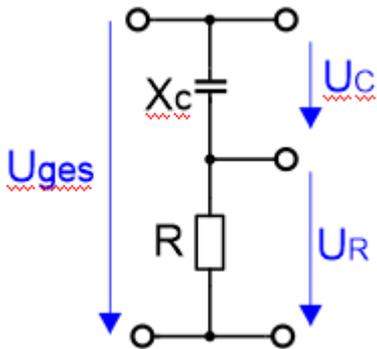
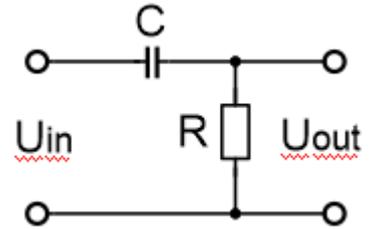


# Hochpass

Die Serienschaltung eines Kondensators mit einem Widerstand, wie in der rechten Schaltung zu sehen, bewirkt, dass die Wechselspannung am Widerstand stark von der Frequenz abhängig ist.

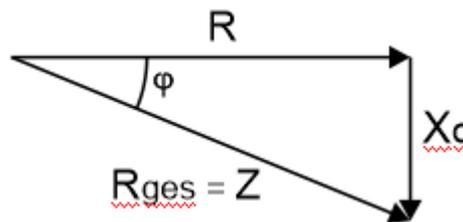
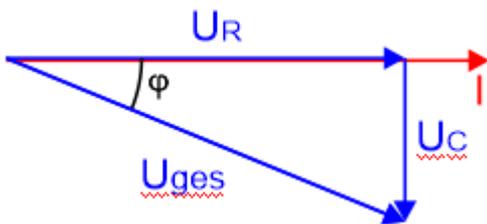


Die Schaltung ist leichter verständlich, wenn sie als Spannungsteiler gezeichnet wird, wie links zu sehen.

$$\text{Es gilt: } \frac{U_c}{U_{ges}} = \frac{R}{R_{ges}} \text{ daraus } U_c = U_{ges} \frac{R}{R_{ges}}$$

$R_{ges}$  ergibt sich aus der Summe von  $X_c$  und  $R$ , da aber  $X_c$  ein Wechselstromwiderstand ist, der eine Phasenverschiebung von Strom und Spannung von  $90^\circ$  bewirkt, muss eine **vektorielle** Addition für die Summenbildung von Spannungen und Widerständen verwendet werden.

Spannungs- und Widerstandsdreieck zum besseren Verständnis nebeneinander:



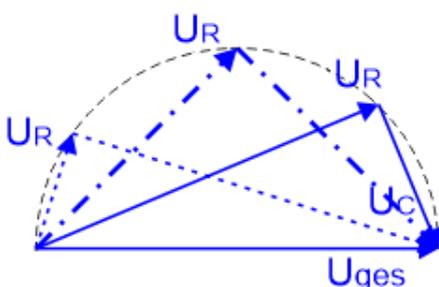
Nr	f	C	R	Xc	Z
	Hz/kHz	µF	kΩ	kΩ	kΩ
1	1	1	4,7	159,2357	159,3050
2	2	1	4,7	79,6178	79,7564
3	5	1	4,7	31,8471	32,1921
4	10	1	4,7	15,9236	16,6027
5	20	1	4,7	7,9618	9,2455
6	33,86	1	4,7	4,7028	6,6488
7	50	1	4,7	3,1847	5,6774
8	100	1	4,7	1,5924	4,9624
9	200	1	4,7	0,7962	4,7670
10	500	1	4,7	0,3185	4,7108
11	1	1	4,7	0,1592	4,7027
12	2	1	4,7	0,0796	4,7007
13	5	1	4,7	0,0318	4,7001
14	10	1	4,7	0,0159	4,7000

In einem praktischen Versuch wurde das Frequenzverhalten eines Hochpasses mit  $C = 1\mu\text{F}$  und  $R = 4,7\text{k}\Omega$  berechnet und gemessen.

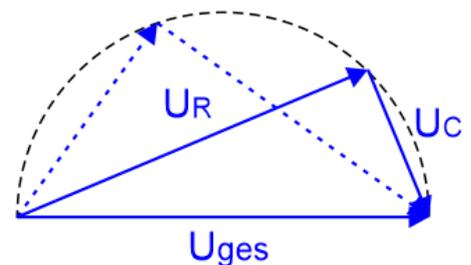
Bei einer Frequenz von 33,86Hz sind die Widerstände  $R$  und  $X_c$  gleich groß, siehe rote Umrandung.

Bei den tiefen Frequenzen bis 10Hz, bei denen  $X_c \gg R$  ist wird der Wert von  $Z$  hauptsächlich von  $X_c$  bestimmt, siehe blaue Umrandung. Bei den hohen Frequenzen ist umgekehrt  $X_c \ll R$  und ab 200Hz aufwärts ist  $Z$  hauptsächlich von  $R$  bestimmt, siehe grüne Umrandung.

Die Gesamtspannung bleibt bei der Messung gleich (20V<sub>ss</sub>) somit verändern sich die Spannungsabfälle über  $R$  und  $X_c$  je nach der angelegten Frequenz. Mit dem Thales Kreis, kann dies gut dargestellt werden, siehe Bild rechts.



Wenn  $X_c$  und  $R$  gleich groß sind, sind damit auch die Spannungen  $U_c$  und  $U_R$  gleich groß, ist der Phasenwinkel  $45^\circ$ , siehe Strich-Punkt-Linie im linken Bild, auch in der Tabelle nächste Seite, Zeile 6.

