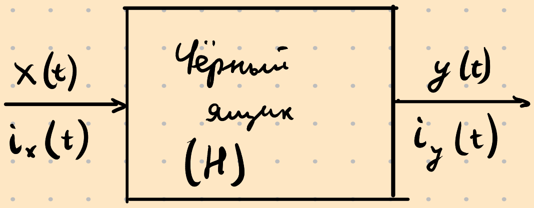
Филатов Иван Васильевич

Введение



- Все ящики не описать
- Рас-иваем только линейные и стационарные

Линейность: $\left.\begin{array}{l} x_1(t) \to y_1(t) \\ x_2(t) \to y_2(t) \end{array}\right\} \Rightarrow \alpha x_1(t) + \beta x_2(t) \longrightarrow \alpha y_1(t) + \beta y_2(t)$

Стационарность: $x(t) \to y(t) \Rightarrow x(t+\Delta t) \to y(t+\Delta t)$

Чёрный ящик описывается:

- схемой
- набором параметров H

Любая сис-ма, составленная из RLC, яв-ся линейной и стационарной.

Топологические эл-ты

Ветвь - участок эл. цепи, вдоль к-рого протекает один и тот же I. Может состоять из ≥ 1 идеализированных двухполюсника.

Узел - место соединения ветвей

Неустранимый - >2 ветвей   Устранимый - 2 ветви

Контур - любой замкнутый путь, проход. по неск-ким ветвям цепи.

Характериз. направлением обхода, каждая ветвь/узел проход. 1 раз

Относ. них можно записать:

Компонентные ур-я - свойства цепи, опред. её компонентами

Топологические ур-я - свойства цепи, опред. только её топологией

Правило Кирхгофа

- Закон сохр-я заряда
- Провода не накапливают заряд (узлы)

I закон Кирхгофа

Алг. сумма мгновенных знач-ий токов всех ветвей, подключ. к каждому из узлов в любой момент времени, равна 0.

$\sum_k i_k = 0.$

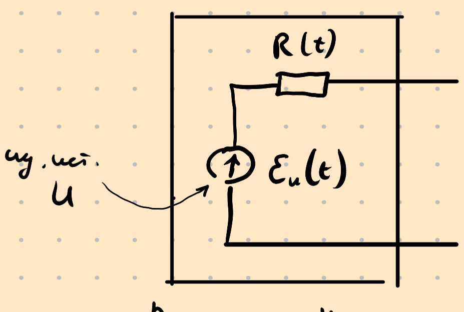
- Потенциальность эл. поля
- Консервативность эл. сил
- Потоки вектора $\vec{B}$ во времени в схеме не изменяются (не считая особых эл-ов)

II закон Кирхгофа

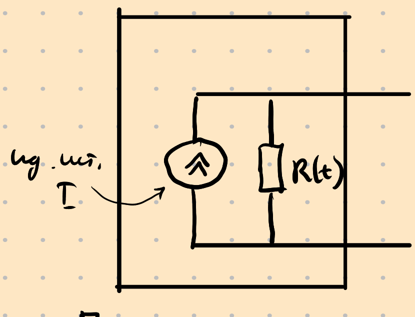
Алг. сумма мгновенных знач-ий напряжений всех ветвей, входящих в любой контур моделирующей цепи, равна 0.

Теорема об эквивалентном генераторе

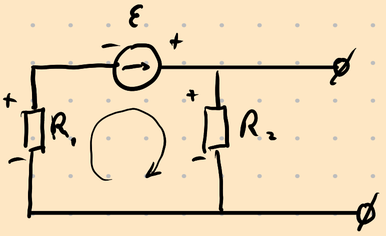
Ток произвольной ветви линейной эл. цепи не изменится, если автономный двухполюсник, к к-му подключена данная ветвь, заменить эквивалентным линеаризированным источником энергии, к-рый может быть представлен последовательной (Тевенин) или параллельной (Нортон) схемой замещения. При этом ЭДС идеального источника напряжения равна напряжению холостого хода автономного двухполюсника, ток идеального источника тока равен току КЗ автономного двухполюсника, а внутреннее сопротивление и проводимость экв. источника равны соотв. комплексным входным сопрот. и проводимости автономного двухполюсника.



