

Лабораторна робота №33

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНОГО ЧОТИРИПОЛЮСНИКА ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Оволодіння методикою експериментального дослідження пасивного чотириполюсника змінного струму, визначення параметрів чотириполюсника та перевірка співвідношень, встановлених для цих параметрів.

Підготовка до роботи

Вивчити рекомендовану літературу, ознайомитися з методичними вказівками до роботи, описом лабораторної установки, робочим завданням, підготувати протокол звіту і відповіді на наступні питання:

1. Що називають чотириполюсником ?
2. Який чотириполюсник вважається активним, а який – пасивним ?
3. Які чотириполюсники називаються еквівалентними ?
4. Які чотириполюсники називаються симетричними ?
5. Що розуміють під первинними параметрами чотириполюсника і які співвідношення між ними?
6. Що розуміють під вторинними (характеристичними) параметрами чотириполюсника ?
7. Які досліди необхідно виконати для визначення параметрів чотириполюсника ?
8. Що називають характеристичним опором чотириполюсника та який зв'язок між ним та опорами неробочого ходу і короткого замикання?
9. Що називають сталою передачі чотириполюсника та з яких коефіцієнтів вона складається?
10. Як розраховуються коефіцієнт згасання і коефіцієнт фази ?

Опис лабораторної установки

Джерелом енергії служить одне з джерел блока трифазної напруги навчально-дослідного стенду. Досліджуване електричне коло складається на набірному полі з елементів, вказаних викладачем. Діючі значення напруг та

струмів вимірюються за допомогою універсального електронного приладу. Зсув за фазою між напругою та струмом вимірюється електронним фазометром.

Порядок виконання роботи

1. Скласти Т-подібний чотириполюсник з підключеними до нього приладами, згідно схеми рис.33.1. Параметри елементів схеми встановлюються за вказівкою викладача.

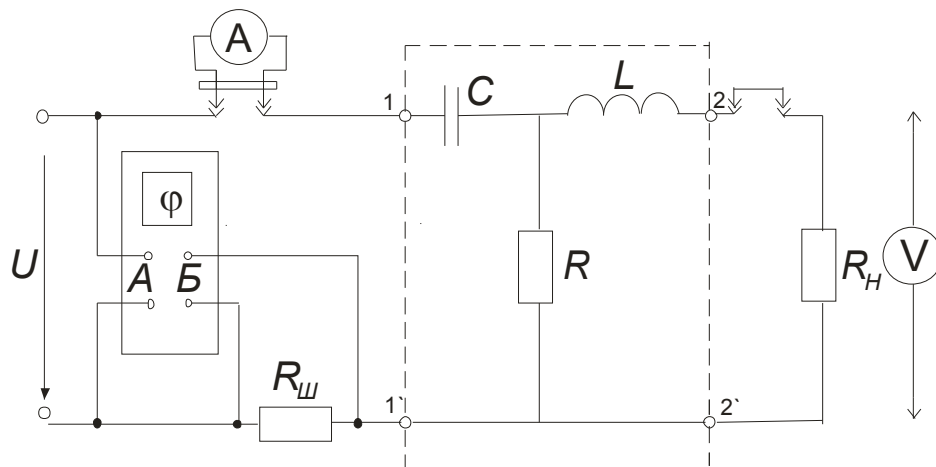


Рис. 33.1

2. Підімкнути електричне коло до джерела енергії синусоїдного струму. Діюче значення вхідної напруги у дослідах обирають за рекомендацією викладача.

3. При живленні з боку вхідних затискачів (1-1'), виконати:

а) дослід неробочого ходу (до вихідних затискачів 2-2' підімкнути вольтметр);

б) дослід короткого замикання (до затискачів 2-2' підімкнути амперметр);

в) дослід з навантаженням чотириполюсника на активний опір R_H , значення якого задає викладач.

Результати вимірів занести до табл. 33.1.

4. Виконати досліди неробочого ходу та короткого замикання при зворотному підключенні чотириполюсника. Результати вимірів за дослідом занести до табл. 33.1

Таблиця 33.1

Режим		U_1 (В)	I_1 (А)	φ_1	U_2 (В)	I_2 (А)
Живлення на вхідних затискачах	Нероб. хід					
	Кор. замик.					
	$Z_n = R_n$					
Живлення на вихідних затискачах	Нероб. хід					
	Кор. замик.					

Обробка результатів експерименту

1. За результатами дослідів обчислити комплексні значення вхідних опорів та перевірити справедливність співвідношення: $\frac{Z_{1o}}{Z_{1к}} = \frac{Z_{2o}}{Z_{2к}}$.