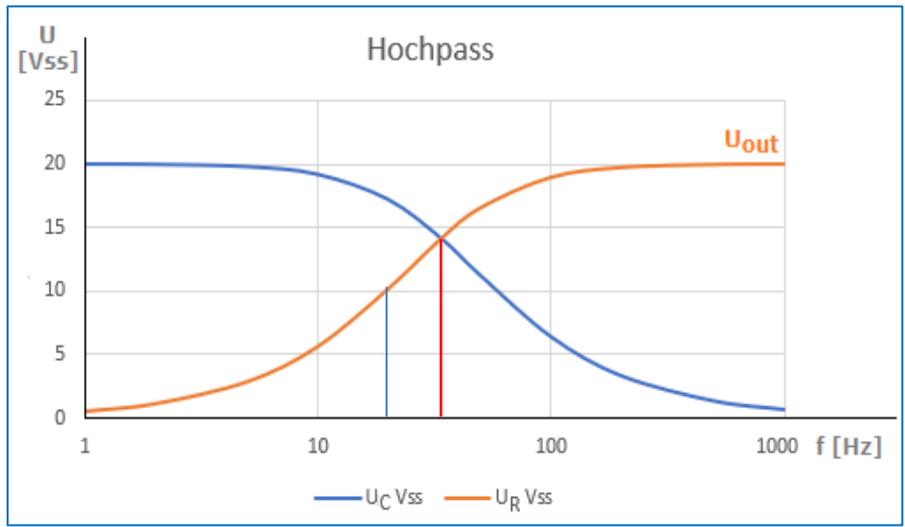


Hier die gesamte Tabelle der Messungen und Berechnungen:

Nr	f	C	R	Xc	Z	U <sub>in</sub>	U <sub>c</sub>	U <sub>R</sub>	gem-U <sub>c</sub>	I
	Hz	μF	kΩ	kΩ	kΩ	V <sub>ss</sub>	V <sub>ss</sub>	V <sub>ss</sub>	V	mA
1	1	1	4,7	159,2357	159,3050	20	19,991	0,5901	0,6	0,126
2	2	1	4,7	79,6178	79,7564	20	19,965	1,1786	1,2	0,251
3	5	1	4,7	31,8471	32,1921	20	19,786	2,92	3	0,621
4	10	1	4,7	15,9236	16,6027	20	19,182	5,6617	5,5	1,205
5	20	1	4,7	7,9618	9,2455	20	17,223	10,167	10,2	2,163
6	33,86	1	4,7	4,7028	6,6488	20	14,146	14,138	14	3,008
7	50	1	4,7	3,1847	5,6774	20	11,219	16,557	16,4	3,523
8	100	1	4,7	1,5924	4,9624	20	6,4177	18,942	19	4,030
9	200	1	4,7	0,7962	4,7670	20	3,3404	19,719	19,5	4,196
10	500	1	4,7	0,3185	4,7108	20	1,3521	19,954	20	4,246
11	1000	1	4,7	0,1592	4,7027	20	0,6772	19,989	20	4,253
12	2000	1	4,7	0,0796	4,7007	20	0,3388	19,997	20	4,255

Die orangen Felder sind die Eingabefelder, die blauen Felder sind die berechneten Werte, rote Zahlen sind mit dem Oszilloskop gemessene Spannungen. In der Tabelle kann das Frequenz-Verhalten von Widerständen zu Spannungen und zum Strom betrachtet werden.

### Spannungsdiagramm von U<sub>R</sub> und U<sub>c</sub>



In diesem Diagramm wurden die Werte aus der Tabelle im blau umrandeten Teil genommen.

Bei der roten Linie sind die beiden Widerstände bei einer Frequenz von 33,9Hz gleich groß.

Dieser Wert kann auch mit der Formel  $f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$  berechnet werden.

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot 4700\Omega \cdot 1\mu F} = 33,86 \text{ Hz}$$

Bei dieser Frequenz sinkt die Ausgangsspannung von 20V<sub>ss</sub> auf 14,1V<sub>ss</sub>, was einer Dämpfung um 3dB entspricht:

$$V_u = 20 \cdot \log \frac{U_{out}}{U_{in}} = 20 \cdot \log \frac{14,1V}{20V} = -3dB$$

### Nicht wirklich wichtig, aber ein häufiger Fehler aus der Praxis:

Bei der Grenzfrequenz  $f_g$  sind die Widerstände R und Xc gleich groß und damit auch die Spannungen U<sub>R</sub> und U<sub>c</sub>. Der errechnete Wert „U<sub>c</sub>“ und der gemessene Wert „gem-U<sub>c</sub>“ mit 14V ist nahezu gleich. In Serienschaltungen wird üblicherweise bei gleichen Widerständen (ohmsche Widerstände) die Spannung halbiert. Was im Umkehrschluss verstanden wird >halbe Spannung => gleiche Widerstände<. Bei 20V<sub>ss</sub> wären das 10V<sub>ss</sub> und nicht 14V<sub>ss</sub>. Diese Fehleinschätzung tritt aufgrund von Erfahrungen auf, die Grenzfrequenz läge dann bei etwa 20Hz (blaue Gerade), wohl in derselben Oktave, aber doch falsch. **Erkenntnis: Bei Serienschaltungen mit Wechselstrom und bei gleichen Widerstandswerten sinkt die Teilspannung auf 70% der Gesamtspannung und nicht auf die Hälfte.**

