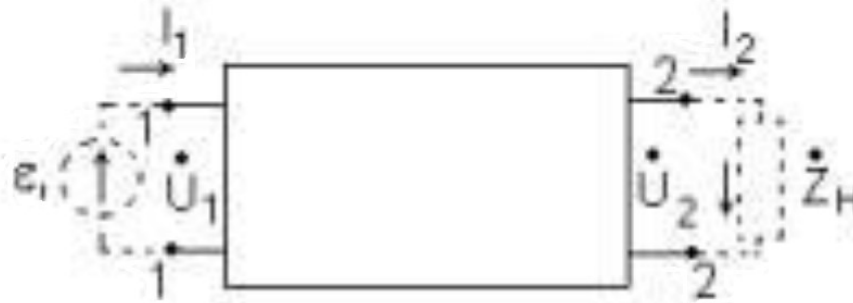


Формальна теорія чотириполюсників



Активний чотириполюсник може бути замінений на еквівалентний йому пасивний чотириполюсником та винесеним за його зажими еквівалентним джерелом .

Формальна теорія чотириполюсників дозволяє встановити залежності, що пов'язують між собою вхідні та вихідні струми і напруги

$$\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_2$$

Формальна теорія чотириполюсників

Залежно від того, котра пара струмів-напруг буде задана, можна записати шість різних по формі (але еквівалентних) пар рівнянь. Найчастіше використовуються 4 системи рівнянь чотириполюсника.

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{A}_{11}\dot{U}_2 + \dot{A}_{12}\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{A}_{21}\dot{U}_2 + \dot{A}_{22}\dot{I}_2 \end{cases}$$

А-форма

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{Y}_{11}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{12}\dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = \dot{Y}_{21}\dot{U}_1 + \dot{Y}_{22}\dot{U}_2 \end{cases}$$

Y-форма

Формальна теорія чотириполюсників

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{Z}_{11} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{12} \dot{I}_2 \\ \dot{U}_2 = \dot{Z}_{21} \dot{I}_1 + \dot{Z}_{22} \dot{I}_2 \end{cases}$$

Z-форма

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{h}_{11} \dot{I}_1 + \dot{h}_{12} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 = \dot{h}_{21} \dot{I}_1 + \dot{h}_{22} \dot{U}_2 \end{cases}$$

H-форма

Формальна теорія чотириполісників

Всі набори параметрів виражаються між собою пов'язані,
наприклад:

$$\dot{A}_{11} = \frac{\dot{Z}_{11}}{\dot{Z}_{21}} \quad \dot{A}_{12} = -\frac{(\dot{Z}_{11}\dot{Z}_{22} - \dot{Z}_{12}\dot{Z}_{21})}{\dot{Z}_{21}}$$

$$\dot{A}_{21} = \frac{1}{\dot{Z}_{21}} \quad \dot{A}_{22} = -\frac{\dot{Z}_{22}}{\dot{Z}_{21}}$$

