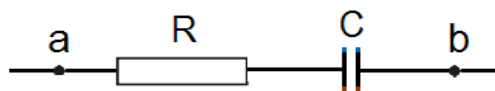


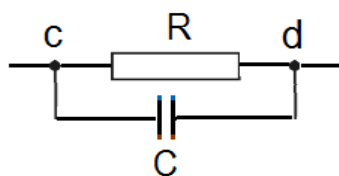
## 5. Двуполюсници. Честотна зависимост на импеданса на RC и RL двуполюсници. Четириполюсници. Измерване на първичните и вторичните параметри с променливи сигнали

Двуполюсникът е електрическа схема с два извода, независимо от броя и вида на съставлящите го елементи. През него протича ток  $I$  и върху него се получава пад на напрежение  $U$ . В зависимост от техните посоки, той може да бъде генератор или консуматор. Когато схемата му съдържа източник на напрежение или ток той е **активен**, а в противен случай – **пасивен**. Пасивните двуполюсници от своя страна се разделят на **резистивни**, т.е. съдържащи само резистори и **реактивни**, които съдържат поне един реактивен елемент. Основна характеристика на двуполюсника е неговата **волт-амперна характеристика (ВАХ)**  $I = f(U)$ . Когато тази зависимост е линейна, двуполюсникът е **линеен**, при всички други случаи – **нелинеен**. От ВАХ се определят основните параметри на двуполюсника - **статично** ( $R$ ) и **динамично** ( $r$ ) **съпротивление**. При линейните двуполюсници  $R = r$  за всяка точка от ВАХ. Когато двуполюсникът е реактивен, а токът и напрежението му са синусоидални, съпротивлението му е комплексна величина, наречена **импеданс**  $Z$ , която зависи от честотата на променливия сигнал. Има два основни начина на свързване на резистивните и реактивните елементи – **последователно** и **паралелно**. Всички други комбинации на свързване могат да се сведат към тях. Въвеждат се импеданси на реактивните елементи  $Z_L = j\omega L$  и  $Z_C = 1/j\omega C$ , където  $j$  е имагинерната единица,  $\omega$  е кръговата честота [rad/s],  $L$  е индуктивността, а  $C$  – капацитета на реактивния елемент.

Последователно свързани резистор  $R$  и кондензатор  $C$  са показани на фиг. 1а. Импедансът на този двуполюсник е  $Z_{ab} = R + 1/j\omega C$ . Модулът му е  $|Z_{ab}| = \sqrt{R^2 + 1/(\omega C)^2}$ . При  $\omega = 0$ ,  $|Z_{ab}| \rightarrow \infty$ , при  $\omega \rightarrow \infty$ ,  $|Z_{ab}| \rightarrow R$ .



фиг. 1а



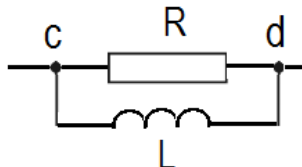
фиг. 1б

Паралелно свързани резистор  $R$  и кондензатор  $C$  са показани на фиг. 1б. Импедансът на този двуполюсник е  $Z_{cd} = R / (1 + j\omega RC)$ . Модулът му е  $|Z_{cd}| = R / \sqrt{1 + (\omega RC)^2}$ . При  $\omega = 0$ ,  $|Z_{cd}| = R$ , при  $\omega \rightarrow \infty$ ,  $|Z_{cd}| \rightarrow 0$ .

Последователно свързани резистор  $R$  и бобина  $L$  са показани на фиг. 2а. Импедансът на този двуполюсник е  $Z_{ab} = R + j\omega L$ . Модулът му е  $|Z_{ab}| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ . При  $\omega = 0$ ,  $|Z_{ab}| = R$ , при  $\omega \rightarrow \infty$ ,  $|Z_{ab}| \rightarrow \infty$ .



