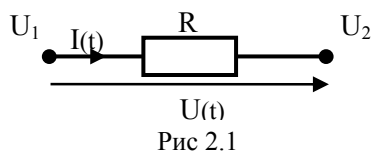


Лекция №2.

Энергетические характеристики цепей. Законы электрических цепей ([1] - стр. 7-14, 22-26).



♦ *Мгновенная мощность* $P(t)$ - мощность в данный момент времени: $P(t) = U(t) \cdot i(t)$

♦ *Энергия* $W(t)$ - мощность накопленная или выделенная за определенный промежуток времени:

$$W(t) = \int_{-\infty}^t P(x) dx$$

1. Мгновенная мощность и энергия на резисторе

$$P(t) = i_R(t) \cdot U_R(t) = \frac{1}{R} \cdot U_R^2(t) = R \cdot i_R^2(t)$$

$$W(t) = \frac{1}{R} \int_{-\infty}^t U_R^2(x) dx = R \int_{-\infty}^t i_R^2(x) dx$$

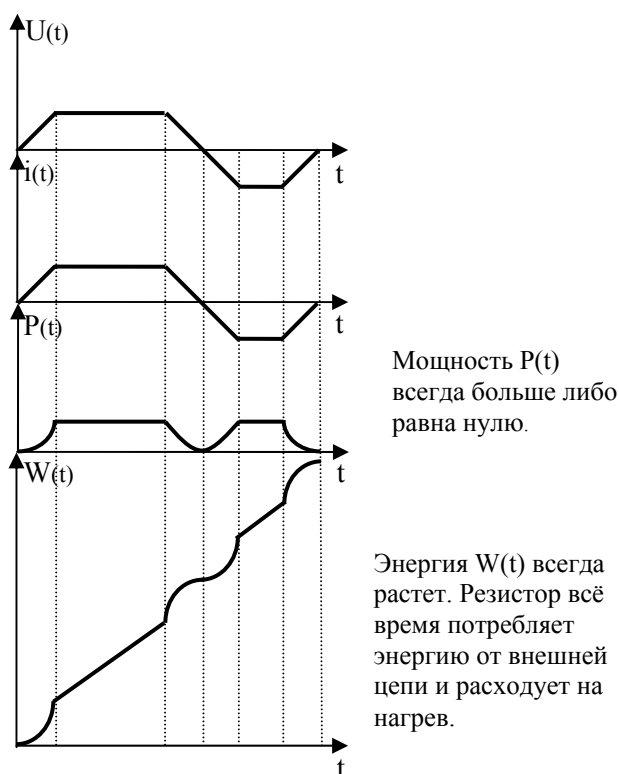


Рис 2.2 Графики напряжения, тока мгновенной мощности и энергии на резисторе.

2. Мгновенная мощность и энергия на емкости.

$$P(t) = i_C(t) \cdot U_C(t) = C \cdot U_C(t) \frac{dU_C(t)}{dt}$$

$$W(t) = \int_{-\infty}^t C \cdot U_C(x) \cdot \frac{dU_C}{dx} \cdot dx = C \cdot \frac{U_C^2(t)}{2}, \quad U_C(-\infty) = 0$$

Энергия в момент времени t зависит от напряжения в этот же момент времени и величины C .

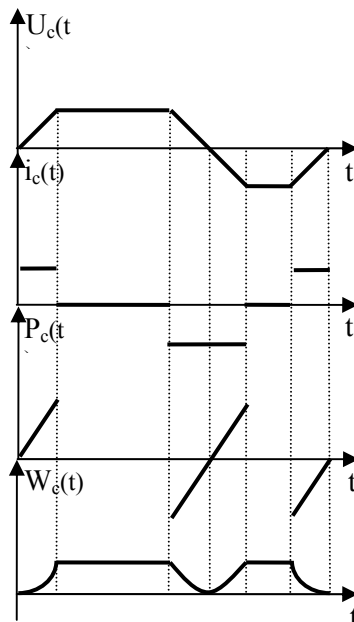


Рис.2.3 Связь между током, напряжением, мгновенной мощностью и энергией на конденсаторе.

3. Мгновенная мощность и энергия на индуктивности:

$$P(t) = i_L(t) \cdot U_L(t) = L \cdot i_L(t) \frac{di_L(t)}{dt}$$

$$W(t) = \int_{-\infty}^t L \cdot i_L(x) \cdot \frac{di_L}{dx} \cdot dx = L \cdot \frac{i_L^2(t)}{2}, i_L(-\infty) = 0$$

Энергия в момент времени t зависит от тока в этот же момент и величины L .

