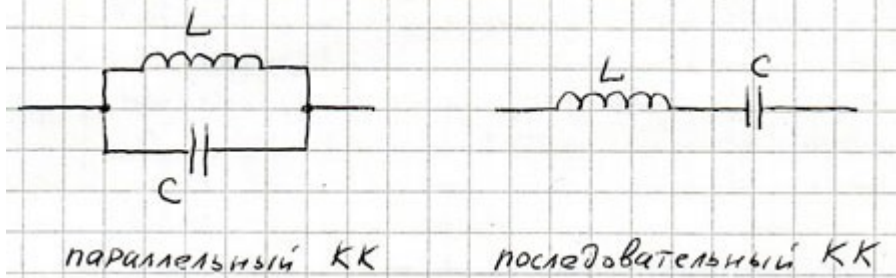


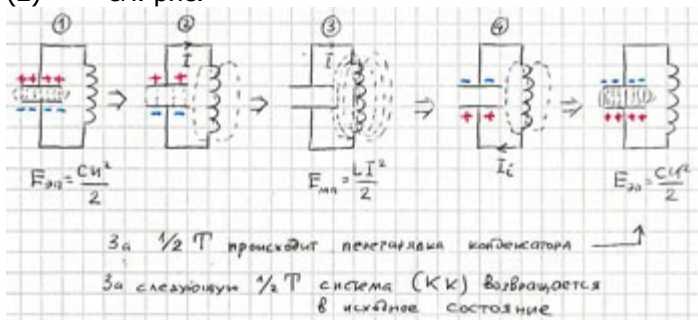
Тема 17. Электромагнитные колебания

1. Колебательный контур (КК)

Колебательный контур - это физическая система, состоящая из конденсатора и катушки.



В КК возникают **электромагнитные колебания**, т.е. колебания *тока, напряжения, заряда, ЭП и МП*. Для того, чтобы эти колебания начались, конденсатор необходимо зарядить. Это аналогично отклонению маятника от положения равновесия в начальный момент => сообщаем ему некоторый начальный запас энергии. В КК системе сообщается запас в виде энергии ЭП заряженного конденсатора (1). В следующий момент конденсатор начинает разряжаться => в цепи возникает ток => вокруг катушки создается МП (2) => см. рис:



Ток в контуре нарастает => в катушке возрастает МП, которое достигает максимального значения в момент полной разрядки конденсатора (3). Затем МП начинает убывать => в контуре возникает индукционный ток (4) и конденсатор начинает перезаряжаться (5). В тот момент, когда МП убывает до нуля, вся энергия снова сосредотачивается в конденсаторе, но заряд его пластин теперь противоположный начальному (5). Затем все повторяется снова и так далее. Таким образом в КК возникают периодические изменения напряжения и заряда конденсатора, его ЭП, а также силы тока и МП катушки - электромагнитные колебания. Поскольку проводники имеют некоторое сопротивление R , то часть энергии и при каждом колебании постепенно переходит во внутреннюю => проводники нагреваются => колебания постепенно затухают.



Осциллограмма колебаний в контуре отчетливо показывает, что они затухающие.

Если КК поместить в жидкий гелий, то проводники перейдут в *сверхпроводящее состояние* (см. Тема 13, п. 1) и колебания будут происходить *бесконечно долго*.

2. Уравнение электромагнитных колебаний в КК

Уравнение электромагнитных колебаний в КК можно записать для любой величины, которая периодически изменяется: **i , u , q , E , B** или **H** .

Принято записывать такое уравнение для *силы тока* или *напряжения*:

$$i = I \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \text{ и } u = U \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

пусть $\varphi_0 = 0$, тогда

мгнов. знач. силы тока $i = I \cos \omega_0 t$

мгнов. знач. напряжения $u = U \cos \omega_0 t$

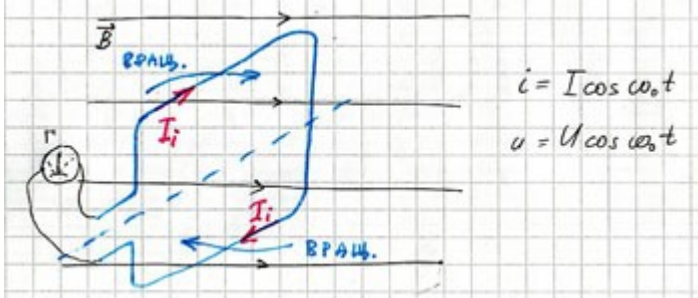
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$\nu_0 = \frac{1}{T} \Rightarrow \nu_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad \nu_0 - \text{собственная (резонансная) частота КК}$$