фиг. 2а

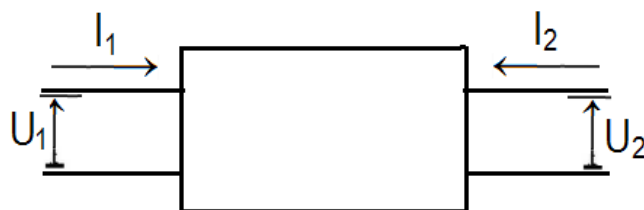


фиг. 2б

Паралелно свързани резистор  $R$  и бобина  $L$  са показани на фиг. 2б. Импедансът на този двуполюсник е  $Z_{cd} = R / (1 + R/j\omega L)$ . Модулът му е  $|Z_{cd}| = R / \sqrt{1 + (R/\omega L)^2}$ . При  $\omega = 0$ ,  $|Z_{cd}| \rightarrow 0$ , при  $\omega \rightarrow \infty$ ,  $|Z_{cd}| \rightarrow R$ .

**Четириполюсникът** е електрическа схема с 4 извода, като два от тях са вход, а другите два – изход. Като четириполюсници се разглеждат и триполюсници с една обща за входа и изхода клемма. Съществуват голям брой електронни схеми и устройства, които получават на входа си сигнал, обработват го и след това го подават на изхода си към следващо устройство или краен потребител, т.е. те са четириполюсници.

Свойствата на четириполюсника се определят от връзката между напреженията и токовете в него, като при описанието му се използват четири величини – входно ( $U_1$ ) и изходно ( $U_2$ ) напрежение и входен ( $I_1$ ) и изходен ( $I_2$ ) ток (фиг. 3).



фиг. 3

Когато връзките между тях са линейни, четириполюсникът е линеен, в противен случай – нелинеен. Когато нелинейността е слаба (при определени условия), нелинейните четириполюсници могат да се разглеждат като линейни.

Действието на линейния четириполусник се описва с две уравнения, свързващи величините  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $I_1$  и  $I_2$ . Две от тях се избират за независими променливи, а другите две – за зависими. Четирите коефициента пред независимите променливи се наричат **първични параметри** на четириполусника. В зависимост от избора на независимите променливи, първичните параметри се делят на **y**, **z**, **h**, **a** и др., които имат различен физически смисъл и размерност. На практика най-често използвани са **y**-, **z**- и **h**-параметрите. За определяне на първичните параметри се използват два гранични режима на работа на електронните схеми – **на празен ход** ( $I = 0$ ) и **на късо съединение** ( $U = 0$ ). За много електронни схеми режимът на късо съединение, а за други – режимът на празен ход, са недопустими и водят до пвреди. Това налага внимание при изследване на непознати четириполусници. За безопасни практически изследвания, късото съединение се осъществява с кондензатор по променлив ток с достатъчно висока честота, така че импеданса на кондензатора да е пренебрежимо малък.

В практиката много често се използват **h**-параметрите на четириполусника, които се дефинират от следните две уравнения:

$$U_1 = h_{11}I_1 + h_{12}U_2$$

$$I_2 = h_{21}I_1 + h_{22}U_2$$

Съответно отделните параметри се определят като:

$$h_{11} = \left. \frac{U_1}{I_1} \right|_{\text{при } U_2 = 0}, h_{12} = \left. \frac{U_1}{U_2} \right|_{\text{при } I_1 = 0},$$

$$h_{21} = \left. \frac{I_2}{I_1} \right|_{\text{при } U_2 = 0}, h_{22} = \left. \frac{I_2}{U_2} \right|_{\text{при } I_1 = 0}$$

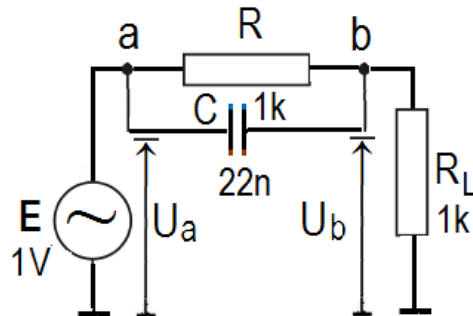
Освен първични, четириполусникът има и **вторични параметри**, които имат важен физически смисъл. Това са **коэффициентът на предаване по напрежение  $K_U$** , **коэффициентът на предаване по ток  $K_I$** , **входното  $R_i$**  и **изходното  $R_o$  съпротивление**. За разлика от първичните параметри те могат да се измерват и в реален режим, т.е. при наличие на товар. Дефинират се като:

$$K_U = U_2 / U_1, K_I = I_2 / I_1, R_i = U_1 / I_1, R_o = U_2 / I_2$$

## Задачи

Задача 1. Изследване честотната зависимост на импеданса на двуполусник.