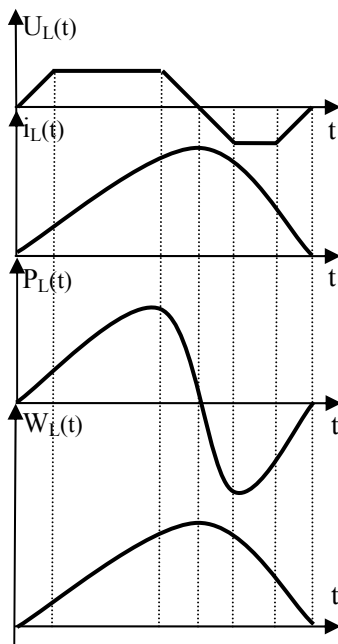


Рис.2.4 Связь между током, напряжением, мгновенной мощностью и энергией на катушке индуктивности.

Активные элементы.

Являются источниками энергии сигнала, разделяются на:

- управляемые;
- независимые.

Независимые источники напряжения могут быть:

- идеальными;
- реальными.

- ♦ **Идеальный источник напряжения** – в идеальном источнике напряжения напряжение не зависит от тока, потребляемого схемой от этого источника. (Рис 2.5)

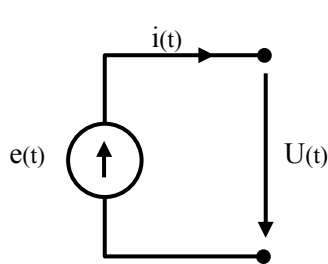


Рис 2.5

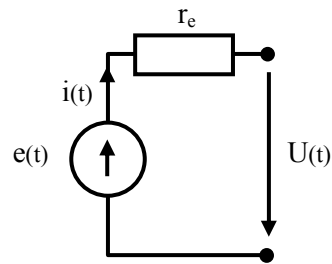


Рис 2.6

- ♦ **Реальный источник напряжения** – в реальном источнике напряжения напряжение зависит от тока, потребляемого схемой от этого источника. (Рис 2.6)

$$u = e - u_{re} = e - i \cdot r_e$$

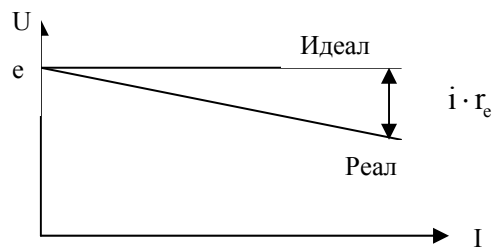


Рис 2.7

В реальном источнике напряжения, часть ЭДС теряется на внутреннем сопротивлении источника. Потери тем меньше, чем **меньше** это сопротивление. (рис 2.7)

Независимые источники тока:

- идеальные;
- реальные.
- ♦ **Идеальный источник тока** – в идеальном источнике тока ток во внешней цепи, подключенный к источнику, не зависит от внешней цепи, но напряжение $U(t)$ зависит от внешней цепи. (Рис 2.8)

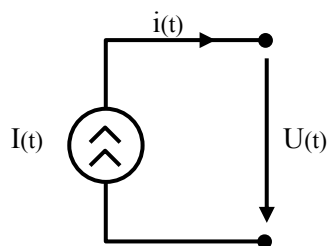


Рис 2.8

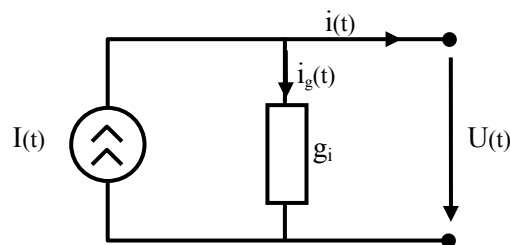


Рис 2.9 Проводимость.

