Схемотехническое проектирование электронных средств

2016 г.

Аналоговые РЭС

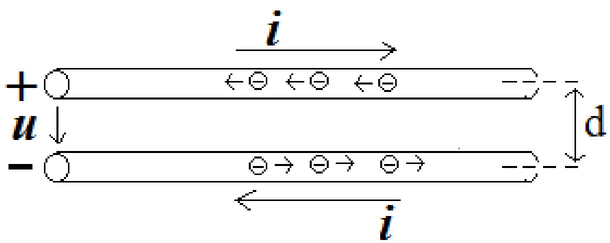
Основные понятия

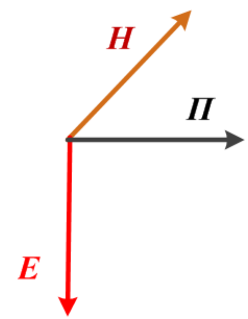
Аналоговые радиоэлектронные средства – создают, преобразуют, передают и принимают аналоговые колебания.

Колебание – изменяющаяся во времени и/или в пространстве величина, отображающая состояние физического объекта.

$\vec{u}(t);\qquad \vec{i}(t);\qquad p(t);$

$\vec{E}(t,x,y,z);\qquad \vec{H}(t,x,y,z);\qquad \vec{\Pi}(t,x,y,z);$

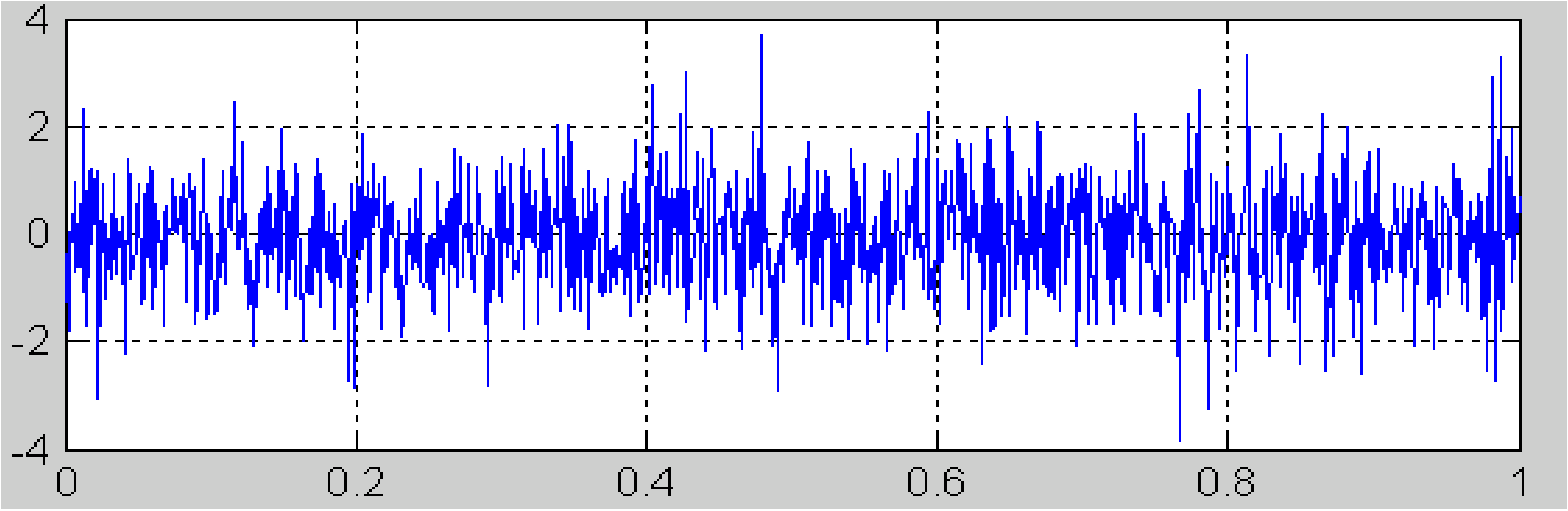




Основные понятия

Аналоговое колебание – колебание, имеющее неограниченное множество мгновенных значений внутри рабочего диапазона и выбранного временного интервала (окна).

$\vec{u}(t)$



t

Рабочий диапазон – область возможных мгновенных значений колебания. На рисунке временное окно 0 … 1 сек., рабочий диапазон мгновенных значений -4 … 4 В.

1.1. Элементы аналоговых РЭС

Основные понятия

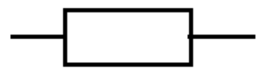
Элемент (лат. elementum — стихия) — ***самостоятельная*** часть, являющаяся основой чего-либо, например системы.