Формальна теорія чотириполюсників

	Y	Z	A	H
Y	—	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{Z}}_{22} & -\underline{\underline{Z}}_{12} \\ \Delta_Z & \Delta_Z \\ -\underline{\underline{Z}}_{21} & \underline{\underline{Z}}_{11} \\ \Delta_Z & \Delta_Z \end{array}$	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{A}}_{22} & -\underline{\underline{A}}_A \\ \underline{\underline{A}}_{12} & \underline{\underline{A}}_{12} \\ 1 & -\underline{\underline{A}}_{11} \\ \underline{\underline{A}}_{12} & \underline{\underline{A}}_{12} \end{array}$	$\begin{array}{cc} 1 & -\underline{\underline{H}}_{12} \\ \underline{\underline{H}}_{11} & \underline{\underline{H}}_{11} \\ \underline{\underline{H}}_{21} & \underline{\underline{\Delta}}_H \\ \underline{\underline{H}}_{11} & \underline{\underline{H}}_{11} \end{array}$
Z	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{Y}}_{22} & -\underline{\underline{Y}}_{12} \\ \Delta_Y & \Delta_Y \\ -\underline{\underline{Y}}_{21} & \underline{\underline{Y}}_{11} \\ \Delta_Y & \Delta_Y \end{array}$	—	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{A}}_{11} & -\underline{\underline{A}}_A \\ \underline{\underline{A}}_{21} & \underline{\underline{A}}_{21} \\ 1 & -\underline{\underline{A}}_{22} \\ \underline{\underline{A}}_{21} & \underline{\underline{A}}_{21} \end{array}$	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{\Delta}}_H & -\underline{\underline{H}}_{12} \\ \underline{\underline{H}}_{22} & \underline{\underline{H}}_{22} \\ \underline{\underline{H}}_{21} & 1 \\ \underline{\underline{H}}_{22} & \underline{\underline{H}}_{22} \end{array}$
A	$\begin{array}{cc} -\underline{\underline{Y}}_{22} & 1 \\ \underline{\underline{Y}}_{21} & \underline{\underline{Y}}_{21} \\ -\underline{\underline{\Delta}}_Y & \underline{\underline{Y}}_{11} \\ \underline{\underline{Y}}_{21} & \underline{\underline{Y}}_{21} \end{array}$	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{Z}}_{11} & -\underline{\underline{\Delta}}_Z \\ \underline{\underline{Z}}_{21} & \underline{\underline{Z}}_{21} \\ 1 & -\underline{\underline{Z}}_{22} \\ \underline{\underline{Z}}_{21} & \underline{\underline{Z}}_{21} \end{array}$	—	$\begin{array}{cc} -\underline{\underline{\Delta}}_H & \underline{\underline{H}}_{11} \\ \underline{\underline{H}}_{21} & \underline{\underline{H}}_{21} \\ -\underline{\underline{H}}_{22} & 1 \\ \underline{\underline{H}}_{21} & \underline{\underline{H}}_{21} \end{array}$
H	$\begin{array}{cc} 1 & -\underline{\underline{Y}}_{12} \\ \underline{\underline{Y}}_{11} & \underline{\underline{Y}}_{11} \\ \underline{\underline{Y}}_{21} & \underline{\underline{\Delta}}_Y \\ \underline{\underline{Y}}_{11} & \underline{\underline{Y}}_{11} \end{array}$	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{\Delta}}_Z & \underline{\underline{Z}}_{12} \\ \underline{\underline{Z}}_{22} & \underline{\underline{Z}}_{22} \\ -\underline{\underline{Z}}_{21} & 1 \\ \underline{\underline{Z}}_{22} & \underline{\underline{Z}}_{22} \end{array}$	$\begin{array}{cc} \underline{\underline{A}}_{12} & \underline{\underline{\Delta}}_A \\ \underline{\underline{A}}_{22} & \underline{\underline{A}}_{22} \\ 1 & -\underline{\underline{A}}_{21} \\ \underline{\underline{A}}_{22} & \underline{\underline{A}}_{22} \end{array}$	—

Формальна теорія чотириполюсників

Для практичного використання рівнянь чотириполюсника для аналізу схем необхідно знати значення параметрів (коефіцієнтів в рівняннях). Параметри можуть бути визначені експериментально або шляхом розрахунків.

Експериментально параметри чотириполюсника можна визначити шляхом вимірювання струмів та напруг в режимі холостого ходу та в режимі короткого замикання

Формальна теорія чотириполюсників

Для пасивних чотириполюсників виконується принцип взаємності - як наслідок три незалежних параметра, що характеризують чотириполюсник.