Парал. – Нортон



Послед. – Тевенин



$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2}\ ; \quad \underset{\text{холостого хода}}{U_{xx}} = -I R_2 = -\frac{\varepsilon R_2}{R_1 + R_2}$$

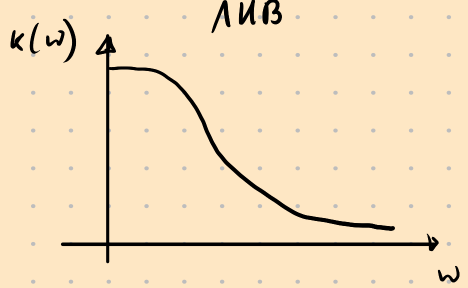
Заменяем идеализированный ист. ЭДС на перемычку или идеализированный ист. тока на разрыв цепи, считаем сопротивление схемы, получаем выходное сопротивление генератора.

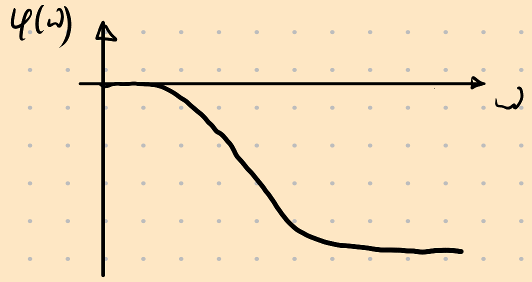
Это работает только с Независимыми источника. Для зависимых придётся составлять сис-му лин. ур-ий (разберись с этим)

Частотный анализ характеристик цепей

$1\cos(\omega t) \rightarrow$ [линейный четырёхполюсник] $\rightarrow k(\omega)\cdot\cos(\omega t + \varphi(\omega))$

ЛИВ

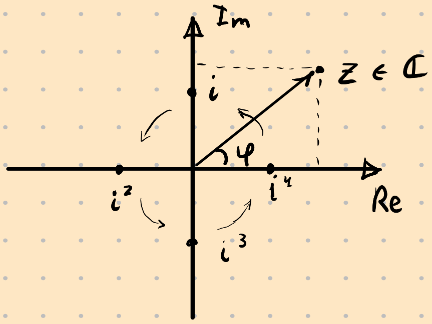




$k(\omega)$ – АЧХ $\qquad \varphi(\omega)$ – ФЧХ

Самое полное описание схемы!

Тригонометрия неудобна - переходим к комплексным



$$z = |z|\cos\arg z + i|z|\sin\arg z \quad (\varphi = \arg z)$$

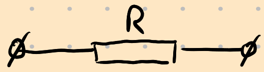
$$e^{ix} = 1 + ix - \frac{x^2}{2} - \frac{ix^3}{6} + \frac{x^4}{24} + \ldots$$

$$e^{ix} = \cos x + i\sin x$$

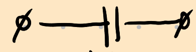
$$z = |z|e^{i\arg z}$$

$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2} \qquad \sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

$\cos\omega t + i\sin\omega t \rightarrow$ [ЛИВ] $\rightarrow K(\omega)\cos(\omega t + \varphi(\omega)) + (\ldots)i\sin(\ldots)$

① 

$I = \frac{U}{R} \quad \tilde{I} = \frac{\tilde{U}}{R}$

② 

$I = C\frac{dU}{dt} \quad \tilde{I} = C\frac{d(e^{j\omega t})}{dt} = j\omega C\tilde{U} = \frac{\tilde{U}}{\frac{1}{j\omega C}}$

импеданс

③ 

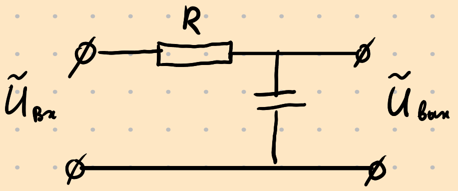
$U = L\frac{dI}{dt} \quad \tilde{U} = j\omega L\tilde{I}, \quad \tilde{I} = \frac{\tilde{U}}{j\omega L}$