Древнее изречение гласило:
"Как слова состоят из букв, так и тела — из элементов".

Одно из возможных происхождений этого слова — по названию ряда согласных латинских букв L, M, N (***el— em — en***).

Классификация элементов

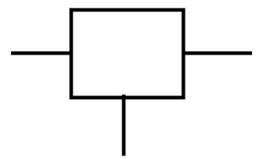
По количеству электродов (полюсов):

- Двухполюсники 

Классификация элементов

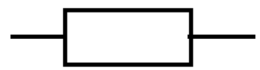
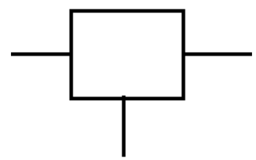
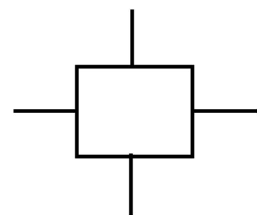
По количеству электродов (полюсов):

- Двухполюсники 

- Трёхполюсники 

Классификация элементов

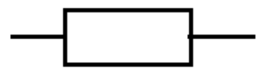
По количеству электродов (полюсов):

- Двухполюсники 
- Трёхполюсники 
- Четырёхполюсники 

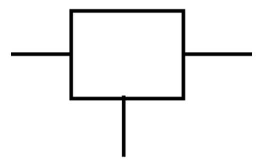
Классификация элементов

По количеству электродов (полюсов):

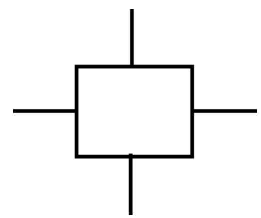
- Двухполюсники



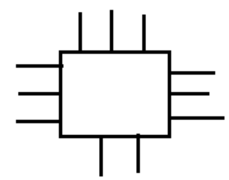
- Трёхполюсники



- Четырёхполюсники

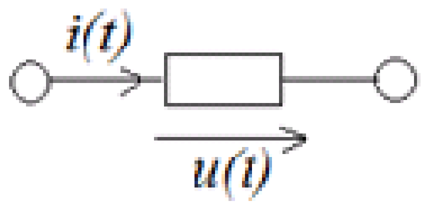


- Многополюсники



Функциональные характеристики ЭС

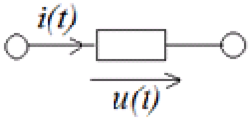
Функциональная характеристика — математическое соотношение связывающее между собой колебания напряжений и /или токов в ЭС



$$u(t) = \Phi[i(t)]$$

$$i(t) = \Phi^{-1}[u(t)]$$

Классификация элементов схем
(*на примерах двухполюсников*)



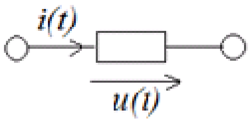
По функциональной характеристике ***u(t) = Φ[i(t)]***
- ***Линейные*** (**выполняется принцип суперпозиции**)

$$i(t) = \sum_{n=1}^{n=N} i_n(t);$$

$$u(t) = \Phi[\sum_{n=1}^{n=N} i_n(t)] = \sum_{n=1}^{n=N} \Phi[i_n(t)] = \sum_{n=1}^{n=N} u_n(t)\ ;$$

Классификация элементов схем

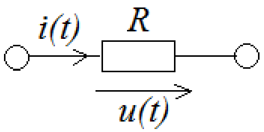
(*на примерах двухполюсников*)



По функциональной характеристике ***u(t) = Φ[i(t)]***

- ***Линейные*** (**выполняется принцип суперпозиции**)

$$i(t) = \sum_{n=1}^{n=N} i_n(t);\qquad u(t) = \sum_{n=1}^{n=N} u_n(t) = \sum_{n=1}^{n=N} \Phi[i_n(t)] = \Phi[\sum_{n=1}^{n=N} i_n(t)];$$



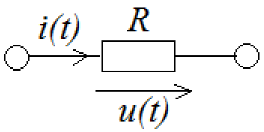
$$u(t) = R \cdot i(t)$$

Классификация элементов схем
(*на примерах двухполюсников*)

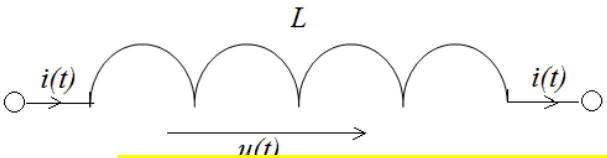
По функциональной характеристике ***u(t) = Φ[i(t)]***