2. Розрахувати, користуючись результатами вимірювань:

а) через співвідношення (33.4) - коефіцієнти A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} і перевірити правильність їх розрахунку через співвідношення (33.2);

б) через співвідношення (33.5-33.7) - характеристичні (вторинні) параметри: сталу передачі \underline{G} , сталу згасання A , сталу фази B , характеристичні опори \underline{Z}_{c1} , \underline{Z}_{c2} .

3. Користуючись $[A]$ рівняннями чотириполюсника і визначеними в досліді напругою та струмом навантаження, розрахувати напругу та струм джерела і порівняти їх з дослідними значеннями.

4. Через коефіцієнти чотириполюсника визначити параметри його заступної Π - схеми.

5. Зробити висновки по роботі.

Методичні вказівки

Чотириполюсником називається електротехнічне коло чи його частина, які розглядаються відносно двох пар затискачів. Схематичне зображення чотириполюсника наведено на рис. 33.2.

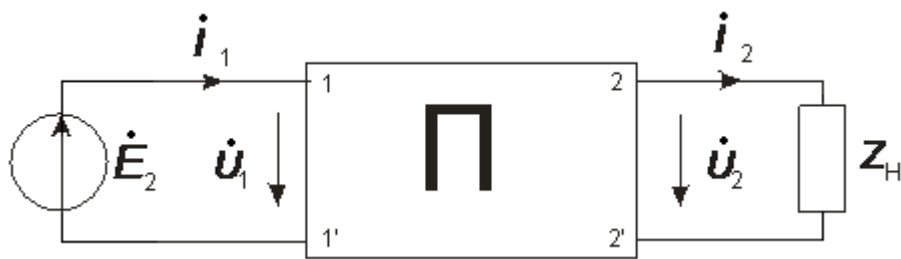


Рис.33.2

Затискачі 1-1' називаються вхідними, а затискачі 2-2' - вихідними. Якщо чотириполюсник складається з лінійних пасивних елементів R , L , C , то він називається пасивним лінійним чотириполюсником. Пасивний чотириполюсник може містити і джерела електричної енергії, але у такому випадку їх дія повинна бути взаємно скомпенсованою. Існують різні форми рівнянь, які зв'язують вхідні і вихідні струми та напруги чотириполюсника. З них рівнянь найчастіше використовують рівняння у формі $[A]$, які відповідають режиму прямої передачі.

При прямому включенні чотириполюсника, коли джерело підімкнене до затискачів 1-1', а навантаження – до затискачів 2-2', та при вказаних на рис.33.2 напрямках струмів і напруг, рівняння чотириполюсника, записані у формі $[A]$, мають вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \underline{A}_{11}\dot{U}_2 + \underline{A}_{12}\dot{I}_2; \\ \dot{I}_1 &= \underline{A}_{21}\dot{U}_2 + \underline{A}_{22}\dot{I}_2. \end{aligned} \quad (33.1)$$

Сталі комплексні коефіцієнти \underline{A}_{11} , \underline{A}_{12} , \underline{A}_{21} , \underline{A}_{22} називаються первинними параметрами чотириполюсника. Вони характеризують чотириполюсник і залежать тільки від величини активних і реактивних опорів, з яких складається чотириполюсник та схеми їх з'єднання між собою.

Коефіцієнти \underline{A}_{11} та \underline{A}_{22} нерозмірні. Коефіцієнт \underline{A}_{12} вимірюється в омах [Ом], коефіцієнт \underline{A}_{21} - в сіменсах [См].

Коефіцієнти системи рівнянь чотириполюсника у формі $[A]$ зв'язані між собою співвідношенням:

$$\underline{A}_{11}\underline{A}_{22} - \underline{A}_{12}\underline{A}_{21} = 1. \quad (33.2)$$

З наведеного випливає, що тільки три коефіцієнти з чотирьох є незалежними.

При зворотному включенні чотириполюсника, тобто коли джерело підімкнене до затискачів 2-2', а навантаження до затискачів 1-1' (рис.33.3), одержимо іншу систему рівнянь в $[B]$ - формі:



Рис. 33.3

$$\begin{aligned} \dot{U}_2 &= \underline{A}_{22}\dot{U}_1 + \underline{A}_{12}\dot{I}'_1; \\ \dot{I}'_2 &= \underline{A}_{21}\dot{U}_1 + \underline{A}_{11}\dot{I}'_1. \end{aligned} \quad (33.3)$$

Зіставляючи системи рівнянь (33.1) та (33.3), бачимо, що коефіцієнти \underline{A}_{11} та \underline{A}_{22} помінялись місцями.

