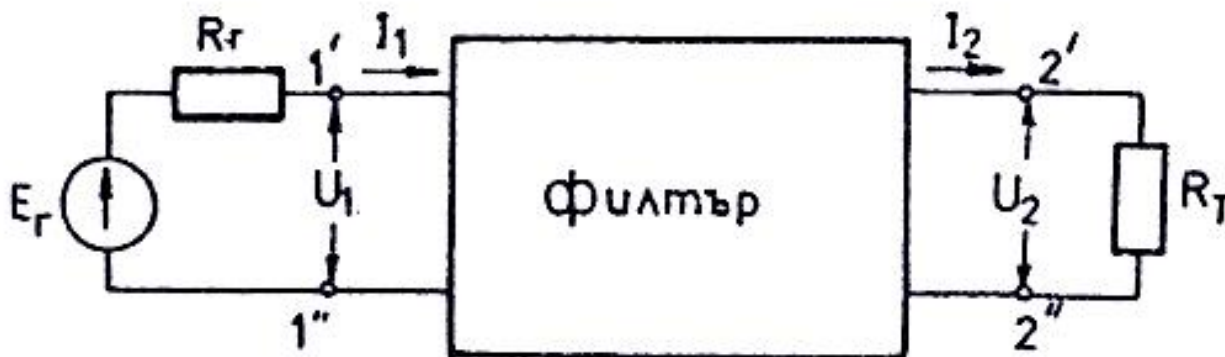


10. Електрически Филтри

1. Определение

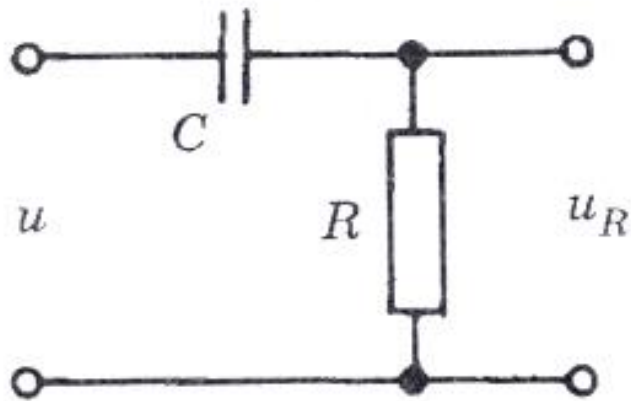
Електрическите филтри са вериги, които пропускат електрически сигнали в определена честотна област (*лента на пропускане*) и не пропускат сигнали с честоти извън нея (*лента на задържане*).

Обикновено те представляват **четириполюсници**, включени между източник на сигнали с вътрешно съпротивление R_r и товарно съпротивление R_T .



10. Електрически Филтри

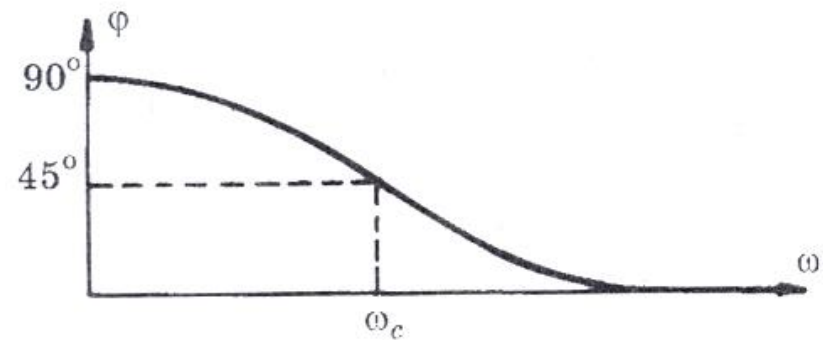
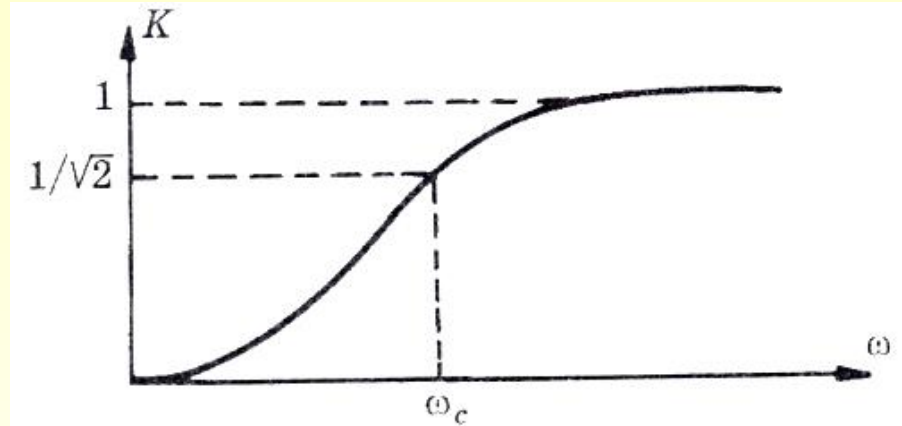
Пример:



$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$K(\omega) = U_R(\omega) / U(\omega)$$

$$\phi(\omega) = \phi_2(\omega) - \phi_1(\omega)$$



10. Електрически Филтри

2. Основни характеристики на филтрите.