\- ***Линейные*** (**выполняется принцип суперпозиции**)

$$i(t) = \sum_{n=1}^{n=N} i_n(t); \qquad u(t) = \sum_{n=1}^{n=N} u_n(t) = \sum_{n=1}^{n=N} \Phi[i_n(t)] = \Phi[\sum_{n=1}^{n=N} i_n(t)];$$



$$u(t) = R \cdot i(t)$$



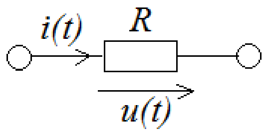
$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

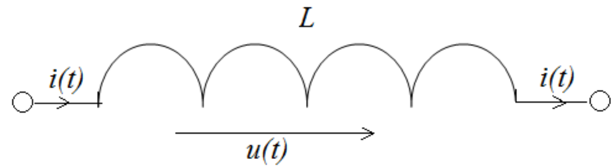
Классификация элементов схем
(*на примерах двухполюсников*)

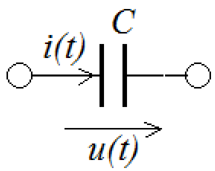
По функциональной характеристике ***u(t) = Ф[i(t)]***

- ***Линейные*** (**выполняется принцип суперпозиции**)

$$i(t)=\sum_{n=1}^{n=N} i_n(t);\qquad u(t)=\sum_{n=1}^{n=N} u_n(t)=\sum_{n=1}^{n=N}\Phi[i_n(t)]=\Phi[\sum_{n=1}^{n=N} i_n(t)];$$







$$u(t)=R\cdot i(t)$$

$$u(t)=L\cdot\frac{di(t)}{dt}$$

$$u(t)=\frac{1}{C}\cdot\int i(t)\cdot dt$$

Классификация элементов схем

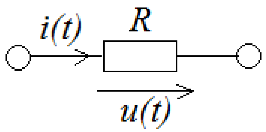
(*на примерах двухполюсников*)

По функциональной характеристике ***u(t) = Ф[i(t)]***

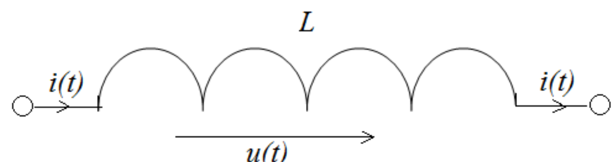
- ***Линейные*** (выполняется принцип суперпозиции)

$$i(t) = \sum_{n=1}^{n=N} i_n(t);$$

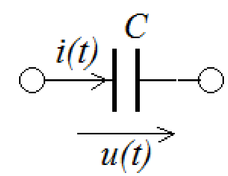
$$u(t) = \sum_{n=1}^{n=N} u_n(t) = \sum_{n=1}^{n=N} \Phi[i_n(t)] = \Phi[\sum_{n=1}^{n=N} i_n(t)];$$



$$u(t) = R \cdot i(t)$$

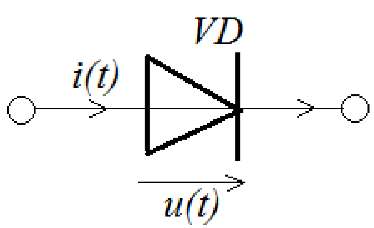


$$u(t) = L \cdot \frac{du(t)}{di(t)}$$



$$u(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i(t) \cdot dt$$

- ***Нелинейные*** (**не выполняется принцип суперпозиции**)



$$u(t) = \varphi_T \cdot \ln\left[\frac{i(t)}{I_o} + 1\right];$$

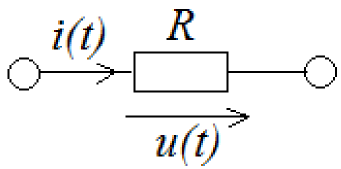
$$i(t) = I_o\left[e^{\frac{u(t)}{\varphi_T}} - 1\right];$$

Классификация элементов схем

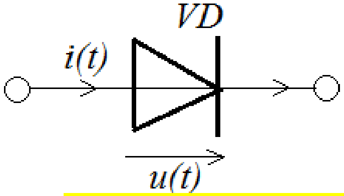
(*на примерах двухполюсников*)

По функциональной характеристике **$u(t) = \Phi[i(t)]$**

\- ***Безынерционные*** *(без памяти)* $u = \Phi[i];$



$u = R \cdot i$

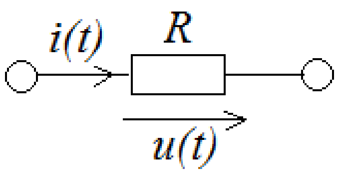


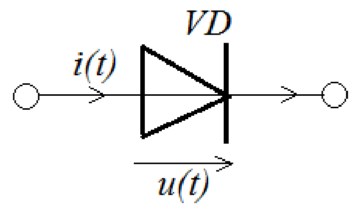
$$u = \varphi_T \cdot \ln\left[\frac{i}{I_o} + 1\right];$$

