

**Тема:**  
**Електричні фільтри**

**Коренівська О.Л.**

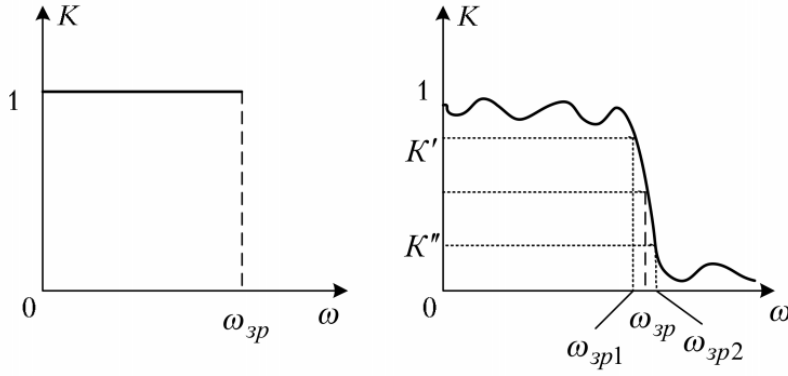
**Фільтрами** називають пристрої, призначені для пропускання з малим згасанням електричних сигналів однієї частоти чи смуги частот та непропускання сигналів усіх інших частот.

Надзвичайно широко використовуються частотні фільтри у радіотехніці та техніці зв'язку.

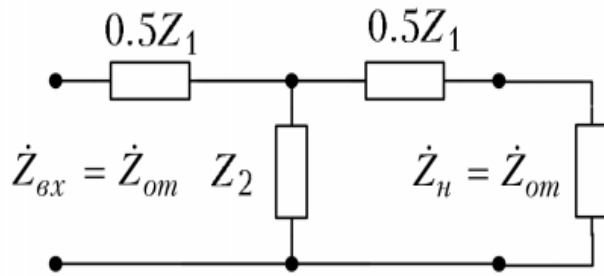
Смуга частот, яка проходить через фільтр з малим згасанням, називається **смугою пропускання (прозорості)** фільтра. Решта частот, для яких згасання сигналу не менше певного значення, належить до **смуги непропускання (згасання)** фільтра. Розділяються ці смуги між собою **граничними частотами (частотами зрізу)**  $\omega_{зр} = 2\pi f_{зр}$ .

### Класифікація фільтрів

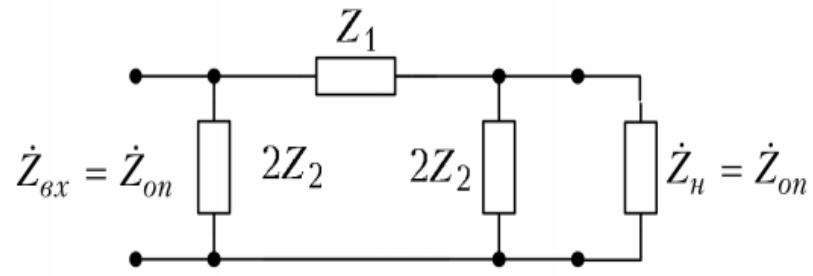
1. Активні і пасивні.
2. Фільтри нижніх частот (ФНЧ) зі смугою прозорості від 0 до  $f_{зр}$ ,  
фільтри верхніх частот (ФВЧ) зі смугою прозорості від  $f_{зр}$  до  $\infty$ ,  
смугові фільтри (СФ) зі смугою прозорості від  $f_{зр1}$  до  $f_{зр2}$ ,  
загороджувальні або режекторні фільтри (ЗФ або РФ) зі смугою непрозорості від  $f_{зр1}$  до  $f_{зр2}$ .
3. одноланковими та багатоланковими.
4. Г-подібні, Т-подібні, П-подібні .
5. Реактивні фільтри, безіндуктивні , активні, п'єзоелектричні та ін.
6. Фільтри типу *k*, у яких добуток  $Z_1 Z_2$  є величиною незалежною від частоти – константа (звідси і назва) та фільтри *m*-типу – за додатковими ознаками.