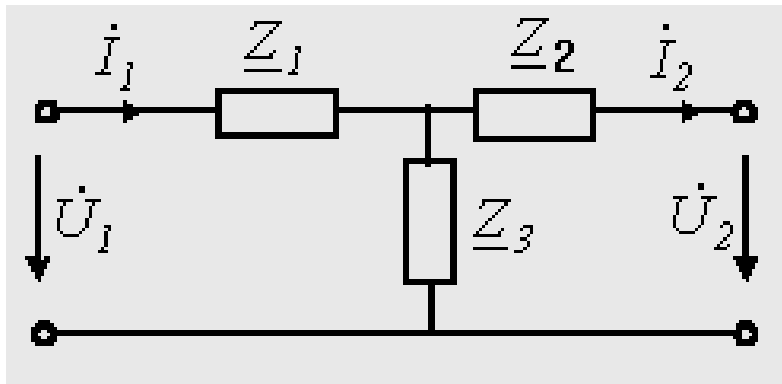
$$\dot{Z}_{12} = -\dot{Z}_{21}$$

$$\dot{Y}_{12} = -\dot{Y}_{21}$$

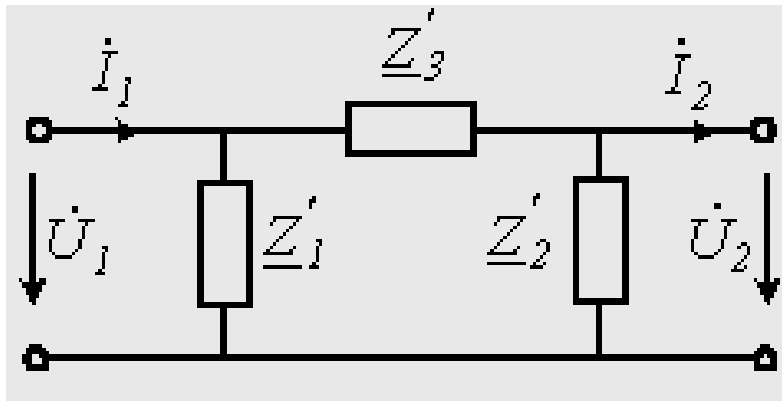
$$\dot{A}_{11}\dot{A}_{22} - \dot{A}_{12}\dot{A}_{21} = 1$$

Формальна теорія чотириполюсників

При визначенні коефіцієнтів чотириполюсника розрахунковим шляхом повинні бути відомі схема сполуки й величини опорів чотириполюсника. Пасивний чотириполюсник можна представити у вигляді трьохелементної еквівалентної Т-подібної або П-подібної схеми заміщення.

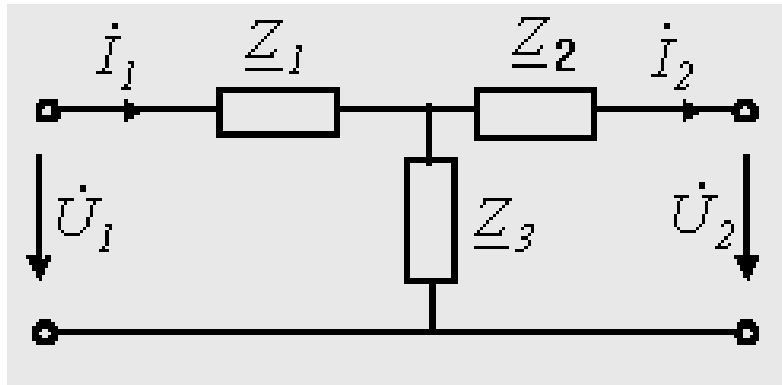


**Т-подібна еквівалентна
схема**



**П-подібна еквівалентна
схема**

Формальна теорія чотириполюсників



Для визначення параметрів даного чотириполюсника необхідно використати перший та другий закон Кірхгофа

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 \underline{Z}_2 + \dot{I}_1 \underline{Z}_1 = \left(1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_3} \right) \dot{U}_2 + \left(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} \right) \dot{I}_2$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + \frac{\dot{U}_2 + \dot{I}_2 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} = \frac{1}{\underline{Z}_3} \dot{U}_2 + \left(1 + \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_3} \right) \dot{I}_2$$

Формальна теорія чотириполюсників

Якщо при перестановці місцями джерела й приймача енергії їхні струми не міняються, то такий чотириполюсник називається **симетричним**.

Для симетричного чотириполюсника виконуються наступні співвідношення :

$$\dot{A}_{11} = \dot{A}_{22} \quad \dot{Z}_{11} = -\dot{Z}_{22} \quad \dot{Y}_{11} = -\dot{Y}_{22}$$

Симетричний пасивний чотириполюсник має всього два незалежних параметра.