Классификация элементов схем
(*на примерах двухполюсников*)

По функциональной характеристике **$u(t) = \Phi[i(t)]$**

- ***Безынерционные*** *(без памяти)* $u = \Phi[i];$

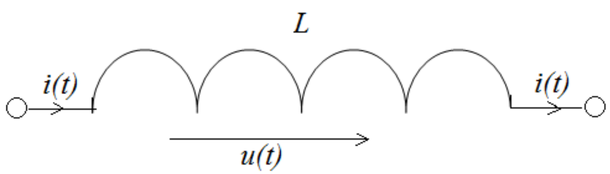


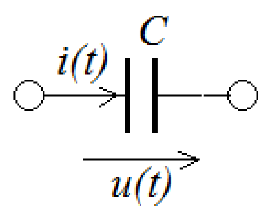


$$u = R \cdot i$$

$$u = \varphi_T \cdot \ln\left[\frac{i}{I_o} + 1\right];$$

- ***Инерционные*** *(с памятью)*





$$u(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}; \quad U_0 = u(0);$$

$$u(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i(t) \cdot dt + U_0;$$

Классификация элементов схем

(*на примерах двухполюсников*)

По функциональной характеристике **$u(t) = \Phi[i(t)]$**

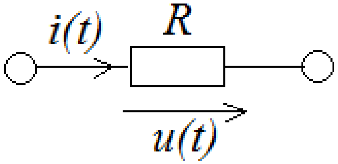
- ***Стационарные***

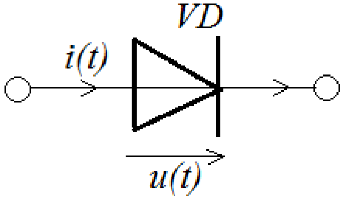
$$u(t+\tau) = \Phi[i(t+\tau)];$$

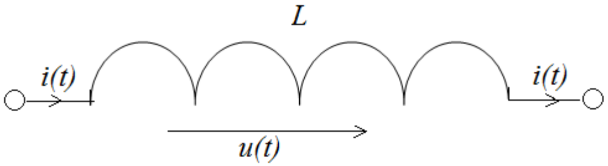
Классификация элементов схем
(*на примерах двухполюсников*)

По функциональной характеристике ***u(t) = Φ[i(t)]***

- ***Стационарные*** $u(t+\tau) = \Phi[i(t+\tau)];$







$$u = R \cdot i$$

$$u = \varphi_T \cdot \ln\left[\frac{i}{I_o} + 1\right];$$

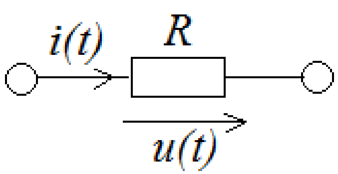
$$u(t+\tau) = L \cdot \frac{di(t+\tau)}{dt}$$

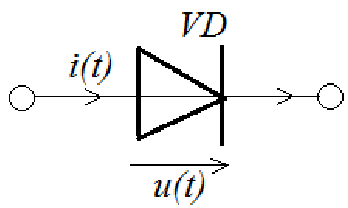
Классификация элементов схем

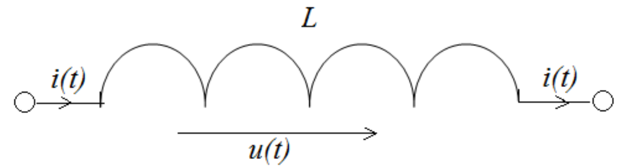
(*на примерах двухполюсников*)

По функциональной характеристике ***u(t) = Φ[i(t)]***

- ***Стационарные*** $u(t+\tau)=\Phi[i(t+\tau)];$

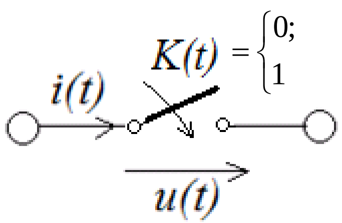


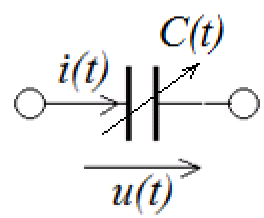




$$u=R\cdot i \qquad u=\varphi_T\cdot\ln\left[\frac{i}{I_o}+1\right]; \qquad u(t+\tau)=L\cdot\frac{di(t+\tau)}{dt}$$