АЧХ ідеального та реального фільтра



a)



б)

Рисунок 3.5 – Узагальнені схеми: а) – Т-ланки, б) – П-ланки, узгоджених з навантаженням і генератором напруги

Для Т-фільтра узгоджений вхідний опір

$$\dot{Z}_{0T} = \sqrt{0.25\dot{Z}_1^2 + \dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2} .$$

Для П-фільтра, аналогічно, маємо:

$$\dot{Z}_{0П} = \sqrt{\frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2}{1 + \frac{\dot{Z}_1}{4\dot{Z}_2}}} .$$

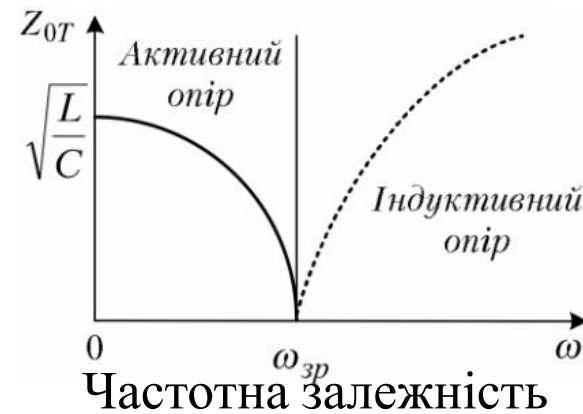
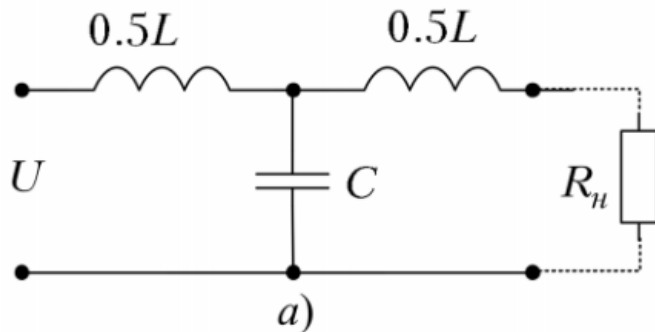
## Реактивні фільтри типу $k$

Ці фільтри так називаються, бо добуток опору послідовного плеча  $\dot{Z}_1$  та опору паралельного плеча  $\dot{Z}_2$  є величиною, яка не залежить від частоти, дорівнює  $\sqrt{L/C}$  і позначається через  $k$  завдяки тому, що опори  $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2$  в реактивних фільтрах протилежно залежать від частоти. Коли  $\dot{Z}_1 = j\omega L$ ,  $\dot{Z}_2 = \frac{1}{j\omega C}$  і навпаки.

### Фільтри низьких частот

Т-подібна ланка містить дві ділянки по  $0,5L$  кожна і ємність  $C$ , а П-подібна – одну ділянку з індуктивністю  $L$  і дві ділянки з ємностями по  $0,5C$ .

#### Т-подібний фільтр

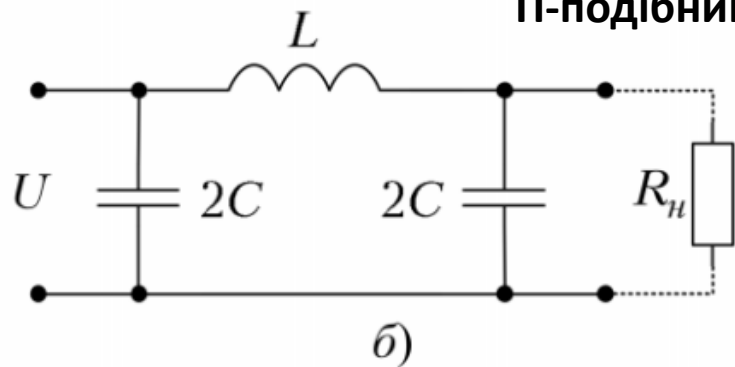


Вхідний узгоджений опір Т-подібного фільтра

$$\dot{Z}_{0T} = \sqrt{0.25\dot{Z}_1^2 + \dot{Z}_1\dot{Z}_2} = \sqrt{j\omega L / j\omega C - 0.25\omega^2 L^2} = \sqrt{\frac{L}{C} - \frac{\omega^2 L^2}{4}}.$$