Комплексният коефициент на предаване на филтъра е отношението на изходното към входното напрежение

1.
$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = K \cdot e^{j\phi} = \dot{K}(\omega)$$
 Амплитудно-фазова характеристика на филтъра
 $\phi = \phi_2 - \phi_1$ - фазова разлика м/у изходното и входно U

2.
$$K(\omega) = \frac{U_{2m}(\omega)}{U_{1m}(\omega)}$$
 Амплитудно-честотна характеристика (АЧХ)

3.
$$\phi(\omega) = \phi_2 - \phi_1$$
 Фазово-честотна характеристика (ФЧХ)

Идеален филтър: $K(\omega) = 1, \phi(\omega) = 0$ в лентата на пропускане

$K(\omega) \ll 1, \phi(\omega) = \pi / 2$ в лентата на непропускане

За честотната лентата на пропускане филтърът трябва да има малко съпротивление, а извън нея - много високо.

10. Електрически Филтри

$$K = \ln \frac{U_{2m}}{U_{1m}} (Np) \quad \equiv \quad K = 20 \cdot \lg \frac{U_{2m}}{U_{1m}} (dB)$$

$$K = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} (dB)$$

$$1 Np = 8.68 dB$$

↑
Непер

↑
Децибел

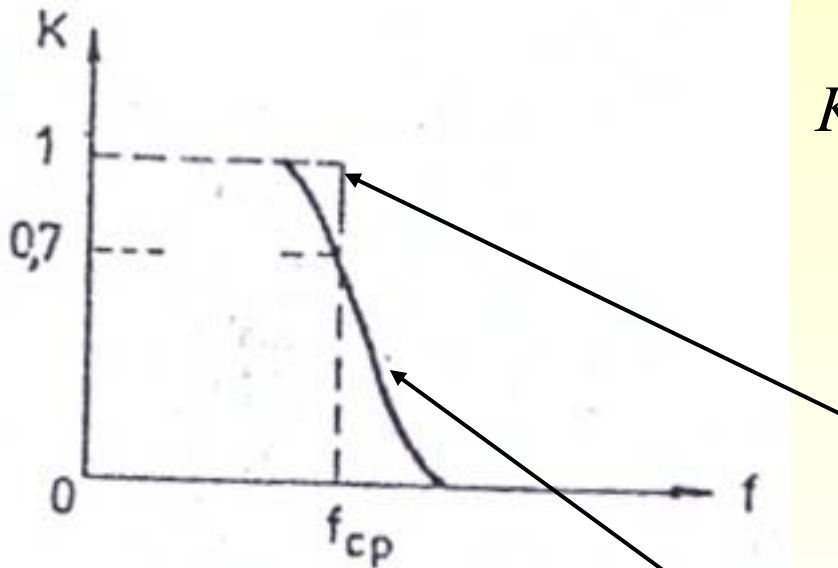
Коефициент на предаване по напрежение и по мощност!

Зад.1 Филтър $f=100$ MHz $U_{2m}=0.2$ V, $U_{1m}=20$, $K=?$ (dB)

Зад.2 Телефонът ви приема 5G сигнал с $P_2=1$ pW а излъчената мощност от базовата станция е 20 W, колко е коефициентът на предаване (затихване) в на сигнала по мощност в (dB)?

10. Електрически Филтри

НЧ филтър- пропуска ниски честоти



$$K(f) = \frac{U_{2m}(f)}{U_{1m}(f)} \quad - \text{ Амплитудно-честотна характеристика (АЧХ)}$$

идеален филтър (пунктирана линия)

реален филтър

$$K(f_H) = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

f_C – гранична честота (честота на срязване) е тази, за която $K = 0.707 K_0$ (горна гранична - f_H или долна гранична f_L честота).
Лента на пропускане $\rightarrow 0$ до f_H , непропускане $f_H - \infty$ (безкрайност)

10. Електрически Филтри

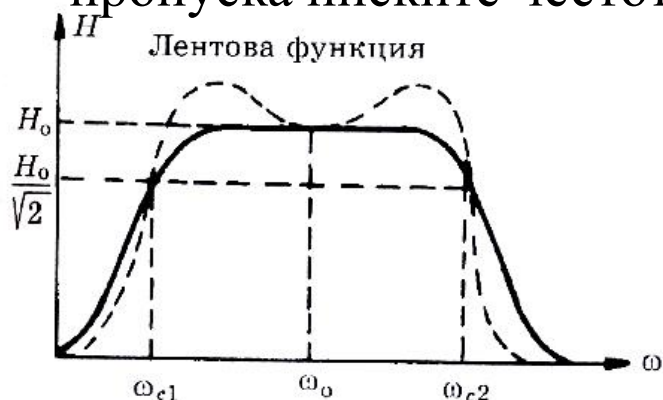
3. Видове филтри

приемаме $H(\omega) = K(\omega)$

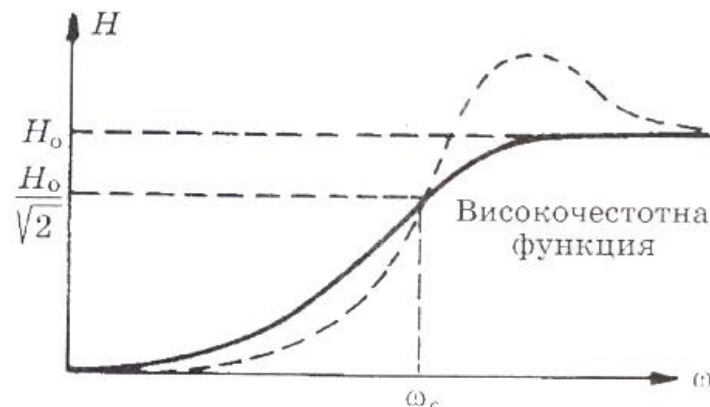


- нискочестотен (Low Pass)