Импеданс – комплексное сопротивление (Z) $j = i$ в радиотехнике

Комплексная проводимость – Y

Линейные цепи 1 порядка

① Интегрирующая RC – цепь



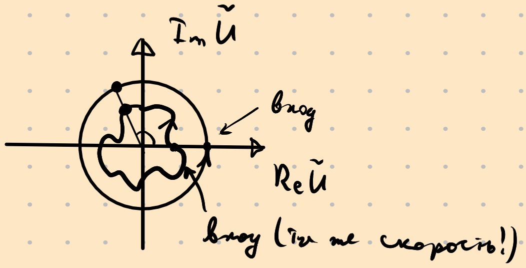
$\tilde{I} = \frac{\tilde{U}_{вх}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \qquad \tilde{U}_{вых} = \tilde{I}\cdot\frac{1}{j\omega C} = \frac{\tilde{U}_{вх}}{j\omega RC + 1}$

$\tilde{U}_{вых} = \frac{\tilde{U}_{вх}(1 - j\omega RC)}{1 + \omega^2 R^2 C^2}$

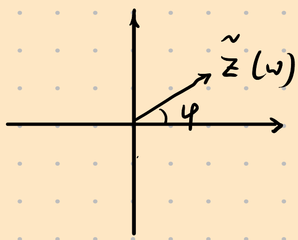
Что будет, если на вход подать $\cos\omega t$?

$U_{вых} = Re(\tilde{U}_{вых}) = (\cos\omega t + \sin\omega t\cdot\omega RC)\cdot(1+\omega^2R^2C^2)^{-1}$

Аналитический сигнал: $\cos\omega t + i\sin\omega t$



$\Downarrow$



$K(\omega) = \frac{\tilde{U}_{вых}}{\tilde{U}_{вх}} = \frac{1 - j\omega RC}{1 + \omega^2R^2C^2}$

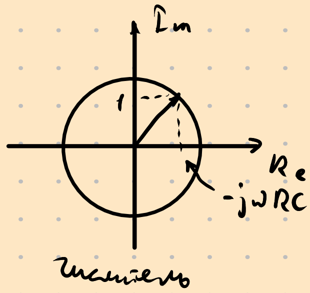
$\frac{\tilde{U}_{вых}}{\tilde{U}_{вх}} = \frac{A_0\cdot e^{j(\omega t + \varphi)}}{B_0\cdot e^{j\omega t}} = \frac{A_0}{B_0}\cdot e^{j(\omega t + \varphi - \omega t)} = \frac{A_0}{B_0}e^{j\varphi}$

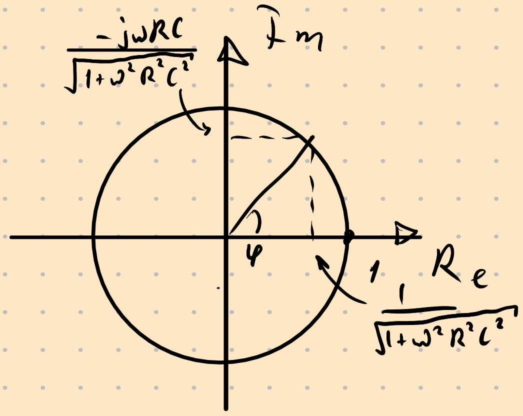
Получаем точку Z - сдвиг фаз - аргумент, модуль - соотношение амплитуд

Чтобы найти их, нужно из $K(\omega)$ выделить вещ. действ. часть и всю комплексную, комплексная причем должна иметь модуль 1 (это $e^{j\varphi}$).

$K(\omega) = \frac{1 - j\omega RC}{1 + \omega^2R^2C^2} = \frac{\frac{1 - j\omega RC}{\sqrt{1+\omega^2R^2C^2}}}{\sqrt{1+\omega^2R^2C^2}} \Rightarrow |K(\omega)| = (1 + \omega^2R^2C^2)^{-1/2}$

$|1 - j\omega RC| = \sqrt{1 + \omega^2R^2C^2}$





$$\arg K = \varphi = -\operatorname{arctg} \omega RC$$