Частота зрізу  $\omega_{zp} = \sqrt{\frac{4L^2}{LC}} = \frac{2}{\sqrt{LC}}.$

## П-подібний фільтр



Вхідний узгоджений опір

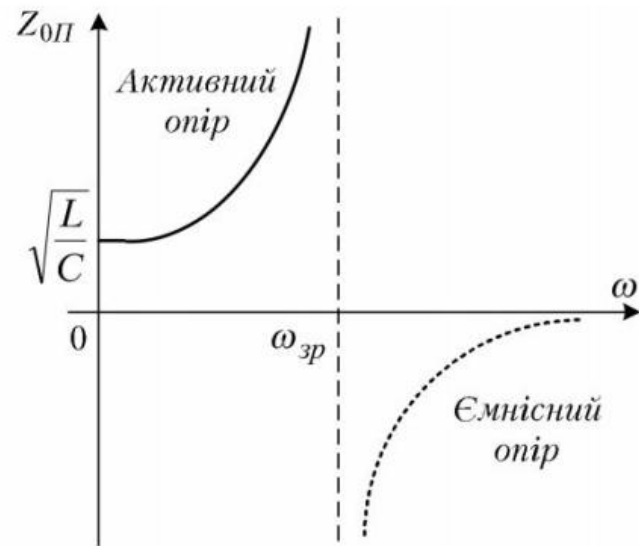
$$\dot{Z}_{0\Pi} = \sqrt{\frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2}{1 + \frac{\dot{Z}_1}{4\dot{Z}_2}}} = \sqrt{\frac{\frac{j\omega L}{j\omega C}}{1 + \frac{j\omega L \cdot j\omega C}{4}}} = \sqrt{\frac{\frac{L}{C}}{1 - \frac{\omega^2 LC}{4}}}$$

Частота зрізу  $\omega_{зр} = 2 / \sqrt{LC}$ .

