

## 7. Електрически филтри. RC – филтри. Видове. Снемане на амплитудно-честотна характеристика (АЧХ) и фазово-честотна характеристика (ФЧХ). Определяне на честотната лента на пропускане

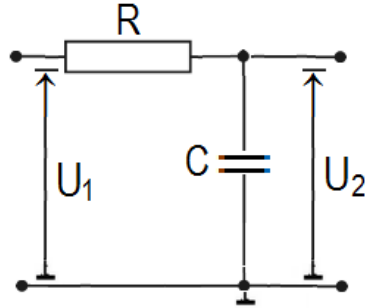
Електрическите филтри са четириполусници, които пропускат електрически сигнали с честоти в определена честотна лента – **лента на пропускане** и не пропускат сигнали в останалата честотна област, която формира **лента на задържане**. Тези честотни области се разделят най-често от една или две **гранични честоти**. Подобна дефиниция предполага коефициент на предаване  $K = 1$  в лентата на пропускане и  $K = 0$  в лентата на задържане, т.е. правоъгълна АЧХ. Реалната АЧХ се изменя плавно – сигналът затихва слабо в лентата на пропускане и бързо намалява в лентата на задържане. Граничните честоти се определят като честоти, при които коеф. на предаване става  $0.707 K_{\max}$ , където  $K_{\max}$  е максималната стойност на  $K$  в лентата на пропускане. ( $0.707 = 1 / \sqrt{2}$  отговаря на затихване – 3dB на  $K_{\text{dB}}$ ).

Според използваните елементи, електрическите филтри се делят на **пасивни** и **активни**. Пасивните съдържат само пасивни елементи – резистори, кондензатори и бобини, докато активните съдържат и усилвателни елементи (транзистори и интегрални схеми на усилватели).

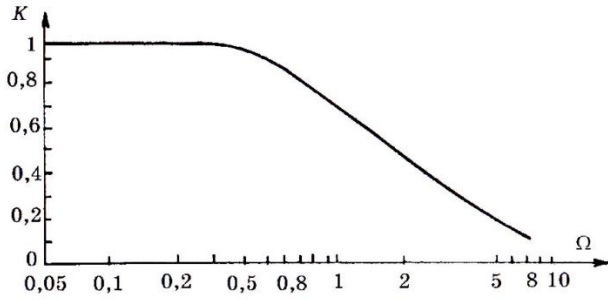
Най-простите като реализация пасивни филтри съдържат RC или RL звена. Като функция те са еквивалентни, но на практика са се наложили RC-филтрите, като по-технологични – бобините заемат повече място и са по-неточни, докато кондензаторите могат да са миниатюрни и с по-малък толеранс.

Според лентата на пропускане електрическите филтри се делят на **нискочестотни (НЧФ)**, **високочестотни (ВЧФ)**, **лентово-пропускащи (ЛПФ)** и **лентово-задържащи (ЛЗФ)**.

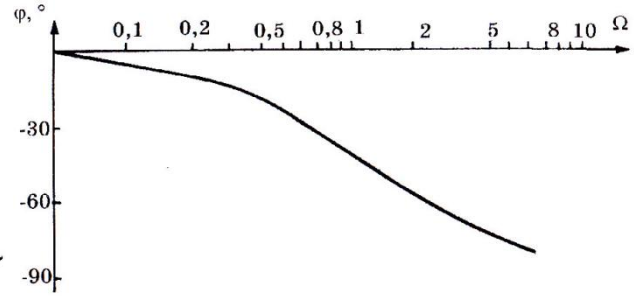
НЧФ (фиг. 1) пропускат сигнали от 0 до  $\omega_c = 1 / RC$ , където  $\omega_c$  е гранична кръгова честота [rad/s],  $\omega_c = 2 \pi f_c$ , където  $f_c$  е линейна гранична честота [Hz].  $K = U_2 / U_1$  е коеф. на предаване по напрежение, а  $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  е фазовата разлика между фазите на изходния и входния сигнал. АЧХ е показана на фиг. 2а, а ФЧХ - на фиг. 2б. За удобство е въведена нормирана честота  $\Omega = \omega / \omega_c$ .



фиг. 1

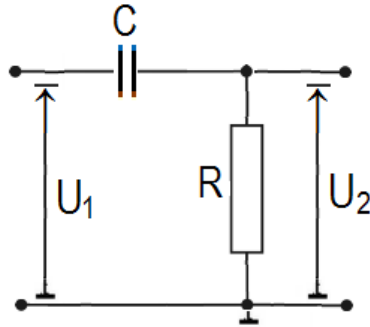


фиг. 2а

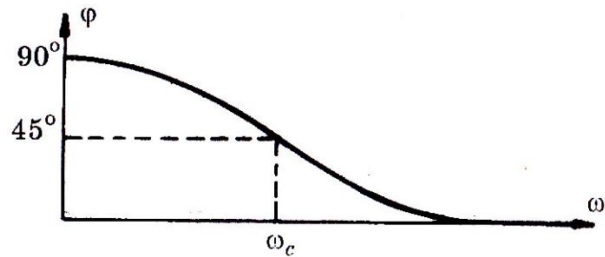
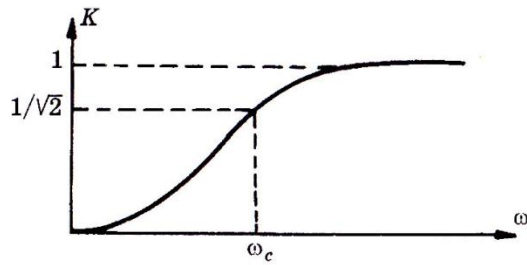