Схемата на изследвания двуполюсник е дадена на фиг. 4. и включва двуполюсника **a-b** и допълнителен резистор  $R_L$ , необходим за определяне на протичащия през двуполюсника ток.

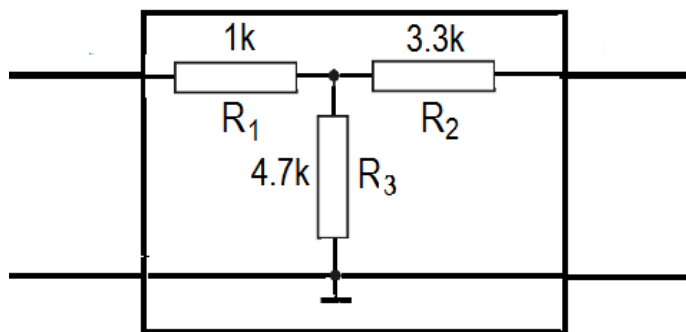


фиг. 4

С електронен волтметър се измерват напреженията  $U_a$  и  $U_b$  за всяка стойност на честотата  $f$  в честотния диапазон  $100\text{Hz} \div 100\text{kHz}$ , като честотата се мени с логаритмична стъпка 1-2-5-10 (100; 200; 500; 1000;...; 50000; 100000). Импедансът на двуполюсника  $Z_{ab}$  се пресмята по следната формула:  $Z_{ab} = R_L (U_a / U_b - 1)$ . Резултатите се оформят в таблица ( $f$ ,  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $Z_{ab}$ ). Да се начертае зависимостта  $Z_{ab} = Z_{ab}(f)$  на полулогаритмична хартия.

Задача 2. Измерване на първичните параметри на четириполюсник.

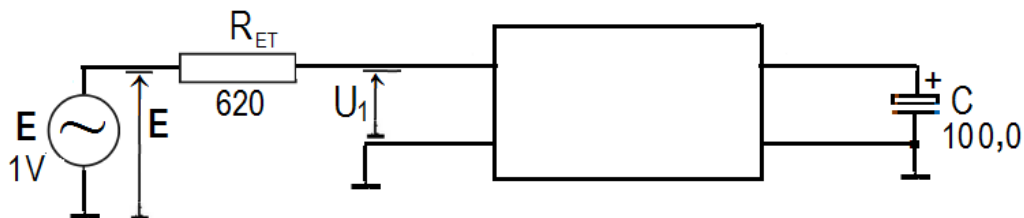
Задачата включва измерването на  $h$ -параметрите на резистивен четириполюсник (фиг. 5) и сравнението им с теоретично определените.



фиг. 5

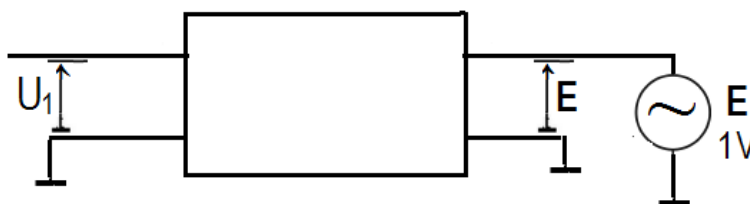
Свързват се последователно схемите от фиг. 6.1 до фиг. 6.4. Използва се източник на променливо напрежение с  $E = 1\text{V}$  и честота  $f = 1\text{kHz}$ . Режимът на късо съединение се реализира с включване на електролитния кондензатор  $C = 100\mu\text{F}$  към схемата.