пропуска ниските честоти

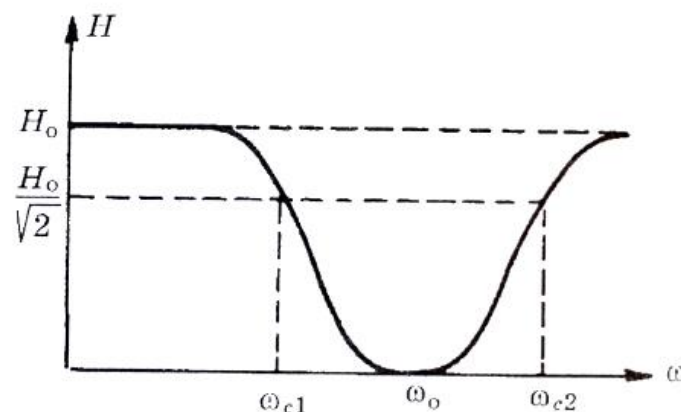


- лентов (Band Pass)



- високочестотен (High Pass)

пропуска високите честоти



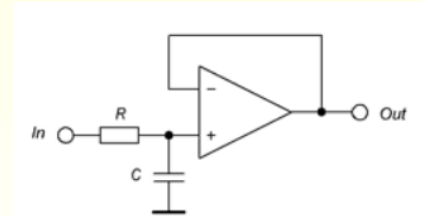
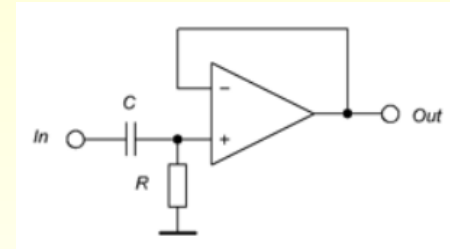
- заграждащ филтър (Notch, band-rejection)

Непрекъснатата линия - RC-филтър , пунктирна линия - LC-филтър

10. Електрически Филтри

- **Пасивни филтри** - използват само пасивни елементи (RC, LC):
- -НЧ филтър- пропуска сигнали с ниски честоти;
- -ВЧ филтър- пропуска сигнали с високи честоти;
- -Лентов филтър- пропуска сигнали в дадена честотна лента;
- -Лентов заграждащ филтър- не пропуска в дадена лента.

- **Активни филтри** - филтър + ОУ (ОЕ-II)



- Според съставните им елементи филтрите са:

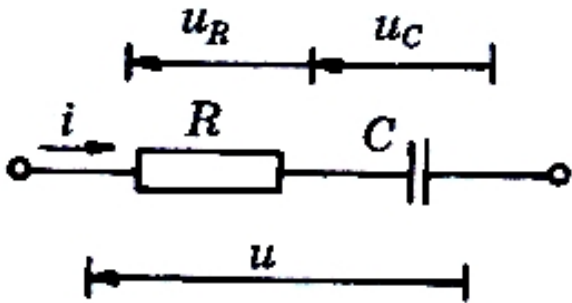
- **RC филтри** – съставните им елементи са резистори и кондензатори –най-голямо приложение в интегралната електроника.
- **LC филтри** – съставните им елементи са бобини и кондензатори

10. Електрически Филтри

4. Пасивни RC схеми

RC - веригите са части от сложни схеми, съдържащи последователно или паралелно свързани един или повече резистори и кондензатори.

4.1 Последователна схема



RC -веригата, се разглежда като
двуполюсник, включен към източник
на напрежение U

Токът през веригата i се определя от комплексния импеданс на схемата:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}}, \text{ където } \dot{Z} = R - jX_C = R - j1/(\omega C)$$

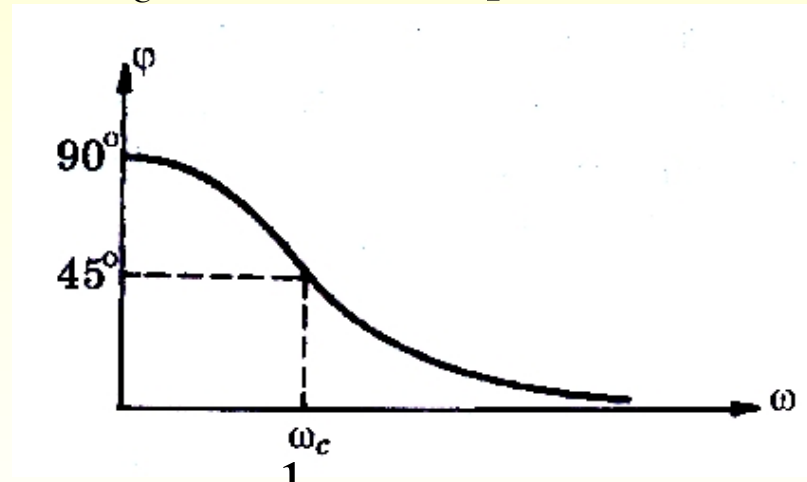
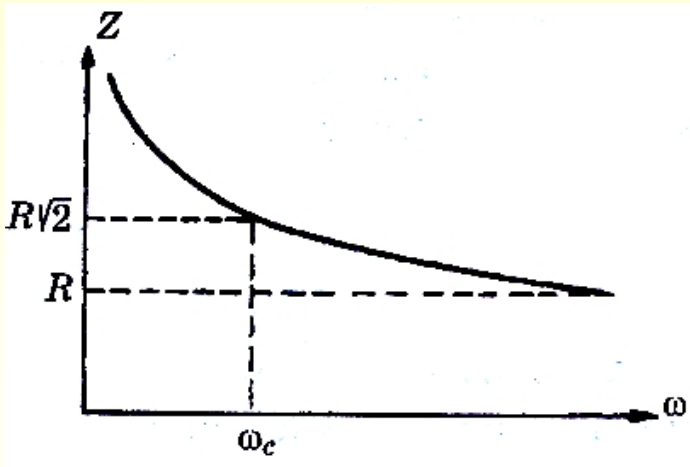
10. Електрически Филтри