- ***Нестационарные*** $u(t+\tau)\neq\Phi[i(t+\tau)];$

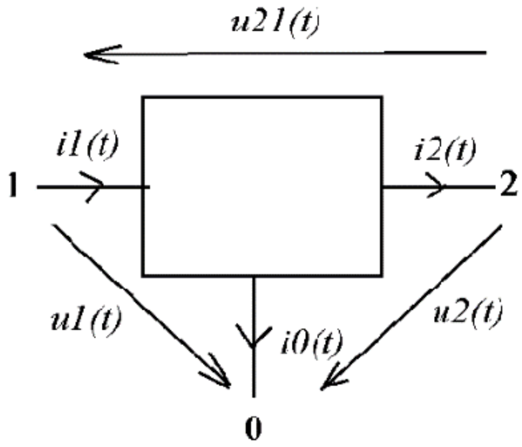




$$\begin{cases} u=0,\ при\ K=1; \\ i=0,\ при\ K=0; \end{cases}$$

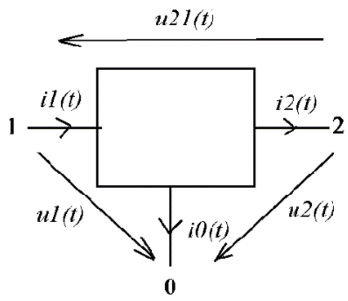
$$\begin{cases} q(t)=C(t)\cdot u(t); \\ i(t)=\dfrac{dq(t)}{dt}=\dfrac{dC(t)}{dt}\cdot u(t)+C(t)\cdot\dfrac{du(t)}{dt}; \end{cases}$$

Функциональная характеристика трёхполюсника

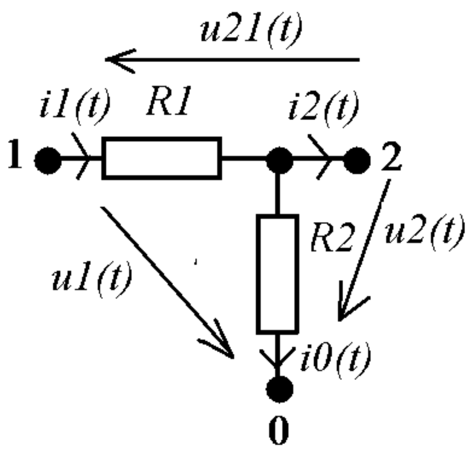


$$\begin{cases} i_1(t) - i_2(t) - i_0(t) = 0 \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0 \end{cases}$$

Функциональная характеристика трёхполюсника

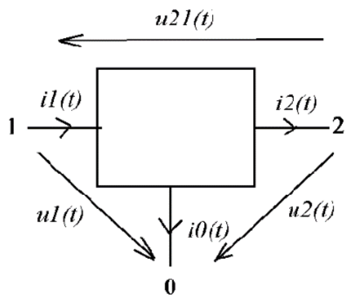


$$\begin{cases} i_1(t) - i_2(t) - i_0(t) = 0 \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0 \end{cases}$$

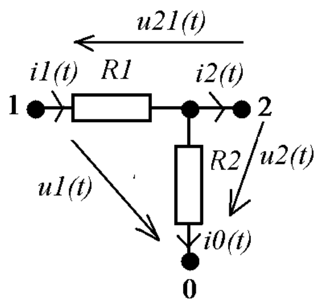


$$\begin{cases} i_1(t) - i_0(t) = 0; \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0; \\ u_{21}(t) = -R_1 \cdot i_1(t); \\ u_2(t) = R_2 \cdot i_0(t); \end{cases}$$

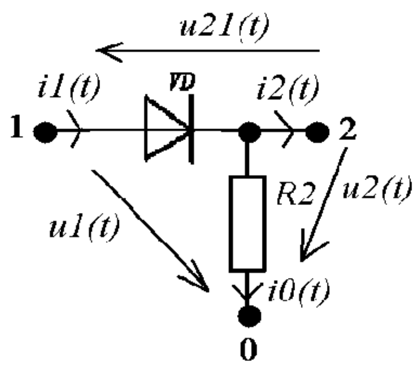
Функциональная характеристика трёхполюсника



$$\begin{cases} i_1(t) - i_2(t) - i_0(t) = 0 \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0 \end{cases}$$