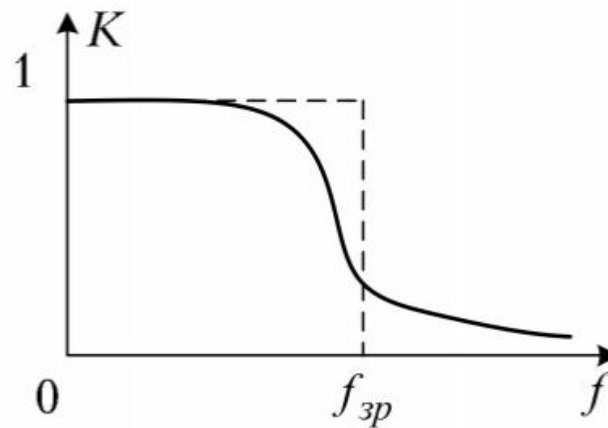
Для знаходження двох невідомих L і C

$$L = R_n / \pi f_{зр}$$

$$C = 1 / R_n \pi f_{зр}$$



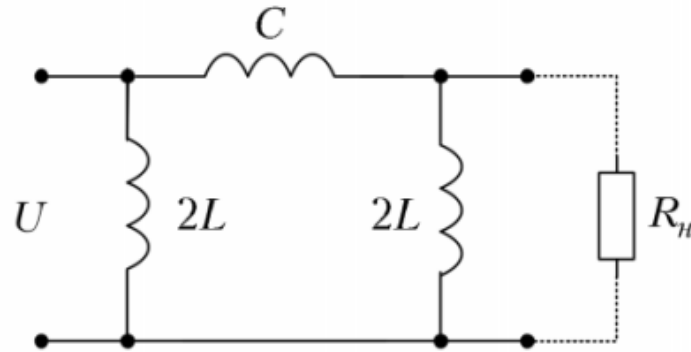
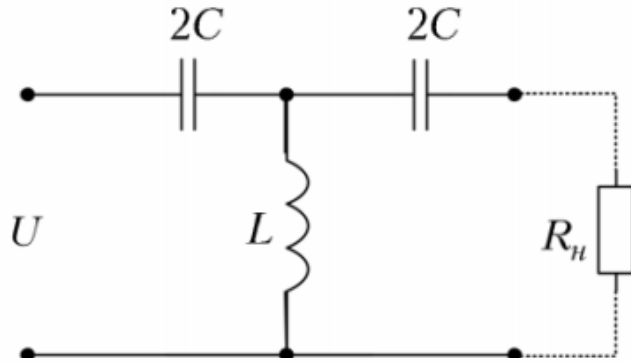
Частотна залежність



АЧХ фільтра низьких частот

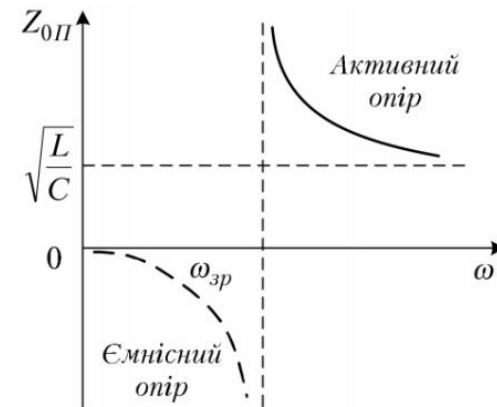
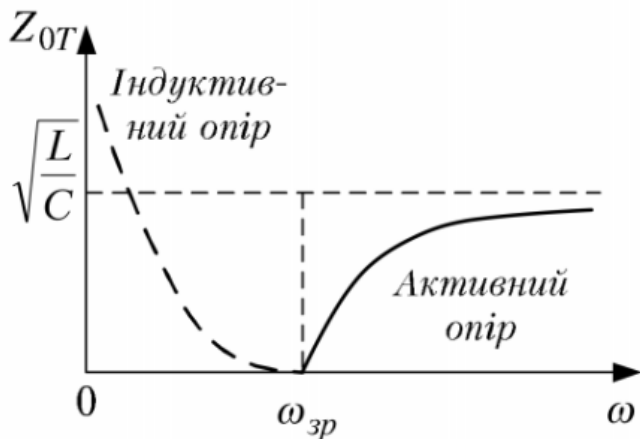
## Фільтри високих частот

T-подібна ланка складається з двох конденсаторів по  $2C$  ємністю кожний і однієї котушки індуктивності  $L$ , а П-подібна ланка – з одного конденсатора ємністю  $C$  і двох котушок з індуктивностями по  $2L$  кожна.



$$\begin{aligned} \dot{Z}_{0T} &= \sqrt{0.25\dot{Z}_1^2 + \dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2} = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C} - \frac{1}{4\omega^2 C^2}} = \\ &= \sqrt{\frac{L}{C} - \frac{1}{4\omega^2 C^2}} = \sqrt{\frac{L}{C} \left[ 1 - \frac{1}{4\omega^2 LC} \right]}, \end{aligned}$$