Вхідний опір чотириполюсника – відношення \dot{U}_1 / \dot{I}_1
при заданому опорі навантаження \dot{Z}_*

Формальна теорія чотириполюсників

В електрозв'язку широко використовується режим роботи симетричного чотириполюсника, при якому його вхідний опір дорівнює навантажувальному, тобто

$$\frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} = Z_H$$

Цей опір позначають як Z_C і називають **характеристичним опором** симетричного чотириполюсника, а режим роботи чотириполюсника, для якого справедливо

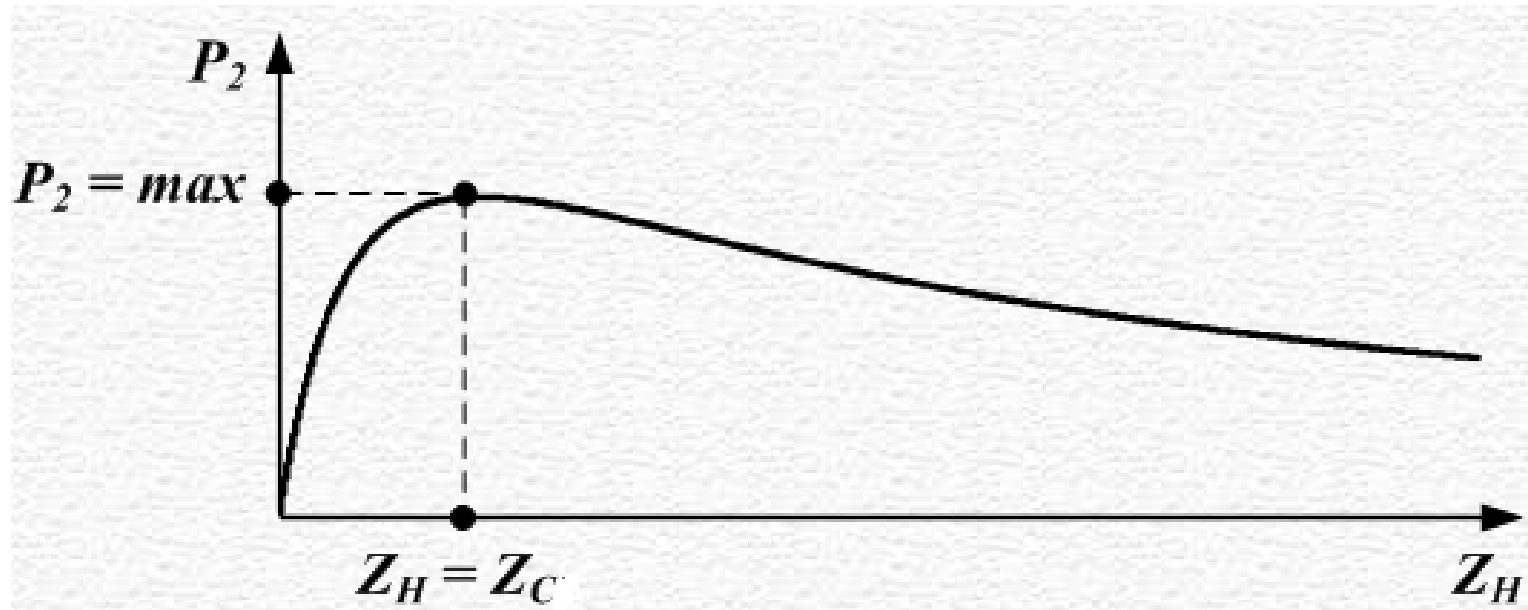
$$Z_C = Z_{ex} = Z_H$$

називається **режимом погодженого навантаження**.

$$\dot{Z}_c = \sqrt{\frac{\dot{A}_{12}}{\dot{A}_{21}}} = \sqrt{\dot{Z}_{1\infty} \cdot \dot{Z}_{1K}}$$

Формальна теорія чотириполіусників

В режимі погодженого навантаження потужність сигналу, що виділяється на Z_C максимальна (для несиметричних чотириполіусників необхідно узгоджувати Z_{C1} та Z_{C2} з вихідним опором генератора та навантаження).