Модулът и фазата на импеданса са:

$$Z(\omega) = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{-1}{\omega C.R}\right)$$

U_C - закъснява спрямо тока



При ниски честоти $(1/\omega C) \gg R$

При високи честоти $(1/\omega C) \ll R$

При $\omega = \omega_c$ $R = X_C$

$$\longrightarrow Z \cong \frac{1}{\omega.C} \quad \varphi \approx 90^\circ$$

$$\longrightarrow Z \cong R \quad \varphi \approx 0^\circ$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \Rightarrow Z(\omega) = R\sqrt{2} \quad \varphi(\omega_c) = 45^\circ$$

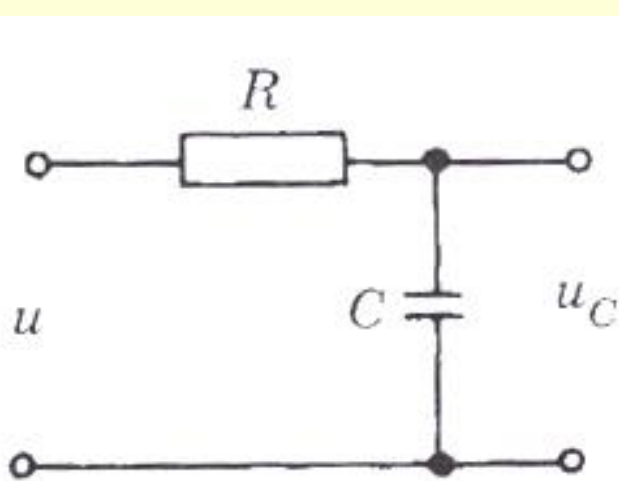
10. Електрически Филтри

- Нискочестотен филтър-НЧФ

Разглеждаме RC -веригата като четириполъусник

$U_1 = u$ – входно напрежение

$U_2 = u_C$ – изходно напрежение



$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{\dot{X}_C \cdot i}{\dot{Z} \cdot i} = \frac{1/j\omega C}{(1/j\omega C + R)} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$$K(\omega) = \sqrt{(\text{Re } \dot{K})^2 + (\text{Im } \dot{K})^2}$$

$$\phi(\omega) = \text{arctg}(\text{Im } \dot{K} / \text{Re } \dot{K})$$

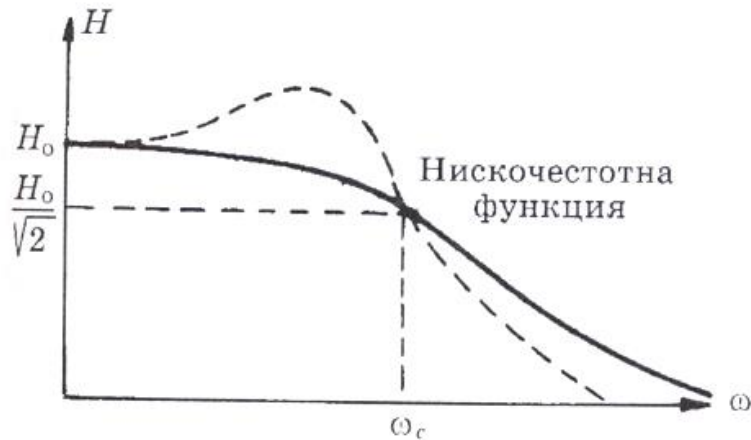
$$\text{При НЧ} \Rightarrow R \ll \frac{1}{\omega C} \Rightarrow U_2 = U_C \approx U_1$$

$$\text{При ВЧ} \Rightarrow R \gg \frac{1}{\omega C} \Rightarrow U_2 = U_C \ll U_1$$

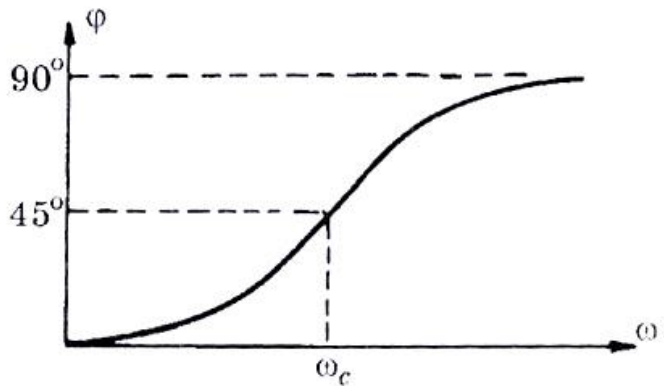
При ниски честоти токът се определя от C , той изпреварва напрежението U на 90° . Изходното напрежение е $U_R = iR$ и неговата фаза се определя от $i(\omega)$!

