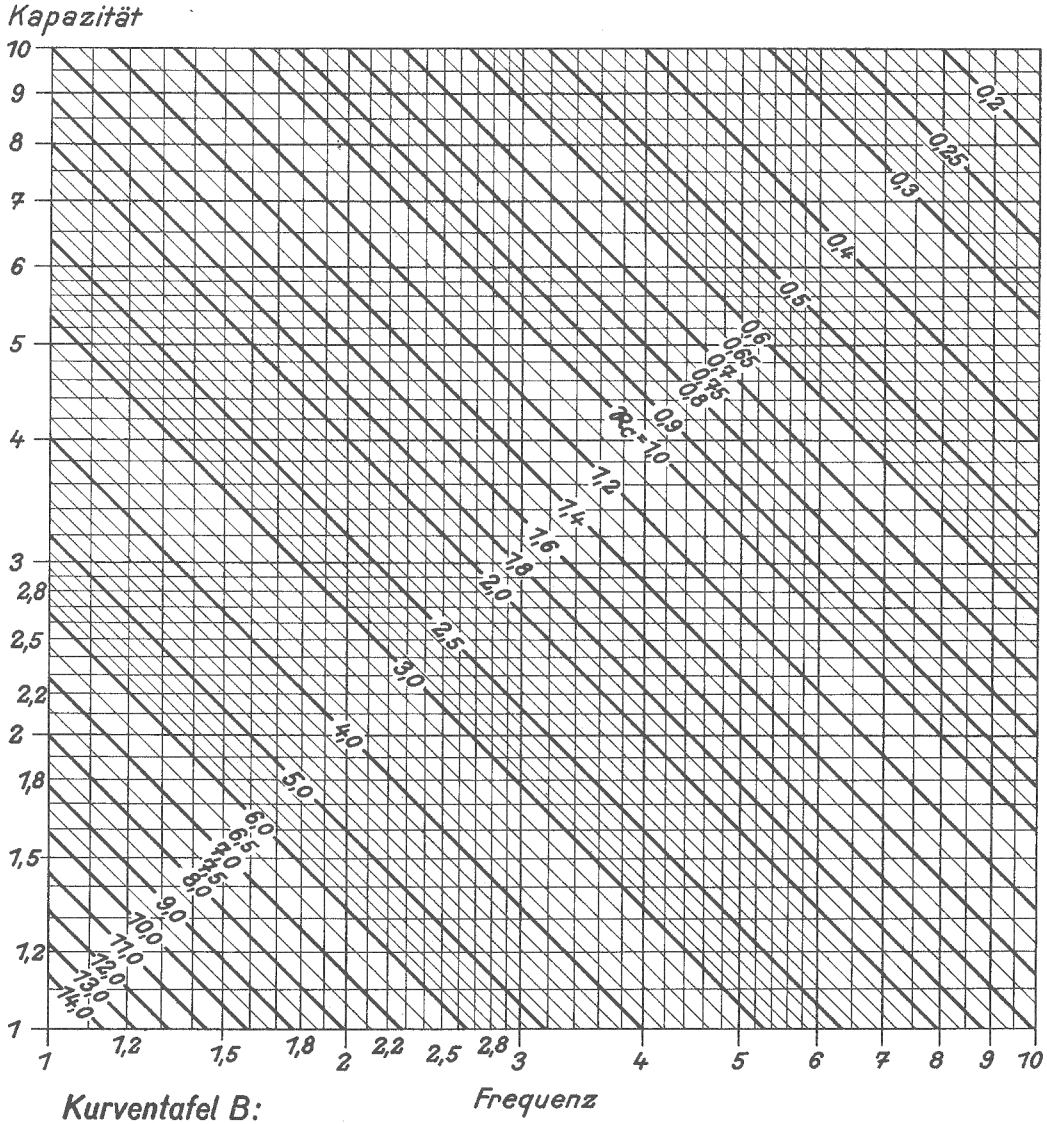
[1]) Siehe Funktechnische Arbeitsblätter Mth 33, Blatt 1 und 2

[2]) Siehe Funktechnische Arbeitsblätter Mth 41, Komplexe Zahlen, Blatt 1...3

[3]) Siehe Funktechnische Arbeitsblätter Ma 21, Blatt 2a, Tabelle 5 (U · I · t-System)



Kurventafel A für den kapazitiven Blindwiderstand



Kurventafel B:

Dekadenunterteilung zur genaueren Rechnung

Zunächst suche man mit Hilfe der Tafel A die Größenordnung des Blindwiderstandes, dann auf Tafel B den genauen Zahlenwert.

Beispiel: Wie groß ist der Blindwiderstand eines Kondensators von 250 pF bei einer Frequenz von 120 kHz?
Tafel A gibt einen Wert von ca 5 kΩ. Aus Tafel B entnimmt man aus den Werten 1,2 (Frequenzskala) und 2,5 (Kapazitätsskala) den Zahlenwert 5,3. Der genaue Wert für $\mathfrak{X}_C$ ist demnach 5,3 kΩ.

Nachdruck verboten!