Формальна теорія чотириполюсників

Разом з характеристичним опором параметром симетричного чотириполюсника є **постійна передачі**

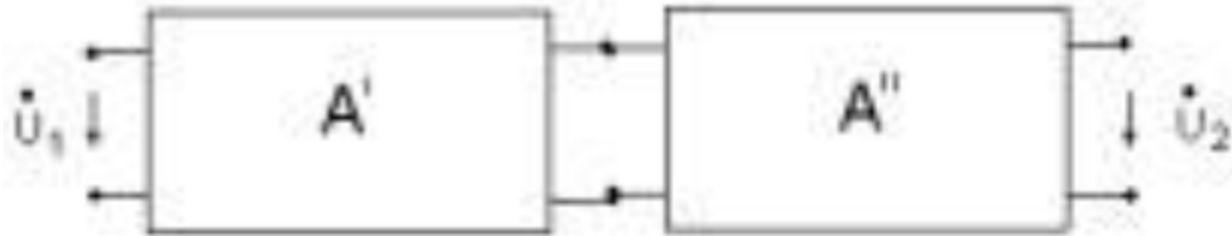
$$\dot{g} = \ln \left| \frac{\dot{U}_1}{\dot{U}_2} \right|_{z_H = z_c}$$
$$\frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = e^{-\dot{g}} = e^{-(\alpha + i\beta)}$$

α - коефіцієнт затухання ; β - коефіцієнт фази

$$\alpha = \ln \frac{U_{1ж}}{U_{2ж}} \quad (\text{непер}) \qquad \alpha = 20 \lg \frac{U_{1ж}}{U_{2ж}} \quad (\text{децибел})$$
$$\beta = \varphi_1 - \varphi_2$$

Формальна теорія чотириполюсників

Каскадне з'єднання чотириполюсників



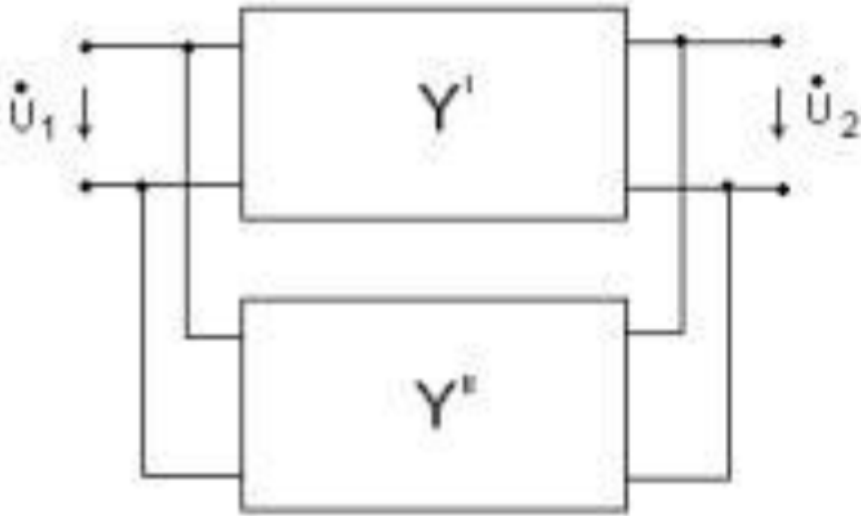
Для такого з'єднання вихідні значення сигналу першого чотириполюсника є входними для другого.