Чотириполюсники, які мають однакові коефіцієнти \underline{A}_{11} , \underline{A}_{12} , \underline{A}_{21} , \underline{A}_{22} , будуть еквівалентними; чотириполюсник, у якого $\underline{A}_{11} = \underline{A}_{22}$, є симетричним.

Складний чотириполюсник з відомими коефіцієнтами, можна замінити еквівалентним чотириполюсником елементарної структури. Такими є Т- та П- подібні схеми заміщення чотириполюсників. Параметри елементів Т- подібної схеми заміщення чотириполюсника (рис. 33.4) обчислюються за формулами:

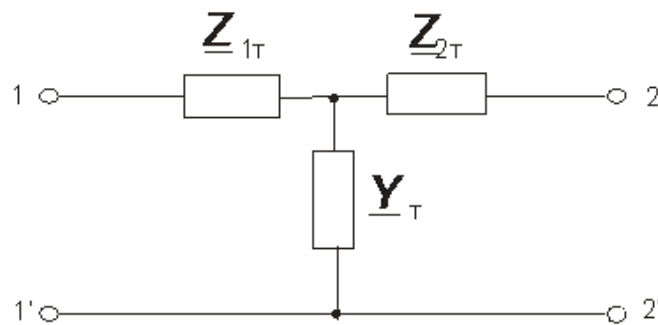


Рис.33.4

$$\underline{Y}_T = \underline{A}_{21}; \quad \underline{Z}_{1T} = \frac{(\underline{A}_{11} - 1)}{\underline{A}_{21}}; \quad \underline{Z}_{2T} = \frac{(\underline{A}_{22} - 1)}{\underline{A}_{21}}.$$

Параметри елементів П- подібної схеми заміщення чотириполюсника (рис. 33.5) обчислюються за іншими формулами:

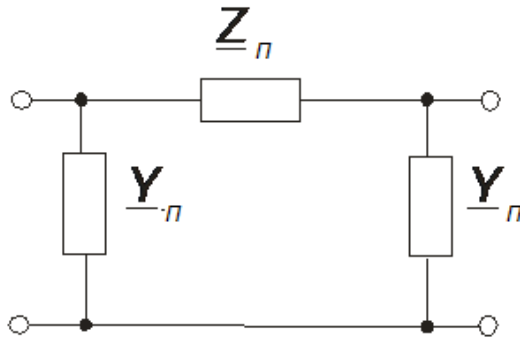


Рис. 33.5

$$\underline{Z}_\Pi = \underline{A}_{12}; \quad \underline{Y}_{1\Pi} = \frac{(\underline{A}_{22} - 1)}{\underline{A}_{12}}; \quad \underline{Y}_{2\Pi} = \frac{(\underline{A}_{11} - 1)}{\underline{A}_{12}}.$$

Якщо відомі комплексні значення струмів і напруг на вході і виході чотириполюсника в режимі прямої передачі при неробочому ході ($I_2 = 0$) та короткому замиканні ($U_2 = 0$), первинні параметри обчислюються за наведеними нижче формулами:

$$\underline{A}_{11} = \frac{\dot{U}_{10}}{\dot{U}_{20}}; \quad \underline{A}_{21} = \frac{\dot{I}_{10}}{\dot{U}_{20}}; \quad \underline{A}_{12} = \frac{\dot{U}_{1K}}{\dot{I}_{2K}}; \quad \underline{A}_{22} = \frac{\dot{I}_{1K}}{\dot{I}_{2K}}.$$

Інший спосіб обчислення первинних параметрів чотириполюсника (коефіцієнти \underline{A}_{11} , \underline{A}_{12} , \underline{A}_{21} , \underline{A}_{22}) полягає у попередньому визначенні аналітичним чи дослідним шляхом опорів неробочого ходу (\underline{Z}_o) та короткого замикання (\underline{Z}_κ):

а) $\underline{Z}_{10} = \frac{\dot{U}_{10}}{\dot{I}_{10}} = Z_{10} e^{j\varphi_{10}}$ – живлення відносно затискачів 1-1' при розімкнених затискачах 2-2';

$$\text{б) } \underline{Z}_{1K} = \frac{\dot{U}_{1K}}{\dot{I}_{1K}} = Z_{1K} e^{j\varphi_{1K}} \quad - \text{ живлення відносно затискачів } 1-1' \text{ при}$$

короткому замиканні затискачів 2-2';

$$\text{в) } \underline{Z}_{20} = \frac{\dot{U}_{20}}{\dot{I}_{20}} = Z_{20} e^{j\varphi_{20}} \quad - \text{ живлення відносно затискачів } 2-2' \text{ при}$$

розімкнених затискачах 1-1';

$$\text{г) } \underline{Z}_{2K} = \frac{\dot{U}_{2K}}{\dot{I}_{2K}} = Z_{2K} e^{j\varphi_{2K}} \quad - \text{ живлення відносно затискачів } 2-2' \text{ при}$$

короткому замиканні затискачів 1-1'.