- ♦ **Реальный источник тока** – в реальном источнике тока ток источника ответвляется через внутреннюю проводимость источника, поэтому ток во внешней сети зависит от напряжения, созданного источником тока на клеммах этой цепи. (Рис 2.9)

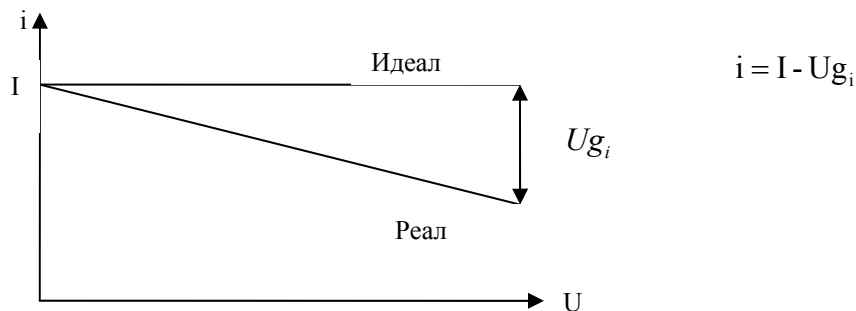


Рис 2.10

- ✓ В реальном независимом источнике тока, ток ответвляется через внутреннюю проводимость источника. Этот ток **увеличивается с увеличением** внутренней проводимости источника. Следовательно, источник тем лучше, чем **меньше** его внутренняя проводимость. (Рис 2.10)

Двухполюсники.

- ♦ *Двухполюсники* - элементы цепи, у которых для внешнего подключения доступны две клеммы (2 полюса). При этом втекающий и вытекающий токи равны. Напряжение на клеммах двухполюсника и ток, протекающий через него полностью определены.

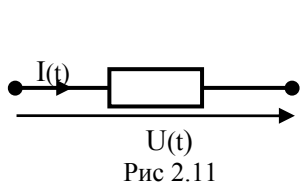


Рис 2.11

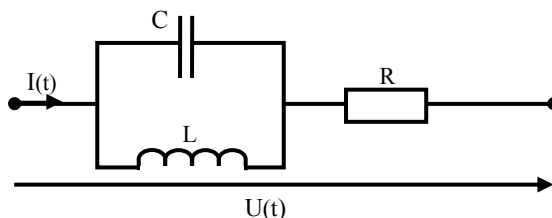


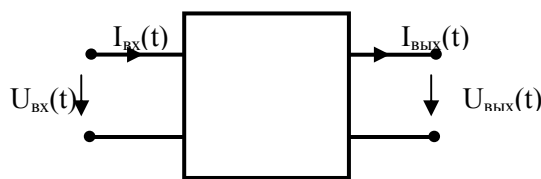
Рис 2.12 Пассивный двухполюсник

Примеры двухполюсников:

- пассивные элементы (R, L, C)
- активные элементы (источники тока и напряжения)
- произвольная схема с двумя клеммами для подключения к внешней цепи (см. рис.2.12)

Четырехполюсники.

- ♦ Элементы цепи, у которых для внешнего подключения доступны 4 клеммы. Для описания достаточно 4-х элементов: 2 тока, 2 напряжения



Примеры четырехполюсников: делитель напряжения (см. рис.2.13.), транзистор (см. рис.2.14.)

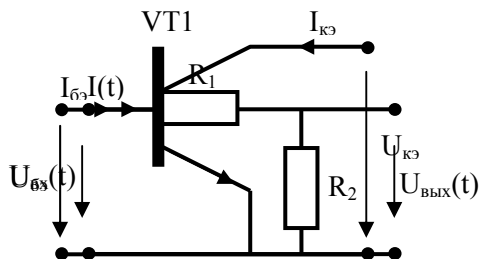


Рис.2.13. Делитель напряжения

Рис.2.14. Транзистор

Законы электрических цепей.

1. Закон сохранения энергии.

- ♦ В любой момент времени, сумма мгновенных мощностей для всех ветвей цепи равна нулю.

$$\sum_{k=1}^n P_k(t) = 0$$

2. Закон Кирхгофа для токов в узле цепи.

- ♦ Для любого узла в любой момент времени сумма втекающих в узел токов равна сумме вытекающих токов из этого узла.
- ♦ Алгебраическая сумма токов для данного узла равна 0.