Відбувається перемноження A -матриць:

$$\|A\| = \|A'\| \cdot \|A''\| = \left\| \begin{array}{cc} A'_{11}A''_{11} + A'_{12}A''_{21} & A'_{11}A''_{12} + A'_{12}A''_{22} \\ A'_{21}A''_{11} + A'_{22}A''_{21} & A'_{21}A''_{12} + A'_{22}A''_{22} \end{array} \right\|$$

Формальна теорія чотириполісників

Паралельне з'єднання чотириполісників

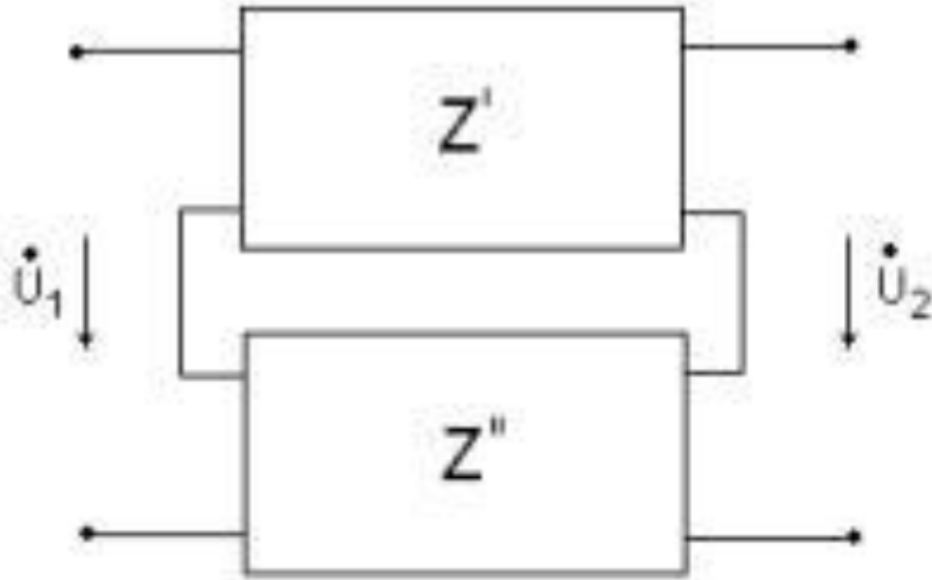


При паралельному з'єднанні сумуються струми, тому необхідно сумувати “ Y ”-матриці

$$\|Y\| = \|Y'\| + \|Y''\| = \left\| \begin{matrix} Y'_{11} + Y''_{11} & Y'_{12} + Y''_{12} \\ Y'_{21} + Y''_{21} & Y'_{22} + Y''_{22} \end{matrix} \right\|$$

Формальна теорія чотириполюсників

Послідовне з'єднання чотириполюсників



При послідовному з'єднанні сумуються напруги, тому необхідно сумувати “ Z ”-матриці

$$\|Z\| = \|Z'\| + \|Z''\| = \begin{vmatrix} Z'_{11} + Z''_{11} & Z'_{12} + Z''_{12} \\ Z'_{21} + Z''_{21} & Z'_{22} + Z''_{22} \end{vmatrix}$$

Фільтри

Електричний фільтр – чотириполіусник, що пропускає сигнал (струм, напруга) в певній полосі частот.

Фільтри можуть бути побудовані як з пасивних елементів, так і з активних.

В залежності від полоси пропускання фільтри поділяються на :

Фільтри нижніх частот (НЧ)

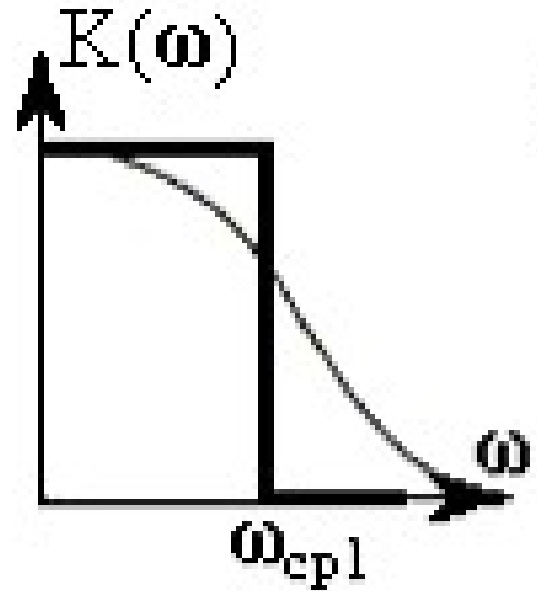
Фільтри верхніх частот (ВЧ)