Зазначені опори зв'язані між собою співвідношенням:

$$\frac{\underline{Z}_{10}}{\underline{Z}_{1K}} = \frac{\underline{Z}_{20}}{\underline{Z}_{2K}}. \text{ Виходячи з цього, тільки три з них є незалежними.}$$

Тоді:

$$\underline{A}_{11} = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{10}}{(\underline{Z}_{20} - \underline{Z}_{2K})}}; \quad \underline{A}_{12} = \underline{A}_{11} \underline{Z}_{2K}; \quad (33.4)$$

$$\underline{A}_{21} = \frac{\underline{A}_{11}}{\underline{Z}_{10}}; \quad \underline{A}_{22} = \underline{A}_{21} \underline{Z}_{20}.$$

Перевірка виконується за рівнянням (33.2).

Вторинні параметри чотирьохполюсника характеризують умови проходження сигналу через нього. Тому їх ще називають характеристичними параметрами і визначають за такими формулами:

1) характеристичний опір з боку вхідних затискачів:

$$\underline{Z}_{c1} = \sqrt{\underline{Z}_{10} \underline{Z}_{1K}} = \sqrt{\frac{\underline{A}_{11} \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21} \underline{A}_{22}}} \quad (33.5)$$

2) характеристичний опір з боку вихідних затискачів:

$$\underline{Z}_{c2} = \sqrt{\underline{Z}_{20} \underline{Z}_{2K}} = \sqrt{\frac{\underline{A}_{22} \underline{A}_{12}}{\underline{A}_{21} \underline{A}_{11}}} \quad (33.6)$$

3) коефіцієнт поширення (передачі) чотирьохполюсника: .

$$\underline{\Gamma} = A + jB = \ln\left(\sqrt{\underline{A}_{11} \cdot \underline{A}_{22}} + \sqrt{\underline{A}_{12} \cdot \underline{A}_{21}}\right) \quad (33.7)$$

При прямій передачі режимі узгодженого навантаження при навантаженні чотириполюсника з боку виходу опором \underline{Z}_{c2} , його вхідний опір дорівнює \underline{Z}_{c1} . При зворотній передачі у разі навантаження чотириполюсника з боку затискачів 1-1' опором \underline{Z}_{c1} , його вхідний опір дорівнює \underline{Z}_{c2} .

Коефіцієнт передачі $\underline{\Gamma}$ - комплексне число:

$$\underline{\Gamma} = A + jB,$$

де: A - характеристичний коефіцієнт згасання, який характеризує зміну амплітуди (чи діючого значення) напруг або струмів при проходженні електричної енергії через чотириполюсник. Він вимірюється у неперах $[Hn]$ чи у децибелах $[dB]$;

B - коефіцієнт фази, який характеризує зміну фази напруги або струму при проходженні сигналу через чотириполюсник. Він визначається у радіанах $[rad]$.

Система рівнянь пасивного чотириполюсника може бути записана через його вторинні параметри:

$$\dot{U}_1 = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{c1}}{\underline{Z}_{c2}}} \cdot (\dot{U}_2 ch\underline{\Gamma} + \dot{I}_2 \underline{Z}_{c2} sh\underline{\Gamma})$$

$$\dot{I}_1 = \sqrt{\frac{\underline{Z}_{c2}}{\underline{Z}_{c1}}} \cdot (\dot{U}_2 \frac{ch\underline{\Gamma}}{\underline{Z}_{c2}} + \dot{I}_2 sh\underline{\Gamma})$$

Питання для самостійної роботи

1. Методом вольтметра, амперметра та фазометра визначити комплексні значення опорів T -схеми досліджуваного чотириполюсника.

2. Використовуючи \underline{A} - коефіцієнти чотириполюсника, визначити параметри заступної T - схеми чотириполюсника та порівняти їх із значеннями, знайденими в п.1.

Література

1. Теоретичні основи електротехніки: Підручник: У 3 т. / В.С. Бойко, В.В. Бойко, Ю.Ф. Видолоб та ін.; За заг.ред. І.М. Чиженка, В.С. Бойка. – К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2004. – Т.1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – С. 219-262.

2. Лінійні електричні кола синусоїдального та періодичного несинусоїдного струму: Навч. посіб./ Щерба А.А., Курило І.А., Кудря Є.А, Намацалюк І.Н., Чибеліс В.І., Перетятко Ю.В. – К.: Лазурит-Поліграф, 2012. – С.85-110.