10. Електрически Филтри

АЧХ



ФЧХ



НЧФ (LOWPASS)

Пропуска сигнали с ниска честота и не пропуска сигнали с висока честота

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}$$

$$\varphi(\omega) = \text{arctg}(-\omega RC)$$

$$K = 0.707 = 1/\sqrt{2} \rightarrow \omega RC = 1$$

$$\omega_c = \frac{1}{R.C} = 2\pi \cdot f_c \rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi.R.C}$$

ω_c, f_c – горна гранична честота

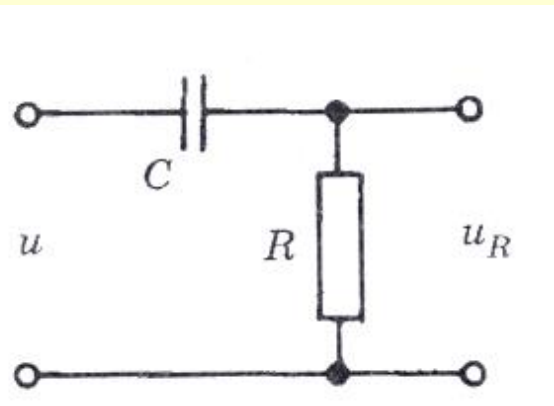
$\Delta\omega = 0 \div \omega_c$ – лента на пропускане

от ω_c до ∞ – лента на непропускане

Зад. Определете ω_c, f_c и лентата на пропускане на НЧ филтър ако $R=100\Omega, C=2\mu F$

10. Електрически Филтри

- Високочестотен филтър -ВЧФ



$$U_2 = u_R \quad - \text{изходно напрежение}$$

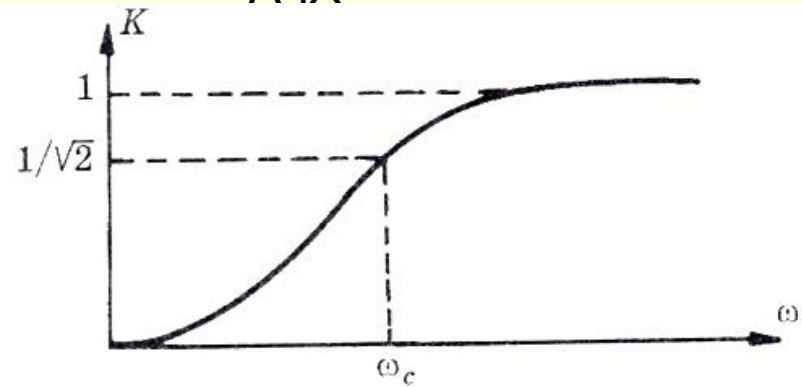
$$\dot{K} = \frac{R \cdot I}{\dot{Z} \cdot I} = \frac{1}{1 + j \frac{1}{1 + \omega RC}}$$

$$\text{При НЧ} \Rightarrow R \ll \frac{1}{\omega C} \Rightarrow U_2 = U_R \ll U_1$$

$$\text{При ВЧ} \Rightarrow R \gg \frac{1}{\omega C} \Rightarrow U_2 = U_R \approx U_1$$

10. Електрически Филтри

АЧХ

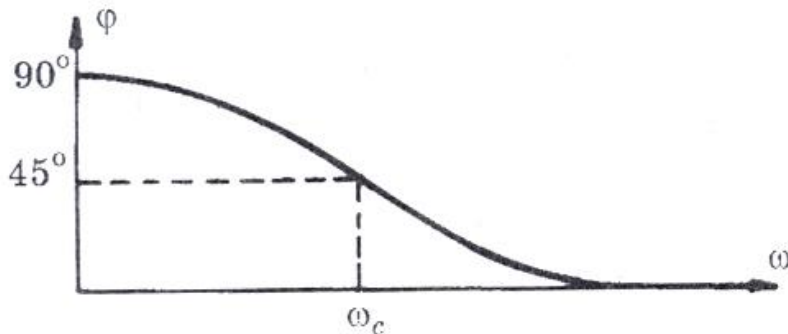


ВЧФ (HIGHPASS)

Пропуска сигнали с висока честотта и не пропуска сигнали с ниска честота

$$K(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 R^2 C^2}}}$$

ФЧХ



$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{1}{\omega RC}$$

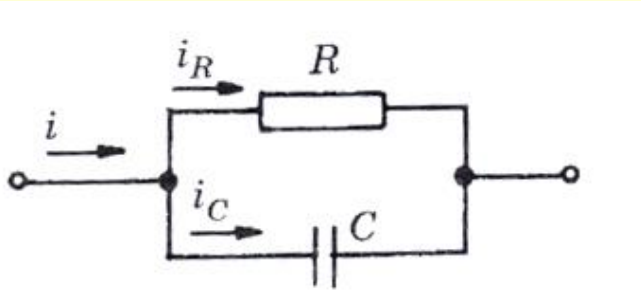
$\Delta\omega = \omega_c \div \infty$ – лента на пропускане
 от 0 до ω_c – лента на непропускане
 ω_c – долна гранична честота

Зад. Определете ω_c , f_c и лентата на непропускане на ВЧ филтър ако $R=1\text{k}\Omega$, $C=2\text{ nF}$.
 Начертайте АЧХ и ФЧХ като отбележите ω_c .