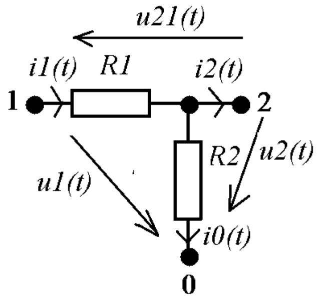


$$\begin{cases} i_1(t) - i_0(t) = 0; \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0; \\ u_{21}(t) = -R_1 \cdot i_1(t); \\ u_2(t) = R_2 \cdot i_0(t); \end{cases}$$

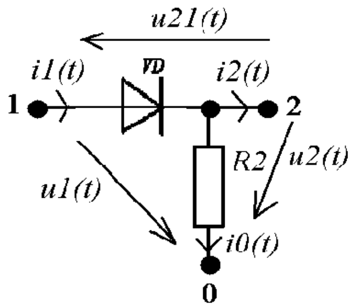


$$\begin{cases} i_1(t) - i_0(t) = 0; \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0; \\ u_{21}(t) = -\varphi_T \cdot \ln\left[\dfrac{i_1(t)}{I_o} + 1\right]; \\ u_2(t) = R_2 \cdot i_0(t); \end{cases}$$

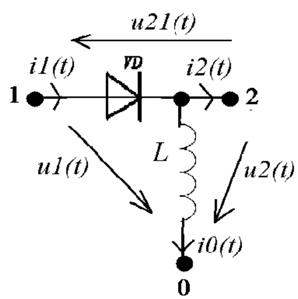
Функциональная характеристика трёхполюсника



$$\begin{cases} i_1(t) - i_0(t) = 0; \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0; \\ u_{21}(t) = -R_1 \cdot i_1(t); \\ u_2(t) = R_2 \cdot i_0(t); \end{cases}$$



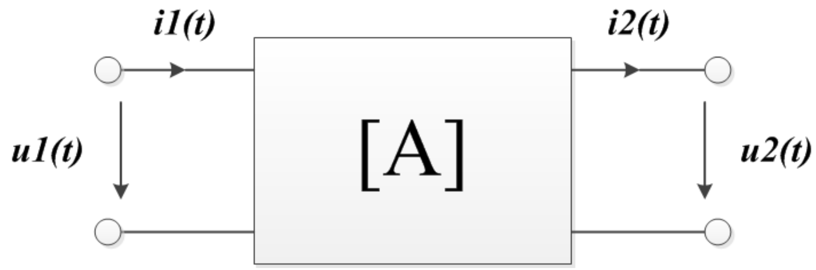
$$\begin{cases} i_1(t) - i_0(t) = 0; \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0; \\ u_{21}(t) = -\varphi_T \cdot \ln\left[\dfrac{i_1(t)}{I_o} + 1\right]; \\ u_2(t) = R_2 \cdot i_0(t); \end{cases}$$



$$\begin{cases} i_1(t) - i_0(t) = 0; \\ u_1(t) - u_2(t) + u_{21}(t) = 0; \\ u_{21}(t) = -\varphi_T \cdot \ln\left[\dfrac{i_1(t)}{I_o} + 1\right]; \\ u_2(t) = L \cdot \dfrac{di_0(t)}{dt}; \end{cases}$$

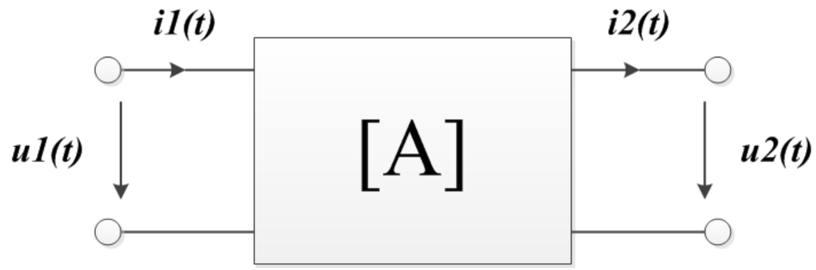
Функциональная характеристика линейного безынерционного четырёхполюсника

Функциональная характеристика линейного безынерционного четырёхполюсника



$$\begin{cases} u_1 = A_{11} \cdot u_2 + A_{12} \cdot i_2; \\ i_1 = A_{21} \cdot u_2 + A_{22} \cdot i_2 \end{cases}$$