фиг. 2б

Ако разменим местата на R и C се получава ВЧФ (фиг. 3). Тези филтри пропускат сигнали с честота от  $\omega_c = 1 / RC$  до  $\infty$ . Характеристиките им са дадени на фиг. 4.

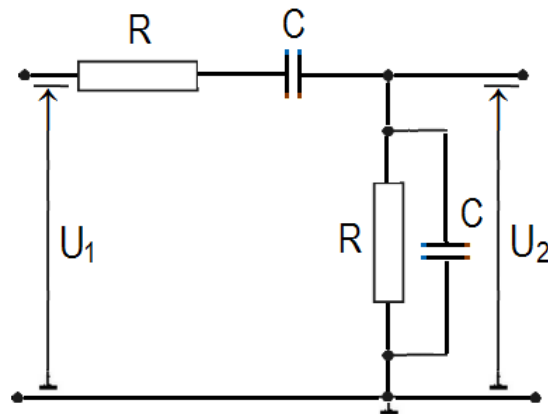


фиг. 3



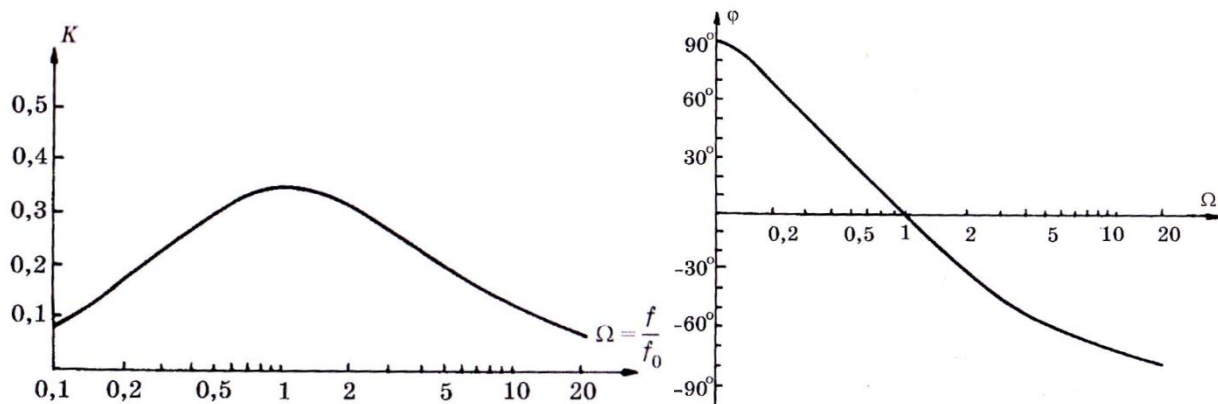
фиг. 4

ЛПФ могат да се реализират по различни начини, най-често като комбинация от НЧФ и ВЧФ. Една интересна схема е мостът на Вин (фиг. 5). Тя е част от мостова схема за измерване на съпротивления или капацитети.



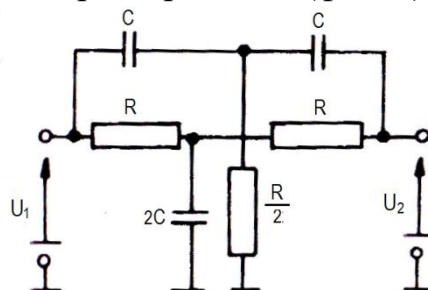
фиг. 5

Характеристиките на този филтър са показани на фиг. 6. АЧХ има камбановидна форма и напомня резонансна крива на трептящ кръг.  $K_{\max} = 1/3$  се достига при честота  $f_0 = 1 / (2\pi RC)$ .

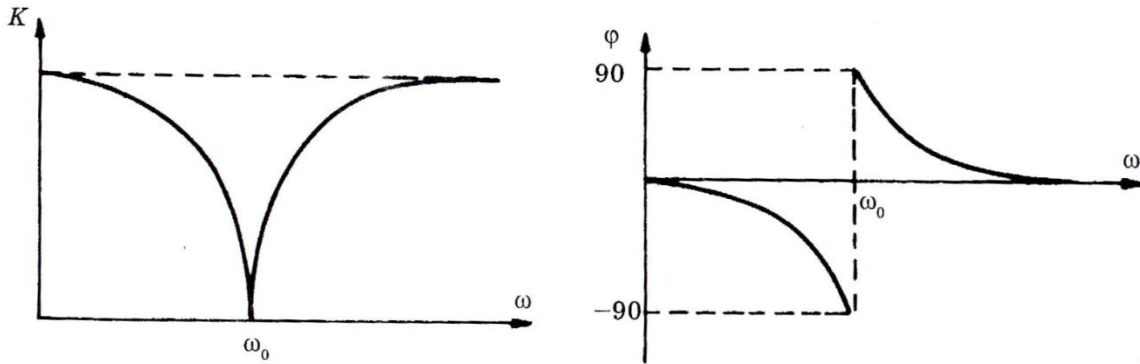


фиг. 6

Пример на ЛЗФ е схемата двоен Т-мост, представляващ две паралелно свързани Т-звена (фиг. 7), които при показаните съотношения на елементите правят филтър с показаните характеристики (фиг. 8).