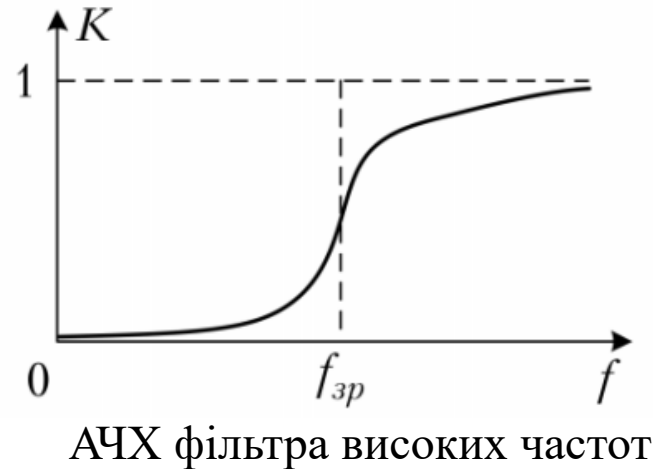
$$\begin{aligned} \dot{Z}_{0\Pi} &= \sqrt{\frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_2}{1 + \frac{\dot{Z}_1}{4\dot{Z}_2}}} = \sqrt{\frac{\frac{j\omega L}{j\omega C}}{1 + \frac{1}{4j\omega C \cdot j\omega L}}} = \sqrt{\frac{\frac{L}{C}}{1 - \frac{1}{4\omega^2 CL}}} \end{aligned}$$



Частотна залежність

Розрахунок параметрів ФВЧ полягає у визначенні параметрів  $L$  і  $C$  фільтра за заданими  $f_{зр}$  та  $R_n$ .

$$L = R_n / 4\pi f_{зр}, \quad C = 1 / 4R_n \pi f_{зр}.$$



### Смугові та загороджувальні фільтри

Смуговими фільтрами називаються фільтри, смуга прозорості яких обмежена двома частотами зрізу  $\omega_{зр1}$  та  $\omega_{зр2}$

Ланки смугового фільтра (СФ) складаються з послідовного контуру  $L1$   $C1$  і паралельного контуру  $L2$   $C2$

Обидва контури, найчастіше, мають однакові резонансні частоти:

$$\omega_{зр} = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}.$$

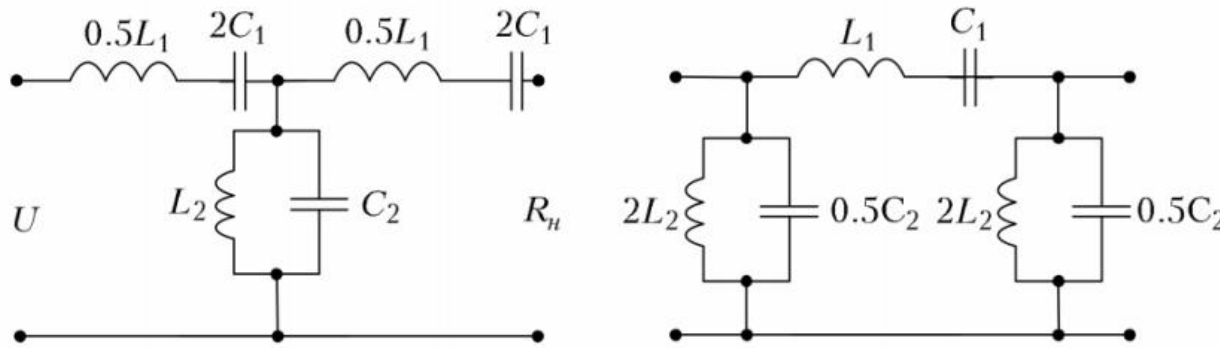


Рисунок 3.14 – Схеми Т-подібної та П-подібної ланок СФ

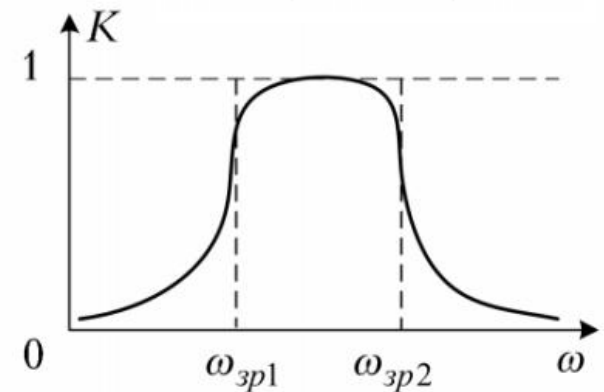


Рисунок 3.15 – АЧХ реальних СФ

**Загороджувальні фільтри** на відміну від смугових мають мінімальний коефіцієнт передачі напруги ( $k \approx 0$ ) у смузі між частотами  $\omega_{зр1}$  та  $\omega_{зр2}$ , максимальний ( $k \approx 1$ ) – за межами цієї смуги. Для цього фільтр складають з паралельних контурів  $L1$   $C1$ , увімкнених послідовно з навантаженням із послідовних контурів  $L2$   $C2$ , увімкнених паралельно з навантаженням.

Загороджувальний фільтр (рис. 3.16, 3.17), як і смуговий, можна представити таким, що складається з двох фільтрів: фільтра нижніх частот  $L1$   $C2$  з частотою зрізу  $\omega_{зр1}$  (ліва вітка АЧХ) та фільтра верхніх частот  $L2$   $C1$  з частотою зрізу  $\omega_{зр2}$  (права вітка АЧХ).

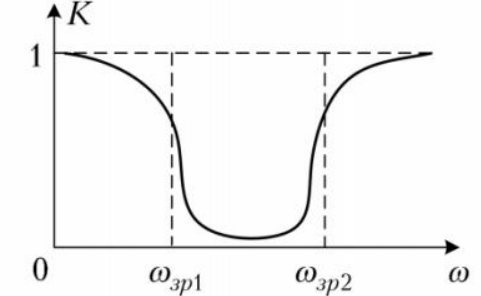
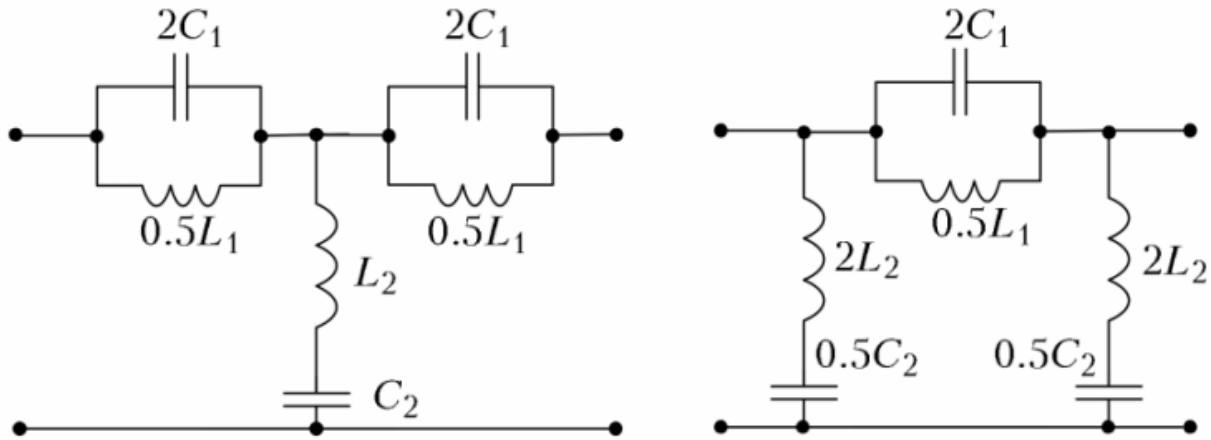