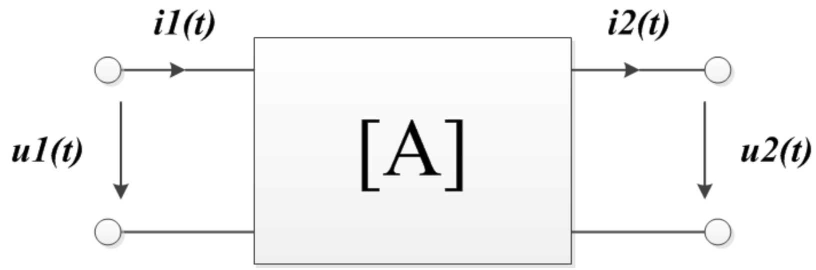
Функциональная характеристика линейного безынерционного четырёхполюсника



$$\begin{cases} u_1 = A_{11} \cdot u_2 + A_{12} \cdot i_2; \\ i_1 = A_{21} \cdot u_2 + A_{22} \cdot i_2 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_2 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

Функциональная характеристика линейного безынерционного четырёхполюсника

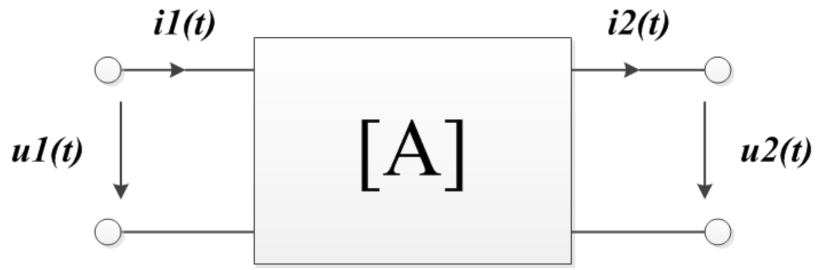


$$\begin{cases} u_1 = A_{11} \cdot u_2 + A_{12} \cdot i_2; \\ i_1 = A_{21} \cdot u_2 + A_{22} \cdot i_2 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_2 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$[\mathrm{A}] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$$

Функциональная характеристика линейного безынерционного четырёхполюсника



$$\begin{cases} u_1 = A_{11}\cdot u_2 + A_{12}\cdot i_2; \\ i_1 = A_{21}\cdot u_2 + A_{22}\cdot i_2 \end{cases}$$

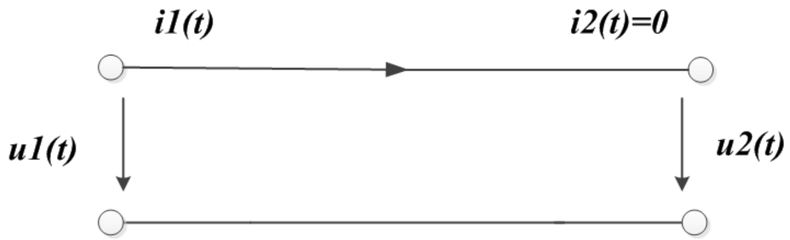
$$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_2 \\ i_2 \end{bmatrix}$$

$$[\mathrm{A}] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}$$

$$A_{11} = \left.\frac{u_1}{u_2}\right|_{i_2=0} \qquad A_{12} = \left.\frac{u_1}{i_2}\right|_{u_2=0} \quad \text{Ом}$$

$$A_{21} = \left.\frac{i_1}{u_2}\right|_{i_2=0} \quad \text{См} \qquad A_{22} = \left.\frac{i_1}{i_2}\right|_{u_2=0}$$

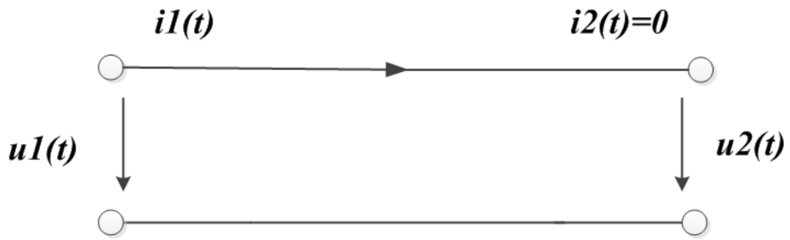
Пример функциональной характеристики линейного безынерционного четырёхполюсника