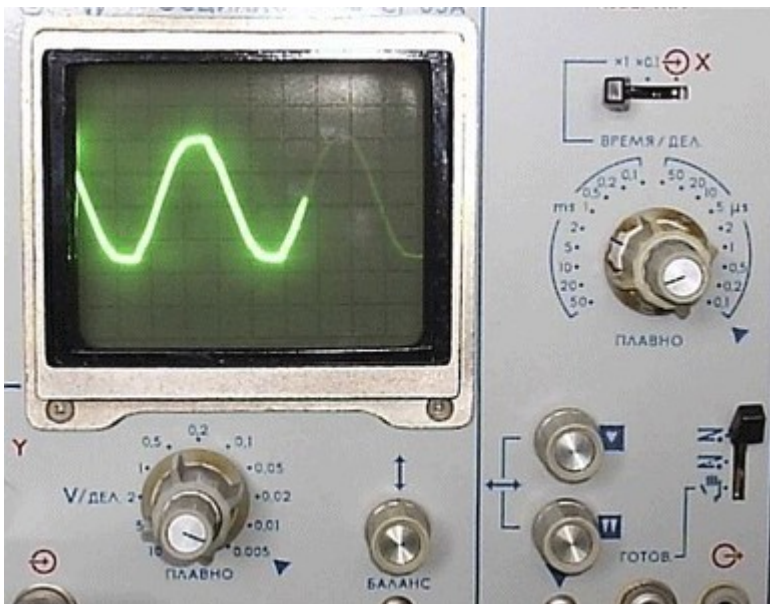
В КК также может наблюдаться **резонанс**, если частота внешнего воздействия (подводимого к контуру тока и напряжения) будет равна собственной частоте контура. График вынужденных колебаний аналогичен соответствующему графику механических колебаний. Резонансная кривая выглядит также аналогично.

3. Переменный ток

Вынужденные электромагнитные колебания можно получить, если вращать проволочную рамку в МП:



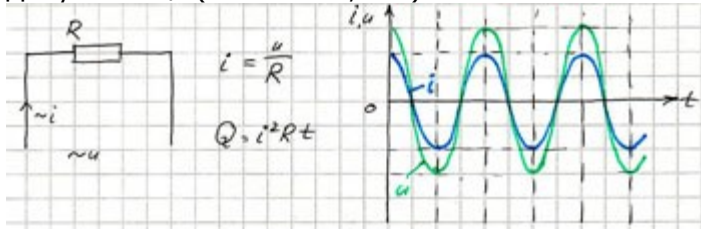
Поскольку рамка движется в постоянном МП, в ней возникает **переменный индукционный ток i** - маленькой буквой обозначают **мгновенное значение** силы переменного тока. **Переменным** называют ток, величина и направление которого меняются с течением времени. В электрической сети протекает переменный ток частотой $\nu = 50$ Гц и напряжением $U = 220$ В.



Осциллограмма переменного тока.

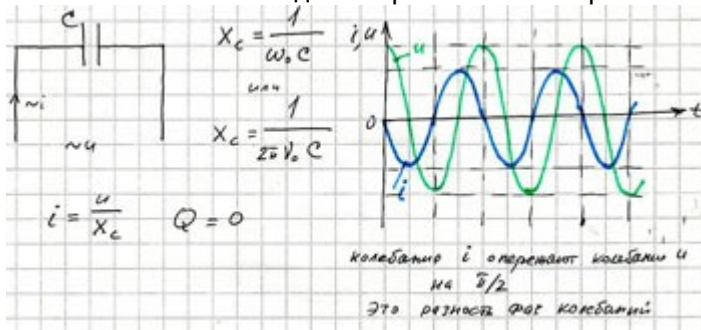
Обычный резистор в цепи переменного тока называют **активным сопротивлением**. При протекании тока на нем выделяется некоторое количество теплоты, которое рассчитывается уже знакомой формуле закона