Полосові фільтри

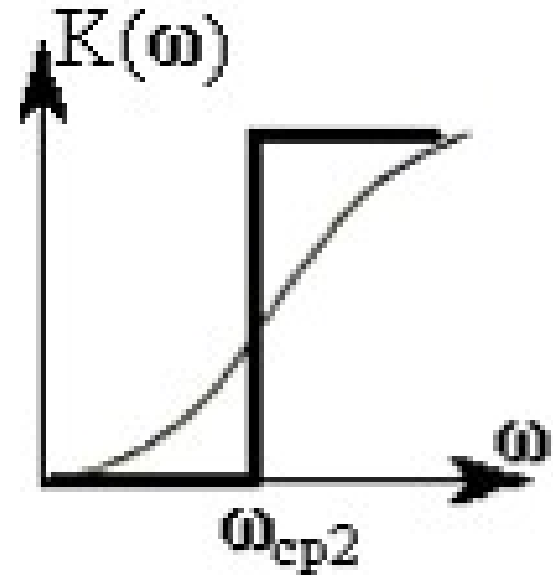
Загороджувальні фільтри

Фільтри

Фільтри **нижніх частот** (НЧ)

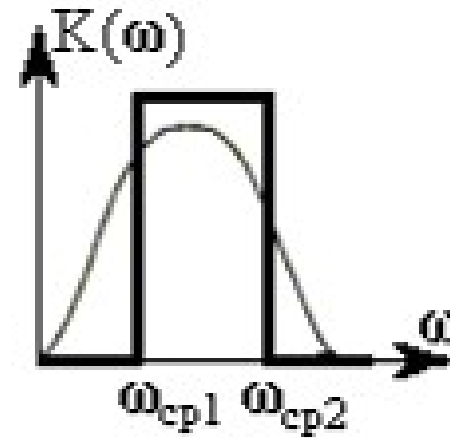


Фільтри **верхніх частот** (ВЧ)

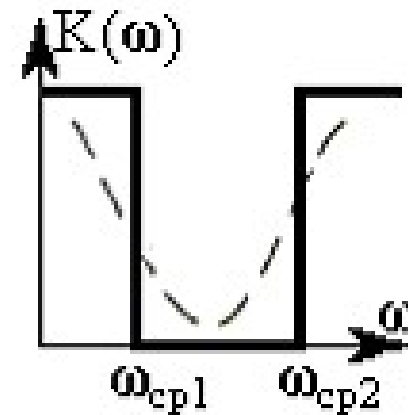


Фільтри

Полосові фільтри



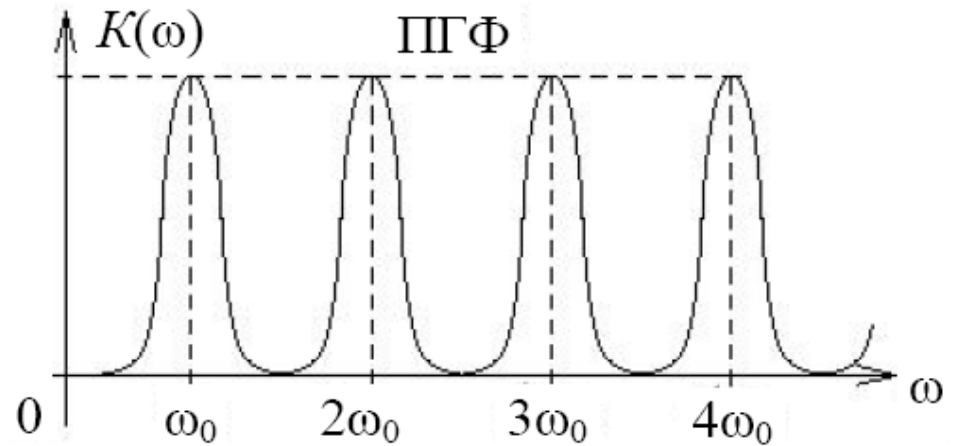
Загороджувальні фільтри



Фільтри

Гребінчасті фільтри

ПОЛОСОВИЙ



загороджувальний
(режекторний)