10. Електрически Филтри

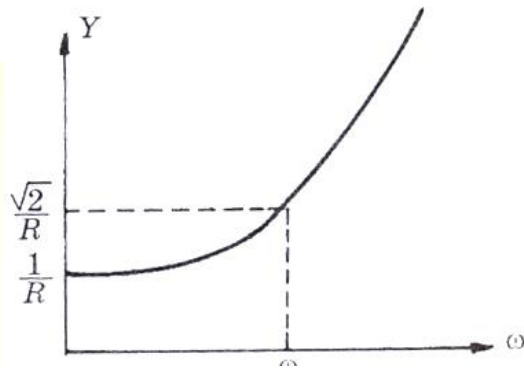
4.2 Паралелна схема

(използва се само като двуполусник – честотно зависимо съпротивление)



$$\dot{Y} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = \frac{1}{R} + j\omega C$$

– основен параметър е адмитанса

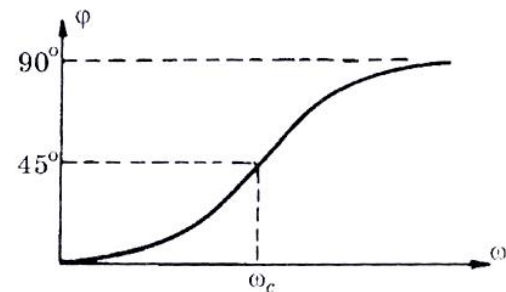


$$Y(\omega) = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2} \quad \omega_c = \frac{1}{RC}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg(\omega RC)$$

При ниски честоти – $Y(\omega) \cong \frac{1}{R}$

При високи честоти – $Y(\omega) \cong \omega C$

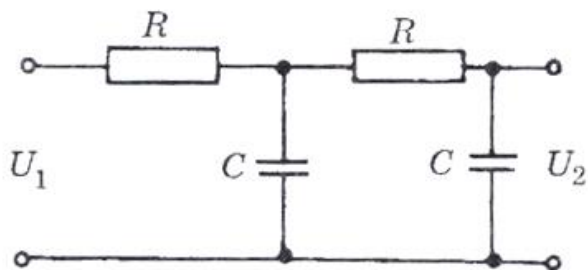


10. Електрически Филтри

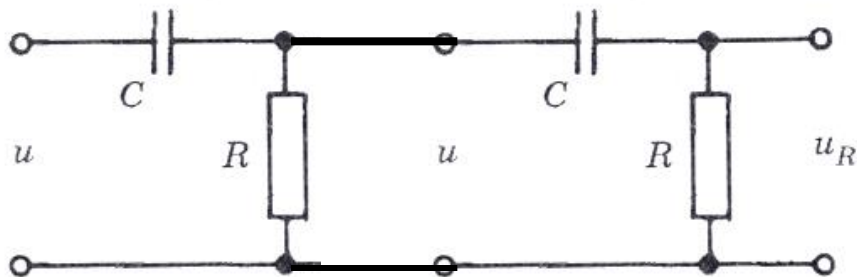
4.3 Г – образни филтри

Съдържат Г- образни RC-звена. Броят на звената води до увеличаване на **стръмността** на АЧХ в зоната на непропускане.

- Нискочестотни – Г – образни филтри

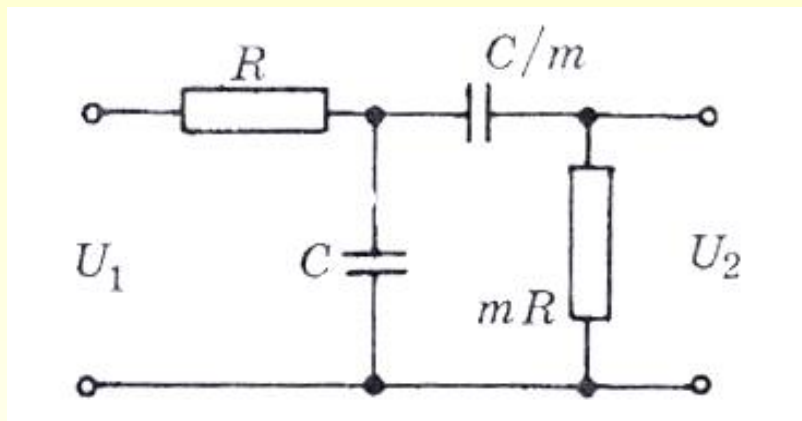


- Високочестотни – Г – образни филтри



10. Електрически Филтри

- Лентови – Г – образни филтри (НЧ + ВЧ звена)



Първото звено не пропуска ВЧ а второто не пропуска НЧ.

Нека $m = 1, 2, 3, \dots$

$$\omega_{C1,2} = \frac{1}{RC} \sqrt{3 + \frac{2}{m} + \frac{1}{2m} \pm (2 + \frac{1}{m}) \sqrt{2 + \frac{1}{m} + \frac{1}{4m^2}}}$$

10. Електрически Филтри

$$m = 1$$

$$\omega_1 = \frac{1}{RC} \sqrt{3 + 2 + \frac{1}{2} - 3\sqrt{2 + 1 + 0.5}} = \frac{0.3}{RC}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{RC} \sqrt{5.5 + 3\sqrt{3.25}} = \frac{3.3}{RC}$$