Джоуля-Ленца (см. Тема 11, п. 4):

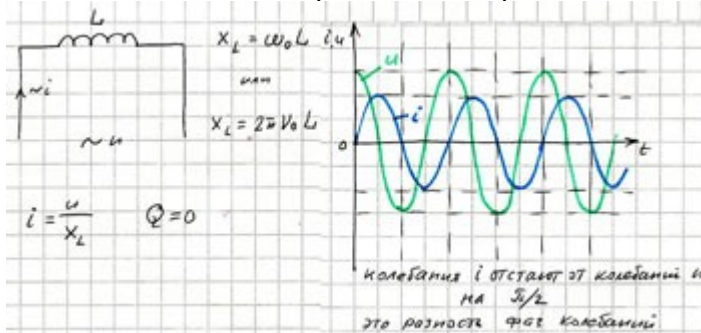


4. Реактивные составляющие в цепи переменного тока

Если в цепи переменного тока включен конденсатор, то ток в цепи будет протекать, т.к. происходит перезарядка конденсатора с частотой переменного тока => возникает некое сопротивление конденсатора переменному току X_c - реактивное сопротивление конденсатора (емкостное сопротивление). Его величина зависит от емкости конденсатора и частоты переменного тока:



Если в цепи переменного тока включена катушка, ток протекать будет - это само собой разумеется. Но, поскольку ток переменный - в катушке возникает переменное МП, которое индуцирует в ней индукционный ток. Этот индукционный ток будет периодически направлен против основного тока => также возникает особое X_L - реактивное сопротивление катушки переменному току (индуктивное сопротивление). Его величина зависит от индуктивности катушки и частоты переменного тока:

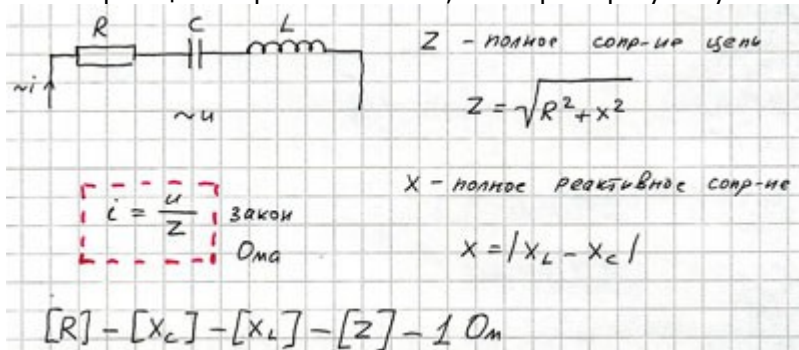


5. Закон Ома для участка цепи переменного тока

Пусть в цепи переменного тока имеются:

- активное сопротивление ==> $i = u/R$;
- конденсатор ==> $i = u/X_c$;
- катушка ==> $i = u/X_L$;

Рассмотрим цепь переменного тока, в которой присутствуют эти три элемента:



Если частота подводимого к цепи переменного напряжения будет меняться, то в какой-то момент наступит резонанс.

Условие резонанса: $X_L = X_c \Rightarrow X = 0 \Rightarrow i = u/R$ - величина силы тока зависит только от активного

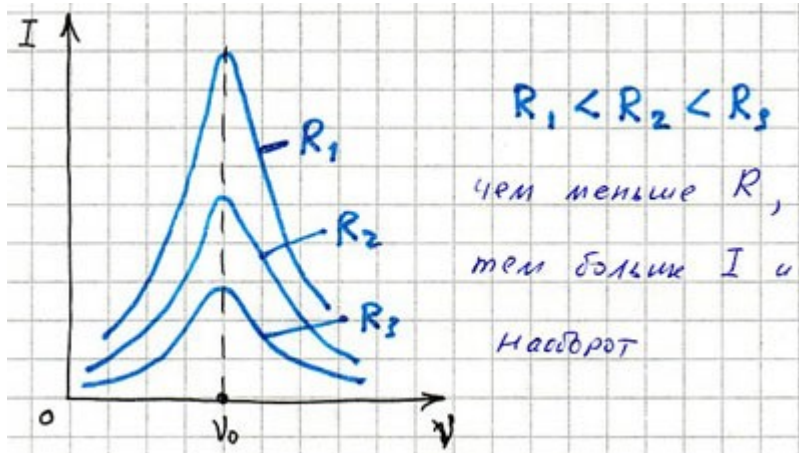
сопротивления цепи.