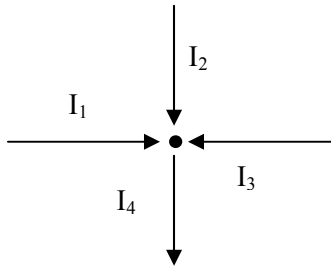


Рис.2.15. Узел

- $i_1 + i_2 + i_3 = i_4$ или $i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) = i_4(t)$
- $i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$ или $i_1(t) + i_2(t) + i_3(t) - i_4(t) = 0$
- ✓ При расчетах выбор направления токов произволен
- ✓ Закон обобщается и на сечение электрической цепи – это сечение можно рассматривать как расширенный узел. (См. рис.2.16)

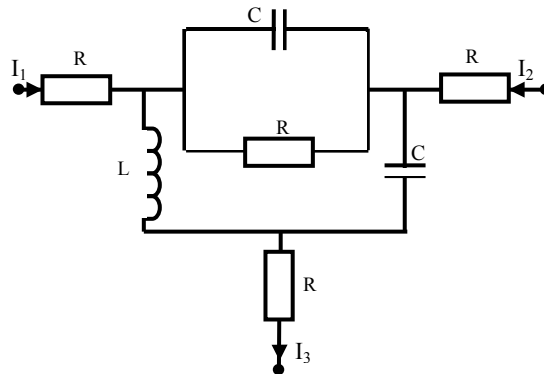


Рис.2.16. Расширенный узел

Тогда закон Кирхгофа для расширенного узла $I_1 + I_2 = I_3$.

3. Закон Кирхгофа для напряжений на контуре.

- ♦ Алгебраическая сумма напряжений на контуре в любой момент времени равна 0, если напряжение на элементе контура по знаку совпадает с направлением обхода, то это напряжение берется со знаком "+", в противном случае с "-". На рисунке 2.16а. изображен замкнутый контур из пассивных элементов, для которого на основании закона Кирхгофа для контура при обходе по часовой стрелке

$$U_2 + U_4 - U_3 - U_1 = 0$$

$$U_2(t) + U_4(t) - U_3(t) - U_1(t) = 0$$

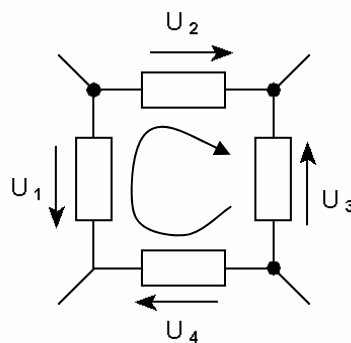


Рис.2.16а. Замкнутый контур из пассивных элементов.

- ♦ Сумма отдельных напряжений на замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС на этом же контуре. На рисунке 2.17. изображен замкнутый контур из пассивных и активных элементов, для которого на основании закона Кирхгофа для контура e_1, R_1, R_2, e_2 при обходе по часовой стрелке

$$e_1 - e_2 = U_1 - U_2$$

$$e_1(t) - e_2(t) = U_1(t) - U_2(t)$$

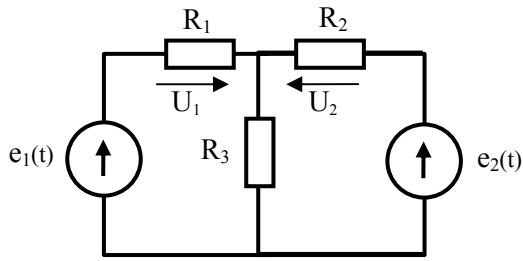


Рис.2.17. Схема из активных и пассивных элементов.

- ✓ Правило справедливо для любого контура, в том числе и для контура имеющего разрыв.

Классификация цепей.

- ✓ Методы анализа цепей зависят от уравнения ветви, которое связывает между собой ток и напряжение. Вид уравнения и определяет вид цепи.
- ✓ Существует три вида цепей:
 1. Линейные цепи с постоянными параметрами, описываются линейными, дифференциальными уравнениями с постоянными элементами R, L, C – не зависящими от времени t . Это - ЛИВ цепи (Линейные инвариантные цепи).
 2. Линейные цепи с переменными параметрами, описываются линейными, дифференциальными уравнениями с переменными R, L, C , зависящими от t .
 3. Нелинейные цепи, описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. В этих цепях есть хотя бы один элемент, в котором напряжение и ток связаны между собой нелинейной функцией.

Принципы, используемые при анализе линейных цепей.

1. Принцип суперпозиции (наложения).

- ♦ Отклик на сумму элементарных воздействий равен сумме откликов на каждое из этих воздействий.
- Принцип суперпозиции используется для решения двух проблем:
- 1) для представления сложных воздействий в виде суммы простых воздействий;
 - 2) для определения общей реакции цепи от нескольких независимых источников сигнала.
- Рисунок 2.18 иллюстрирует принцип суперпозиции. На этом рисунке $U(t)$ – сумма элементарных воздействий, $U_1(t)$ и $U_2(t)$ – элементарные воздействия, $I(t)$ – сумма элементарных откликов, $I_1(t)$ и $I_2(t)$ – элементарные отклики.