$$m = 2$$

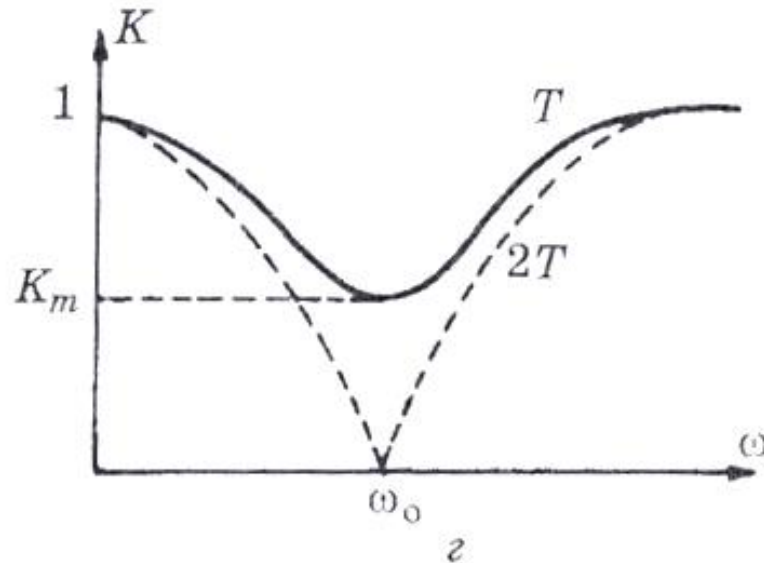
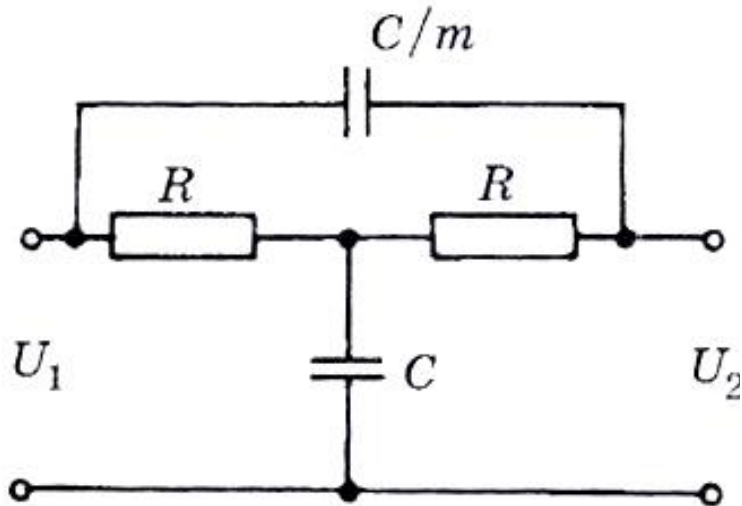
$$\omega_1 = \frac{1}{RC} \sqrt{3 + 1 + \frac{1}{4} - 1.5\sqrt{2 + 0.5 + 0.0625}} = \frac{1.36}{RC}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{RC} \sqrt{4.25 + 1.5\sqrt{1.6}} = \frac{2.58}{RC}$$

10. Електрически филтри

4. 4 Други лентови филтри

- замостено Γ – звено (мост на Вин)

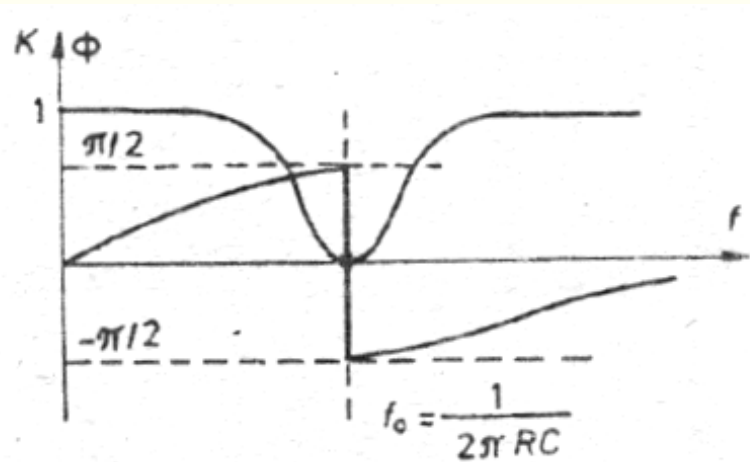
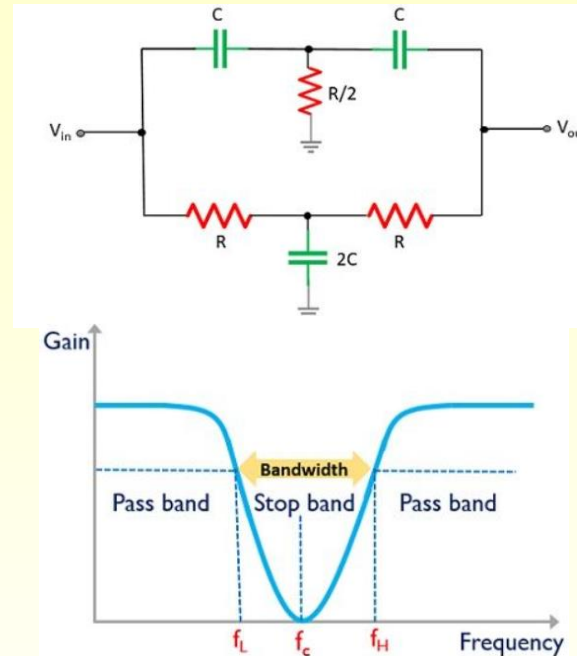
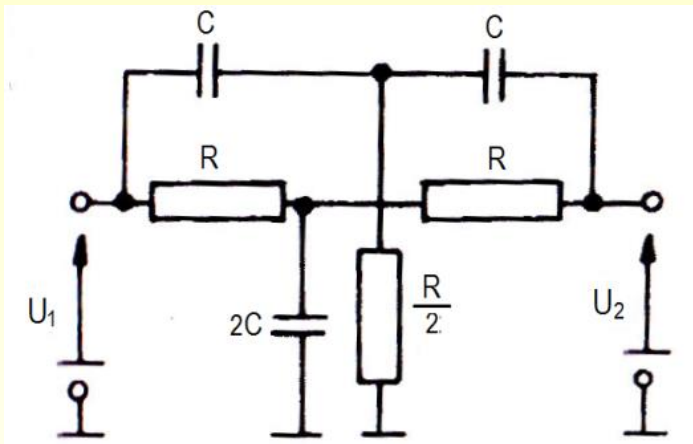