Из этого условия легко получить формулу собственной частоты КК:

$$X_L = X_C \Rightarrow 2\pi\nu_0 L = \frac{1}{2\pi\nu_0 C} \Rightarrow 4\pi^2\nu_0^2 LC = 1 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Если $\nu = \nu_0 \Rightarrow$ наблюдается резонанс

Резонансная кривая для переменного тока совершенно аналогична такой же кривой для механических колебаний:



6. Автогенератор

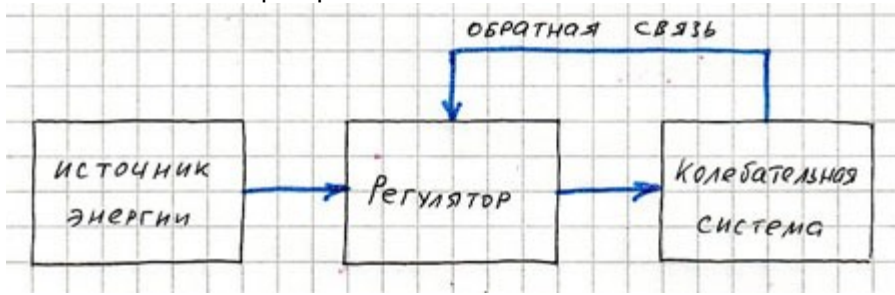
Свободные, быстро затухающие колебания в реальном контуре практического значения не имеют. Что эти колебания не затухали, необходимо компенсировать потери энергии на преодоление сопротивления проводников \Rightarrow к контуру надо подключить некий источник энергии, за счет которого происходило бы восполнение потерь. Использовать напрямую для этой цели **источник постоянного тока нельзя** уже по той причине, что он создает именно **постоянный ток**, а в контуре протекает **переменный**. Плюс ко всему, энергия должна поступать в систему не постоянно, а определенными порциями с частотой колебаний системы.

Устройства такого типа были изобретены давно. Они бывают как механического типа (используются в механических часах), так и электронного (используются в электронных часах). Но применение подобных устройств электронного типа гораздо шире.

Не смотря на разнообразие конструкций и схемных решений, все такие устройства работают по одному принципу и получили название **автогенераторы** (автоколебательные системы).

Автогенератор - это механическая или электронная система, в которой создаются (генерируются) незатухающие колебания за счет поступления энергии от источника внутри самой системы. Незатухающие колебания, которые существуют в системе без воздействия на нее внешних периодических сил, называются **автоколебаниями**. Графики автоколебаний показаны в Теме 15, пункт 2, первый рисунок.

Блок схема автогенератора:



Источник энергии - за счет него поддерживаются незатухающие колебания в системе.

Регулятор - осуществляет подачу энергии от источника "порциями".

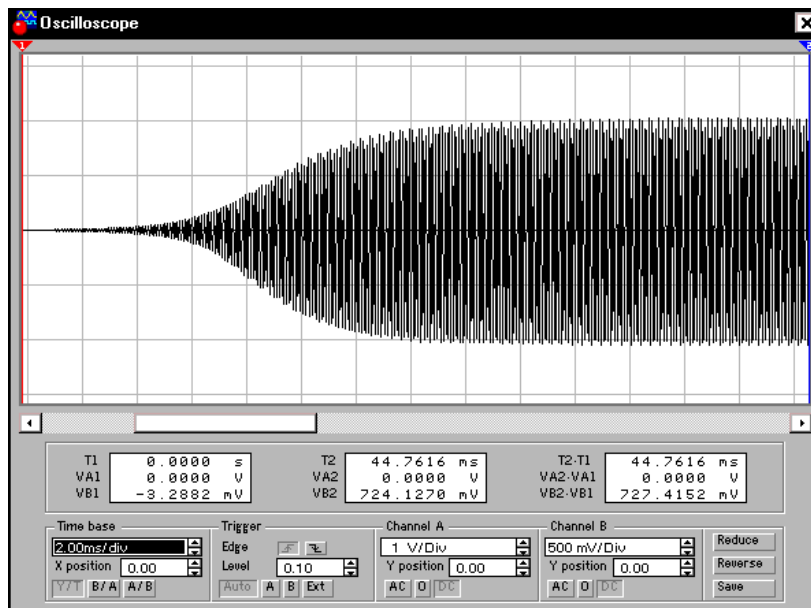
Колебательная система - это та часть автогенератора, в которой собственно происходят колебания, например, КК.