а) Измерване на  $h_{11}$  (фиг. 6.1). Използва се еталонното съпротивление  $R_{ET} = 620\Omega$ . Измерват се  $E$  и  $U_1$ , а  $h_{11}$  се изчислява по следната формулата  $h_{11} = R_{ET} U_1 / (E - U_1)$ , а теоретичната стойност – по  $h_{11} = R_1 + R_2 R_3 / (R_2 + R_3)$ .



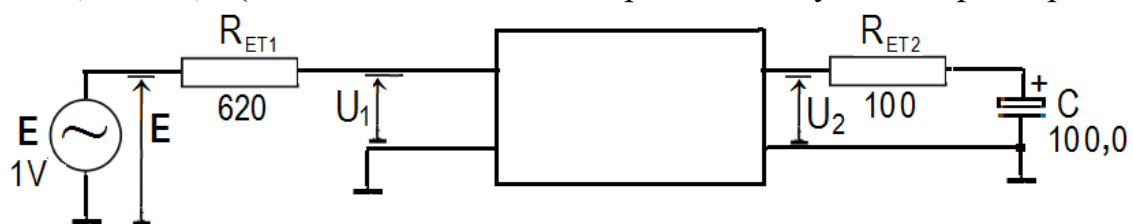
фиг. 6.1

б) Измерване на  $h_{12}$  (фиг. 6.2). Измерват се  $U_1$  и  $E$ , а  $h_{12}$  се изчислява по формулата  $h_{12} = U_1 / E$ , а теоретичната стойност – по  $h_{12} = R_3 / (R_2 + R_3)$ .



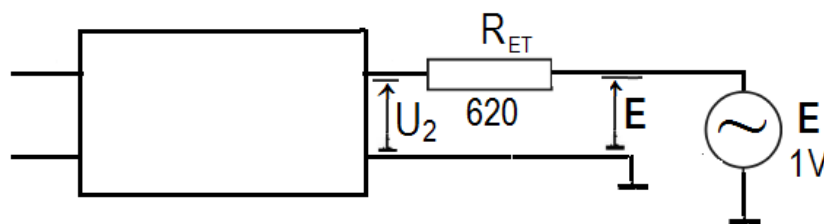
фиг. 6.2

в) Измерване на  $h_{21}$  (фиг. 6.3). Измерват се  $E$ ,  $U_1$  и  $U_2$ , а  $h_{21}$  се изчислява по формулата  $h_{21} = U_2 (R_{ET1} / R_{ET2}) / (E - U_1)$ , а теоретичната стойност – по  $h_{21} = -R_3 / (R_2 + R_3)$ . (Знакът „-“ идва от теорията и в случая се пренебрегва)



фиг. 6.3

г) Измерване на  $h_{22}$  (фиг. 6.4). Измерват се  $E$  и  $U_2$ , а  $h_{22}$  се изчислява по формулата  $h_{22} = (E - U_2) / (R_{ET} U_2)$ , а теоретичната – по  $h_{22} = 1 / (R_2 + R_3)$ .



фиг. 6.4

Задача 3. Измерване на вторичните параметри на четириполусника без и с товар.

Без товар вторичните параметри могат да се дефинират като:

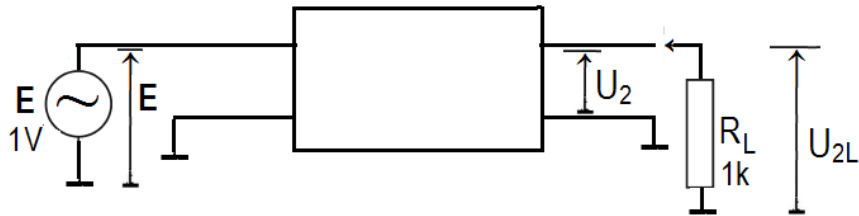
$$K_U = \frac{U_2}{U_1} \Big|_{\text{при } I_2 = 0}, \quad K_I = \frac{I_2}{I_1} \Big|_{\text{при } U_2 = 0},$$

$$R_i = \frac{U_1}{I_1} \Big|_{\text{при } I_2 = 0}, \quad R_0 = \frac{U_2}{I_2} \Big|_{\text{при } I_1 = 0}$$

При наличие на товар горните условия се нарушават.