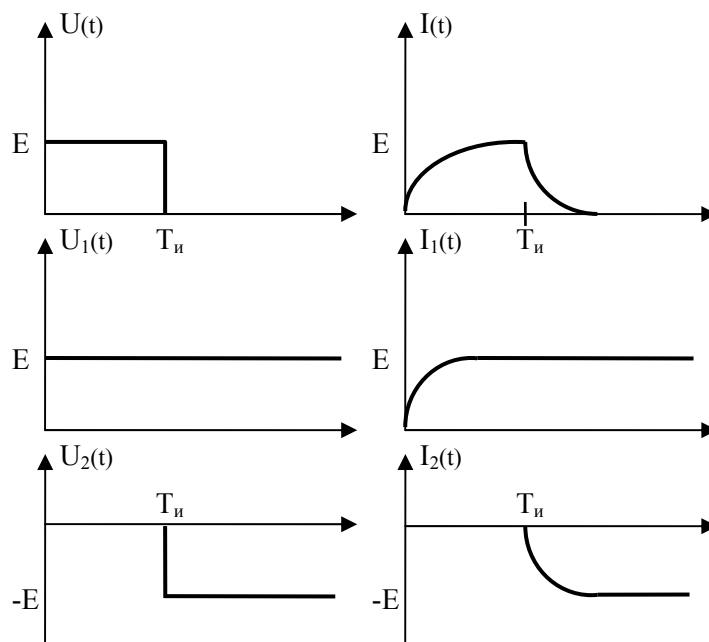


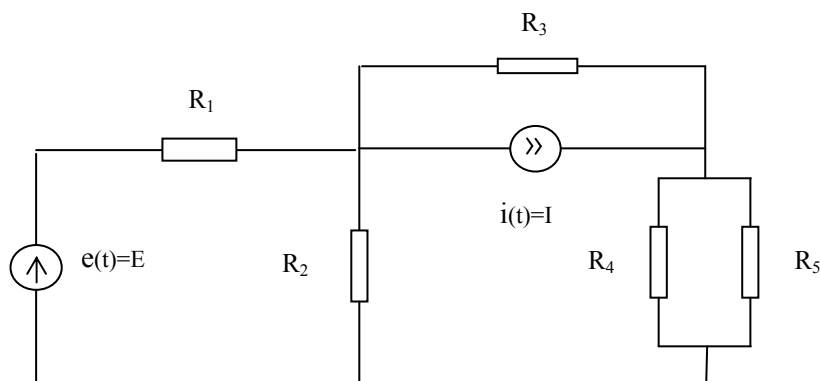
Рис.2.18. Иллюстрация принципа суперпозиции.

Контрольные вопросы к лекции №2

1. Как определить мгновенную мощность и энергию?
2. Чем отличается изменение энергии во времени на резисторе от изменения энергии во времени на конденсаторе и катушке индуктивности?
3. Какие виды активных элементов вы знаете?
4. В чем отличие реального источника напряжения от идеального и как приблизить реальный источник напряжения к идеальному?
5. В чем отличие реального источника тока от идеального и как приблизить реальный источник тока к идеальному?
6. Дайте определение двухполюснику. Приведите примеры двухполюсников.
7. Дайте определение четырехполюснику. Приведите примеры четырехполюсников.
8. Сформулируйте закон сохранения энергии для электрической цепи.
9. Сформулируйте закон Кирхгофа для токов в узле цепи.
10. Сформулируйте закон Кирхгофа для напряжений на контуре цепи.
11. Сформулируйте принцип суперпозиции.
12. Для решения каких задач используется принцип суперпозиции?

Типовые задачи к экзамену

1. Определите мгновенную мощность на емкости C , если напряжение на ней меняется по закону $u(t) = U \cdot \sin \omega_0 t$.
2. Определите мгновенную мощность на индуктивности L , если ток, протекающий через нее, меняется по закону $i(t) = I \cdot \cos \omega_0 t$.
3. Используя законы Кирхгофа, Ома и принцип наложения



(суперпозиции), определите ток, протекающий через R_5 в схеме, изображенной на рисунке, если $e(t) = E$, $I(t) = I$, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$.