Обратная связь - с ее помощью колебательная система управляет регулятором.

Описание работы автогенератора.

От источника энергии через регулятор поступает порция энергии, необходимой для одного колебания. Система совершает одно колебание => происходит потеря энергии на преодоление сопротивления => через обратную связь система подает сигнал на регулятор => регулятор подает от источника следующую порцию энергии => происходит еще одно колебание => происходит потеря энергии на преодоление сопротивления => через обратную связь система подает сигнал на регулятор => регулятор подает от источника следующую порцию энергии => происходит еще одно колебание и так далее, пока не иссякнет запас энергии.

В реальном автогенераторе колебания с постоянной частотой и амплитудой устанавливаются не мгновенно, а спустя некоторое время после включения. Это наглядно показывает график:



Контрольные вопросы:

1. Что такое «колебательный контур»? Какие бывают КК?
2. Что представляют собой электромагнитные колебания?
3. Опишите 1 цикл возникновения электромагнитных колебаний в КК.
4. Почему электромагнитные колебания в КК затухают?
5. Как получить незатухающие колебания в КК?
6. Запишите уравнения колебаний тока и напряжения в КК.
7. Как рассчитать период колебаний в КК?
8. Как рассчитать частоту колебаний в КК?
9. Как можно получить вынужденные электромагнитные колебания?
10. Какой ток называют переменным?
11. Как ведет себя обычный резистор в цепи переменного тока?

12. Запишите закон Ома для участка цепи переменного тока, содержащего обычный резистор.
13. Постройте график зависимости напряжения и силы тока от времени для цепи переменного тока, содержащей обычный резистор.
14. Почему через конденсатор, включенный в цепь переменного тока, протекает ток?
15. От чего зависит реактивное сопротивление конденсатора?
16. Запишите формулы реактивного сопротивления конденсатора и закона Ома для участка цепи переменного тока, содержащего конденсатор.
17. Постройте график зависимости напряжения и силы тока от времени для цепи переменного тока, содержащей конденсатор.
18. От чего зависит реактивное сопротивление катушки?
19. Запишите формулы реактивного сопротивления катушки и закона Ома для участка цепи переменного тока, содержащего катушку.
20. Постройте график зависимости напряжения и силы тока от времени для цепи переменного тока, содержащей катушку.
21. Нарисуйте схему участка электрической цепи, содержащей R, C и L.
22. Запишите формулу полного сопротивления электрической цепи переменного тока, содержащей R, C и L.
23. Запишите формулу закона Ома для электрической цепи переменного тока, содержащей R, C и L.
24. Запишите формулу полного реактивного сопротивления для электрической цепи переменного тока, содержащей R, C и L.
25. Запишите единицы измерения Z , R , X , X_C и X_L в «СИ».
26. Каково условие резонанса в цепи переменного тока, содержащей R, C и L?
27. Запишите формулу собственной (резонансной) частоты КК.
28. Как вид резонансной кривой для цепи переменного тока зависит от R?
29. Что нужно сделать, чтобы электромагнитные колебания в КК не затухали?
30. Что такое «автогенератор»?
31. Дайте определение «автоколебаниям».
32. Постройте схематически график автоколебаний.
33. Изобразите блок-схему автогенератора.
34. Опишите назначение каждого блока автогенератора.
35. Опишите принцип работы автогенератора.