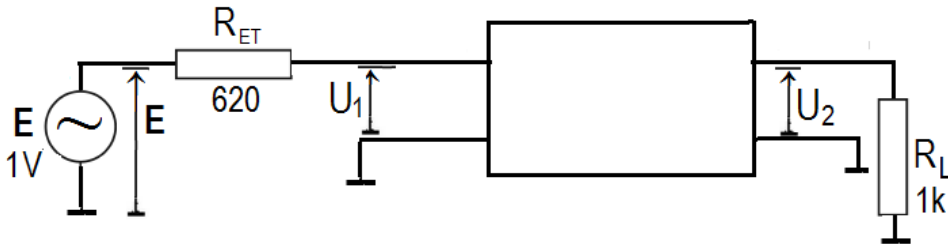
а) Измерване на  $K_U$  (фиг. 7.1). Измерват се  $E$  и  $U_2$  без и  $U_{2L}$  с товар и се изчислява  $K_U = U_2 / E$  и  $K_{UL} = U_{2L} / E$ . Теоретичните стойности се изчисляват по формулите:

$$K_U = R_3 / (R_1 + R_3), \quad K_{UL} = R_3 R_L / [R_1 R_3 + (R_1 + R_3) (R_2 + R_L)]$$



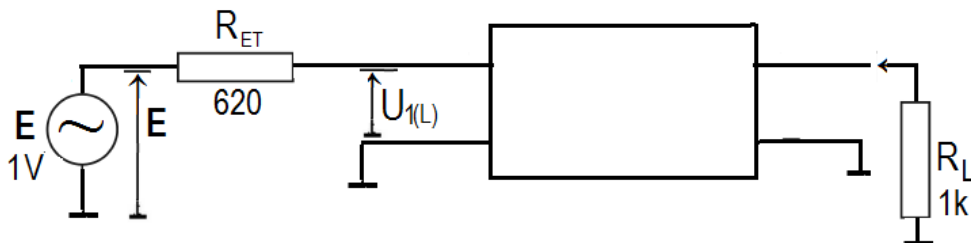
фиг. 7.1

б) Измерване на  $K_I$  (фиг. 7.2). Без товар  $K_I = h_{21}$ , а с товар се измерват  $E$ ,  $U_1$  и  $U_2$ .  $K_{IL}$  се изчислява по формулата  $K_{IL} = U_2 R_{ET} / R_L (E - U_1)$ , а теоретичната стойност – по  $K_{IL} = R_3 / (R_2 + R_3 + R_L)$ .



фиг. 7.2

в) Измерване на  $R_i$  (фиг. 7.3). Измерват се  $E$  и  $U_1$  без и  $U_{1L}$  с товар и се изчислява  $R_i = U_1 R_{ET} / (E - U_1)$  и  $R_{iL} = U_{1L} R_{ET} / (E - U_{1L})$ .



фиг. 7.3

Теоретичните стойности се изчисляват по формулите:

$$R_i = R_1 + R_3, R_{iL} = R_1 + R_3 (R_2 + R_L) / (R_2 + R_3 + R_L)$$

г) Определяне на  $R_o$ .  $R_o$  не зависи от товара. При така избраната дефиниция  $R_o = 1 / h_{22}$ .

**Сравняване на резултатите от Задача 2 и Задача 3 с теоретично изчислените.**

Получените резултати се нанасят в Табл. 1 и Табл. 2 и се сравняват.

параметър	теоретично	експериментално
$h_{11}$ [ ]		
$h_{12}$		
$h_{21}$		
$h_{22}$ [ ]		

Табл. 1

параметър	теоретично	експериментално
$K_U$		
$K_{UL}$		
$K_I$		
$K_{IL}$		
$R_i$ [ ]		
$R_{iL}$ [ ]		
$R_o$ [ ]		

Табл. 2