фиг. 7



фиг. 8

### Задачи

#### Задача 1. Снемане на АЧХ на ЛПФ.

Изследва се схемата мост на Вин (фиг. 5) с елементи  $R = 1\text{k}\Omega$ ,  $C = 10\text{ nF}$ . На входа филтъра се свързва генератор на синусоидално напрежение и се подава напрежение  $U_1 = 1\text{V}$ , с честота  $f = 1\text{kHz}$ . На изхода на филтъра се свързва цифров волтметър за мерене на  $U_2$ . Тъй като  $U_1 = 1\text{V}$ , а  $K = U_2 / U_1$ , то показанието на волтметъра ще показва стойността на  $K$  на съответната честота. Да се снемат АЧХ на филтъра ( $K = K(f)$ ) в честотния диапазон  $[1\text{kHz} \div 200\text{kHz}]$  с логаритмична стъпка ( $1\text{kHz}, 2\text{kHz}, 5\text{kHz}, 10\text{kHz}, \dots, 100\text{kHz}, 200\text{kHz}$ ). Да се определи с отделно измерване максималната стойност на  $K - K_{\text{max}}$ , както и честотата, на която се получава  $f_{\text{max}}$ . Да се сравнят получените стойности с теоретичните ( $K = 1/3$ ,  $f = 1 / (2\pi RC)$ ). Да се начертае АЧХ на полулогаритмична хартия. Да се определят (на ниво  $0.707 K_{\text{max}}$ ) долната  $f_L$  и горната  $f_H$  гранични честоти и да се запишат в протокола. Да се определи лентата на пропускане на филтъра.

#### Задача 2. Снемане на ФЧХ на ЛПФ.

Към схемата от задача 1 се добавя двуканален осцилоскоп, като Канал 1 се свързва към входа на филтъра, а Канал 2 – към изхода. Синхронизацията да става по Канал 1, който служи като репер за сравнение с Канал 2. Определя се разстоянието  $t$  [деления] между върховете на синусоидите на Канал 1 и Канал 2 (които са най-близки) и периодът  $T$  [деления] на синусоидата на Канал 1 на дадена честота. Фазовата разлика е  $\varphi = 360 t / T$  [деления]. (Мащабът по време на развивката на осцилоскопа в случая няма значение!). Резултатът се получава в градуси. Ако върхът на синусоидата на Канал 2 е от ляво на тази на

Канал 1, то  $\varphi$  е положителна ( $> 0$ ), ако е отдясно –  $\varphi$  е отрицателна ( $< 0$ ). Да се снемат ФЧХ на филтъра ( $\varphi = \varphi(f)$ ) в честотния диапазон [1kHz ÷ 200kHz] с логаритмична стъпка (1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz, ..., 100kHz, 200kHz). Да се начертае ФЧХ на полулогаритмична хартия.

### Задача 3. Снемане на АЧХ на ЛЗФ.

Изследва се схемата на двойния Т-мост (фиг. 7) с елементи  $R = 1\text{k}\Omega$ ,  $C = 10\text{ nF}$ ,  $2C = 22\text{ nF}$ ,  $R/2 = 510\ \Omega$ . На входа филтъра се свързва генератор на синусоидално напрежение и се подава напрежение  $U_1 = 1\text{V}$ , с честота  $f = 1\text{kHz}$ . На изхода на филтъра се свързва цифров волтметър за мерене на  $U_2$ . Тъй като  $U_1 = 1\text{V}$ , а  $K = U_2 / U_1$ , то показанието на волтметъра ще показва стойността на  $K$  на съответната честота. Да се снемат АЧХ на филтъра ( $K = K(f)$ ) в честотния диапазон [1kHz ÷ 100kHz] с логаритмична стъпка (1kHz, 2kHz, 5kHz, 10kHz, ..., 100kHz). Да се определи с отделно измерване минималната стойност на  $K - K_{\min}$ , както и честотата, на която се получава –  $f_{\min}$ . Да се сравни  $f_{\min}$  с теоретичната стойност  $f_0 = 1 / (2\pi RC)$ . Да се начертае АЧХ на полулогаритмична хартия. Да се определят (на ниво  $0.707 K_{\max}$ ) долната  $f_L$  и горната  $f_H$  гранични честоти и да се запишат в протокола. Да се определи лентата на пропускане на филтъра.