Нека $m = 1, 2, \dots$ $\omega_0 = \frac{m}{R \cdot C}$, $K_m = \frac{2}{m + 2}$

$$\omega_{C1,2} = \frac{m}{RC} \sqrt{3 + \frac{m}{2} + \frac{2}{m} \mp \sqrt{\left(3 + \frac{m}{2} + \frac{2}{m}\right)^2 - 1}}$$

Електрически филтри

Двоен-Т мост-К намалява до 0



$$K = \left[1 + \left(\frac{8\pi fCR}{1 - 16\pi^2 f^2 C^2 R^2} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\phi = \arctg \frac{8\pi fCR}{1 - 16\pi^2 f^2 C^2 R^2}$$

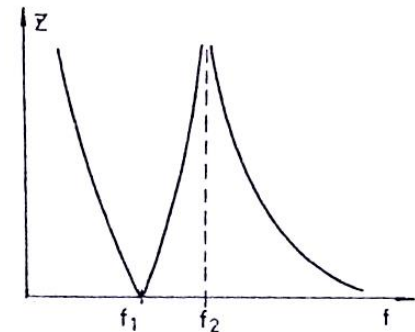
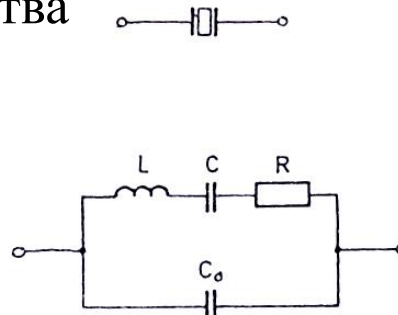
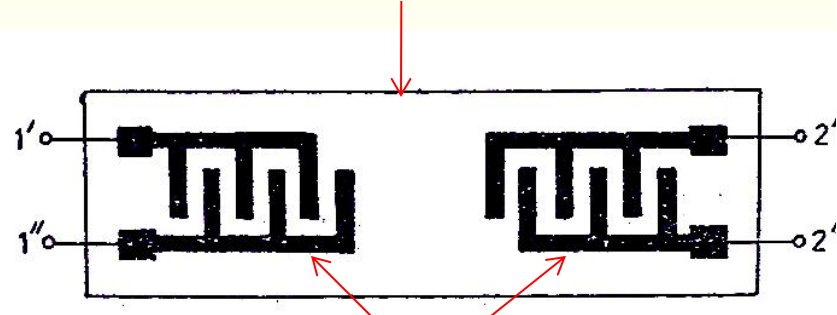
10. Електрически Филтри

Електроакустични филтри – преобразуване на електричните сигнали в акустични, разпространяване на акустичните сигнали с ултразвукова скорост в подходяща среда и обратното им преобразуване в електрични сигнали

- Основно изискване към тези филтри е преобразуването на сигналите от електрически към акустични (и обратно) да се извършва в същата среда, където става и разпространението на акустичния сигнал

Пиезоелектричен резонатор

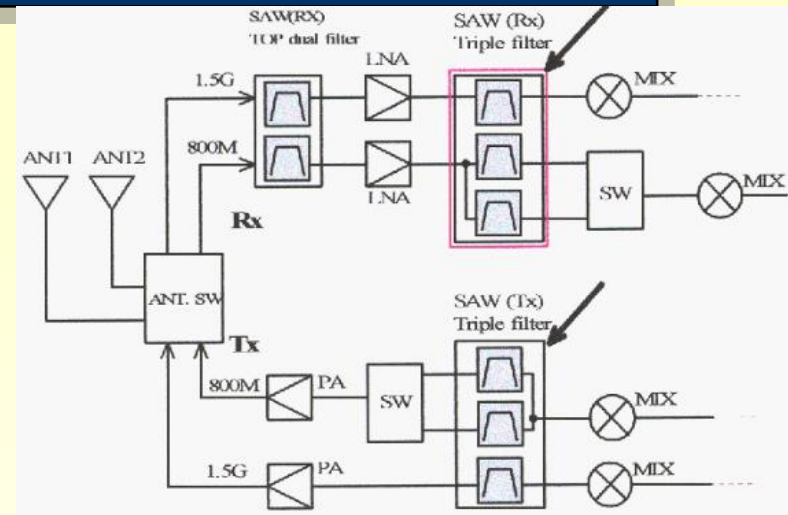
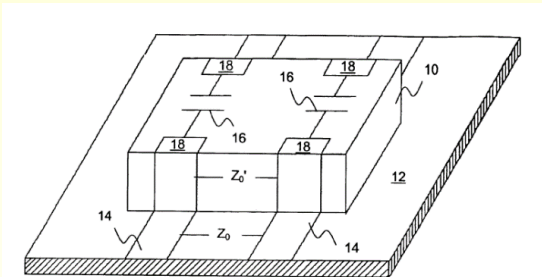
подложка с пиезоелектрични свойства



филтър с повърхнинни акустични вълни – широчината на шините и разстоянието между тях определят вида на АЧХ на филтъра

10. Електрически Филтри

Електроакустични филтри- Multi-band RF SAW filter for mobile phone



Филтър за повърхностен (SMD) монтаж

5. Комерсиални реализации на филтри



Керамични Band Pass филтри