Рисунок 3.17 – АЧХ реального ЗФ

Рисунок 3.16 – Схеми Т-подібної та П-подібної ланок ЗФ



### Реактивні фільтри типу $m$

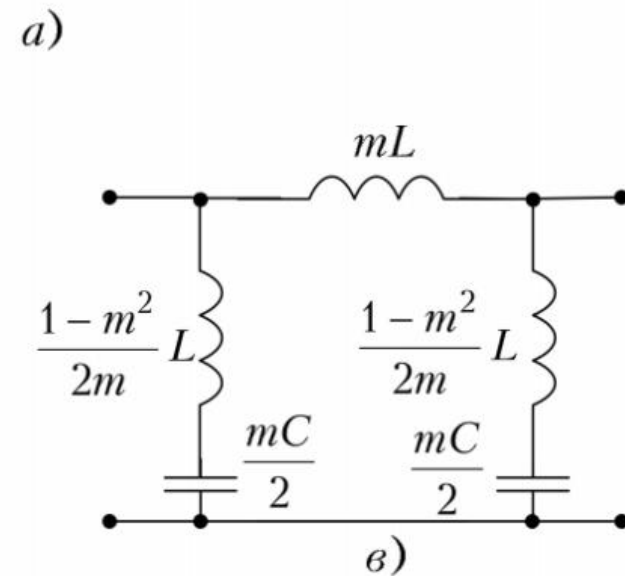
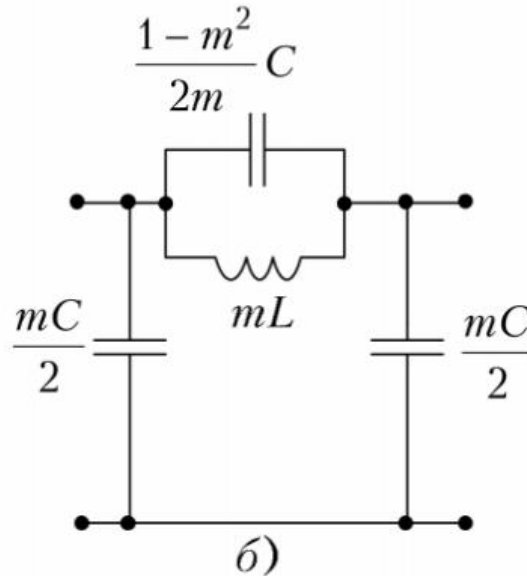
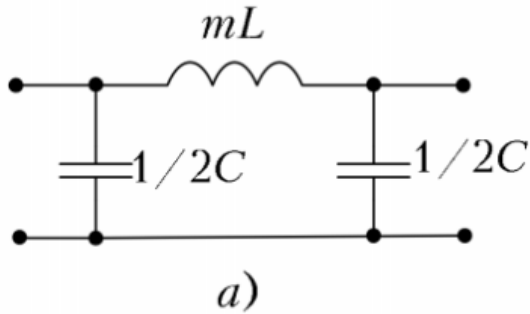
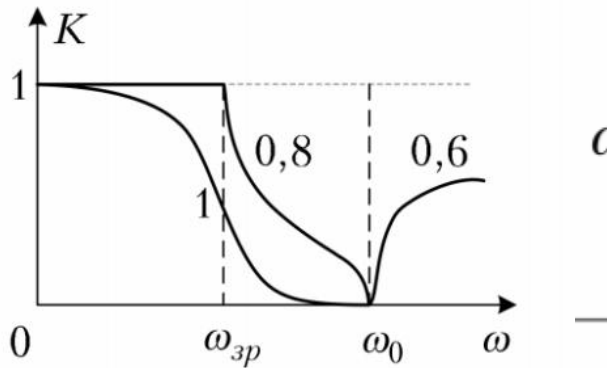


Рисунок 3.18 – Перехід від фільтра типу  $k$  до фільтра типу  $m$ : а) – схема П-ланки ФНЧ типу  $k$ , б) – послідовно-похідної, в) – паралельно-похідної ланок ФНЧ типу  $m$



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{(1-m^2)L}{2m} \cdot \frac{mC}{2}}} = \frac{2}{\sqrt{LC} \sqrt{1-m^2}} = \frac{\omega_{zp}}{\sqrt{1-m^2}}$$