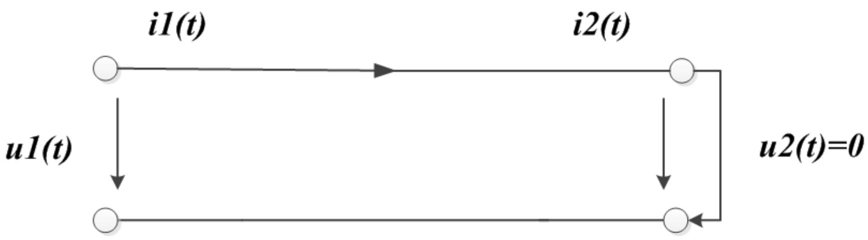


$$A_{11} = \left.\frac{u_1}{u_2}\right|_{i_2=0} = 1; \qquad u_1 = u_2;$$

$$A_{21} = \left.\frac{i_1}{u_2}\right|_{i_2=0} = 0; \qquad i_1 = 0;$$

Пример функциональной характеристики линейного безынерционного четырёхполюсника





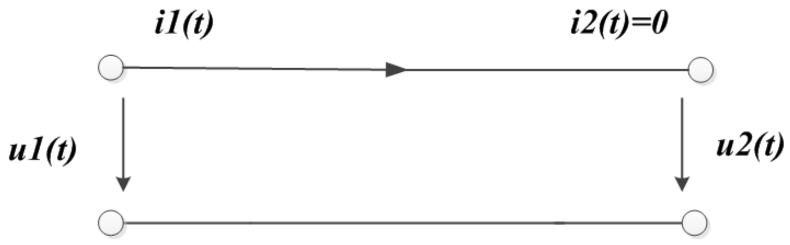
$$A_{11} = \left.\frac{u_1}{u_2}\right|_{i_2=0} = 1; \qquad u_1 = u_2;$$

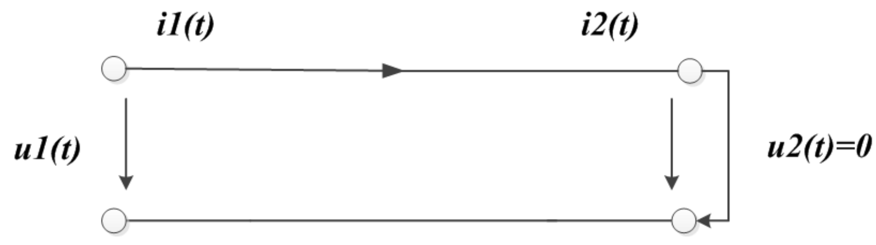
$$A_{21} = \left.\frac{i_1}{u_2}\right|_{i_2=0} = 0; \qquad i_1 = 0;$$

$$A_{12} = \left.\frac{u_1}{i_2}\right|_{u_2=0} = 0; \qquad u_1 = u_2 = 0;$$

$$A_{22} = \left.\frac{i_1}{i_2}\right|_{u_2=0} = 1; \qquad i_1 = i_2;$$

Пример функциональной характеристики линейного безынерционного четырёхполюсника





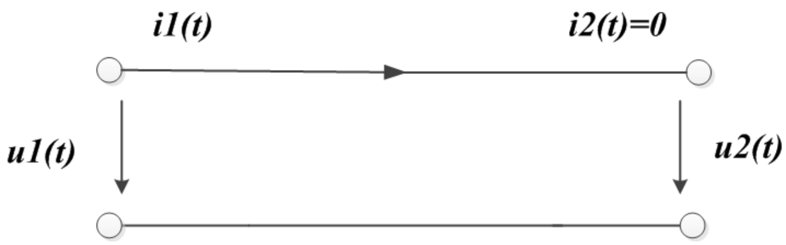
$$A_{11} = \left.\frac{u_1}{u_2}\right|_{i_2=0} = 1; \qquad A_{12} = \left.\frac{u_1}{i_2}\right|_{u_2=0} = 0$$

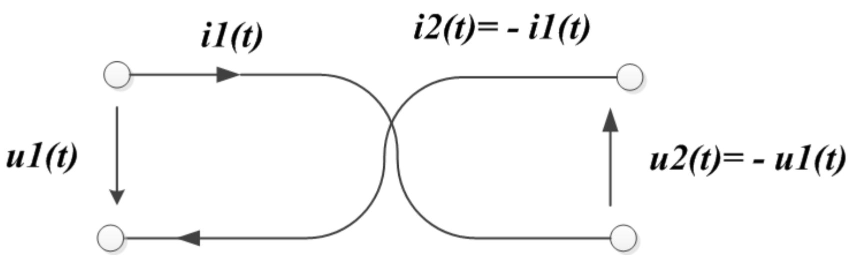
$$A_{21} = \left.\frac{i_1}{u_2}\right|_{i_2=0} = 0; \qquad A_{22} = \left.\frac{i_1}{i_2}\right|_{u_2=0} = 1$$

$$[\mathrm{A}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \qquad \Delta A = 1;$$

Пример функциональной характеристики линейного безынерционного четырёхполюсника

"Витая пара"





$$[\mathrm{A}]=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}; \qquad \Delta A=1;$$

$$[\mathrm{A}]=\begin{bmatrix}-1 & 0\\ 0 & -1\end{bmatrix}; \qquad \Delta A=1;$$

Спасибо за внимание