Рисунок 3.20 – АЧХ ланки ФНЧ типу  $m$

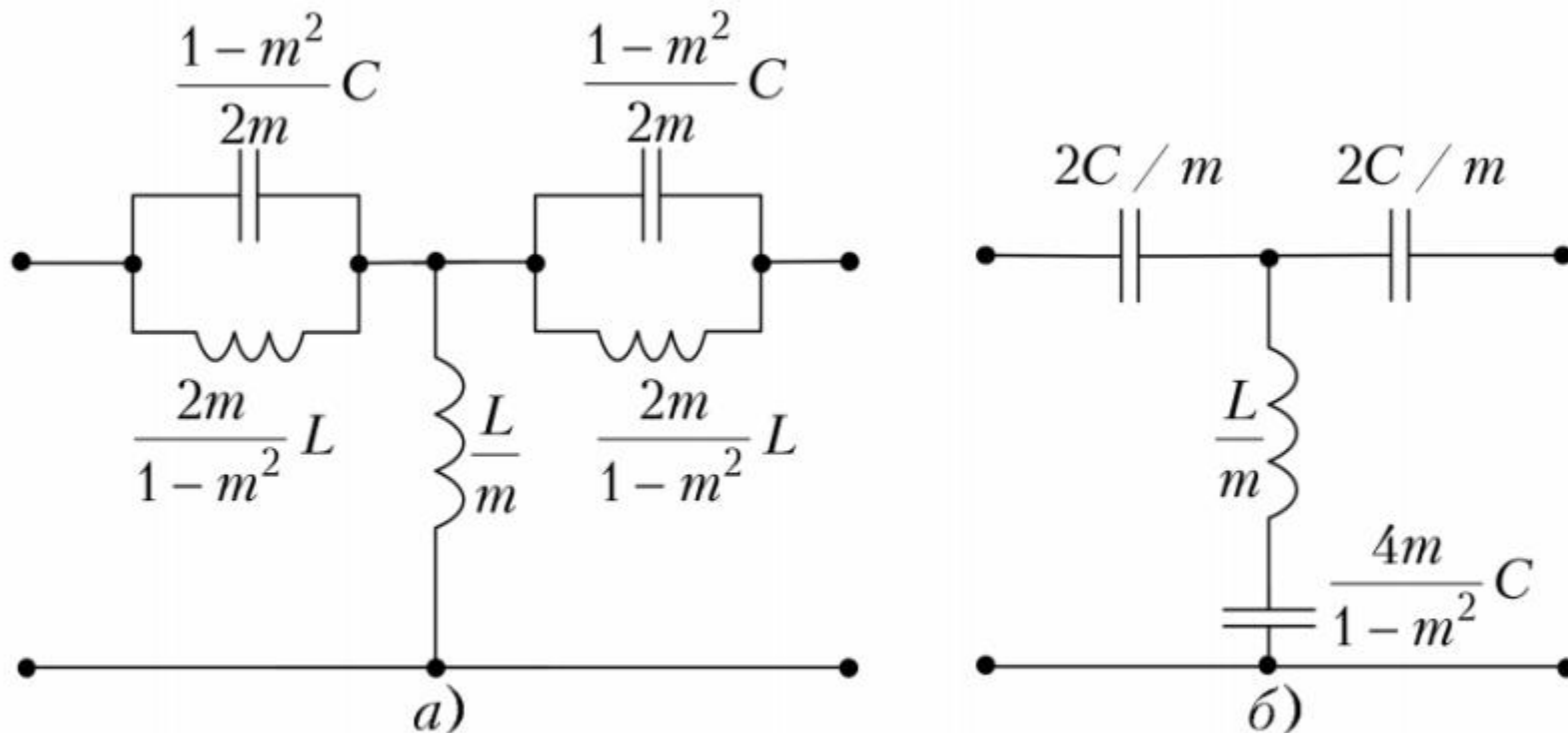


Рисунок 3.21 – Схеми Т-ланок ФВЧ типу  $m$ : а) – паралельно-похідна, б) - послідовно-похідна ланка