

Научно-исследовательская работа

Физика

**МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ. ОПИСАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,  
РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРИБОРА**

*Выполнил:*

***Рамазанов Геннадий Курбанович***

*учащийся \_\_11\_\_ класса*

*МБОУ СОШ № 26, МАУ ДО «Центр ДО г. Владикавказа»,*

*Россия, г. Владикавказ*

*Руководитель:*

***Радченко Татьяна Ивановна***

*Учитель физики,*

*Заслуженный учитель РСО – Алании,*

*Почётный работник общего образования РФ,*

*МБОУ СОШ № 26, МАУ ДО «Центр ДО г. Владикавказа»,*

*Россия, г. Владикавказ*

## Введение

Профессия сапёра – одна из самых почётных и ответственных в армии. Сапёры спасли жизнь тысячам солдат и мирных жителей, разгадав и обезвредив самые хитроумные минные ловушки. Даже в наше время находят старые, но ещё таящие в себе грозную силу невзорвавшиеся мины и снаряды.

С другой стороны металлоискатели (миноискатели) могут быть незаменимыми и в руках представителей мирных профессий. Например, для археологов. В этом случае прибор может дать начало масштабным раскопкам и новым открытиям, которые способны внести неоценимый вклад в развитие данной науки, что, несомненно, имеет большую общечеловеческую и культурную ценность.

**Цель** данного проекта – разработка и изготовление действующей модели металлоискателя на базе металлодетектора, использующего изменение частоты, создаваемой колебательным контуром поискового генератора. **Задачи** – изучение принципов действия металлоискателей, а затем разработка и изготовление авторского изделия с последующей проверкой эффективности работы полученной модели.

**Объект исследования** в данной работе – металлодетекторы. **Предмет исследования** – технические характеристики детекторов данного назначения. **Гипотеза** – возможность самостоятельных разработок приборов на основе металлодетекторов в условиях творческого объединения.

**Методы исследования:** для осуществления поставленных задач был изучен соответствующий теоретический материал, также изучались и проверены в действии металлодетекторы промышленного изготовления. Полученные результаты подверглись анализу с целью создания нового продукта – действующей модели металлоискателя. С изготовленной моделью проводились исследования, результаты которых фиксировались в таблице. В процессе работы над проектом были использованы учебники по общей и прикладной физике, а также необходимые материалы из интернета.

**Новизна работы:** разработан и изготовлен металлоискатель на базе схемы с использованием индуктивного датчика, с помощью которого проведены исследования по обнаружению металлических предметов под землёй, щебёнкой, песком и водой.

Прибор чётко определяет наличие металла на глубине до 20 сантиметров. Также с его помощью можно определить положение внутренней электрической проводки под штукатуркой в кирпичных и деревянных стенах.

**Практическая значимость проекта:** материал может быть применён в учебном процессе, а сам прибор может использоваться по прямому назначению – для поиска металлических предметов.

## **2. Теоретическое исследование вопроса о принципах работы металлоискателя.**

### **2.1. Колебательный контур как основа генератора частоты.**

#### **Исследование процессов в колебательном контуре**

Как известно колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Конденсатор имеет ёмкость, выражаемую в фарадах, а катушка обладает индуктивностью, измеряемую в генри. Если конденсатор зарядить, то в колебательном контуре начнутся периодические изменения электрического и магнитного полей, то есть возникнут электромагнитные колебания. При этом происходят определённые процессы, представленные на серии рисунков и графиков, отображающих эти процессы («Приложение» рис.1-3 и графики 1- 3):

- Перераспределение энергии между электрическим и магнитным полями. Обмен энергией между конденсатором и катушкой.

- Конденсатор разряжается, перезаряжается и т.д.

- Ток через катушку индуктивности, то нарастает, то убывает до 0, а затем меняет своё направление.

Графики, описывающие полностью один период электромагнитных колебаний возникающих в колебательном контуре, представлены на графиках 4 а, б («Приложение»). Это – косинусоида, показывающая изменения

электрического заряда на обкладках конденсатора от времени  $q(t)$  и синусоида, отображающая изменения силы тока от времени в катушке  $i(t)$ . Уравнения колебаний в данном случае выглядят следующим образом:

$$q = q_m \cos \omega_0 t;$$

$$i = I_m \sin \omega_0 t.$$

При этом для полной энергии  $W$  в разные моменты времени, используя формулы для энергии электрического и магнитного полей, запишем [1]:

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{q_m^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2}.$$

## 2.2. Принципы работы генератора на транзисторе

Обычно для работы приборов и различных устройств нужны незатухающие колебания. Такие колебания можно получить с помощью генератора на транзисторе. Рассмотрим его устройство и принципы действия. Главной частью генератора является уже рассмотренный колебательный контур. Назначение транзистора и источника тока – вовремя пополнять убыль энергии в колебательном контуре [1].

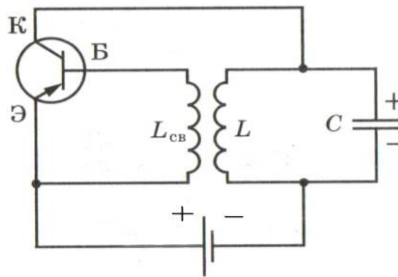


Рис. 1. Схема генератора на транзисторе

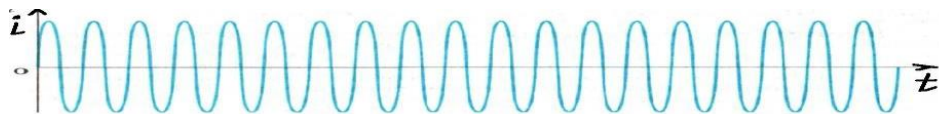
Генератор содержит:

- колебательный контур, состоящий соответственно из конденсатора и катушки индуктивности;
- транзистора, являющегося электронным ключом [2];
- источника постоянного тока;

- катушки обратной связи, позволяющей подавать энергию источника тока в колебательный контур в необходимые моменты времени.

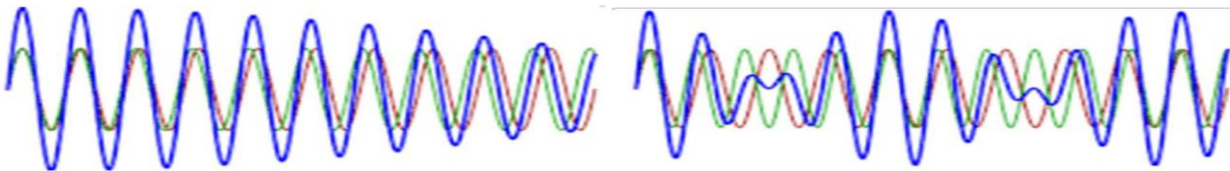
В процессе работы генератор создаёт электромагнитные колебания за счёт наличия колебательного контура. Для того, чтобы колебания были незатухающими имеется аккумуляторная батарея. С катушкой колебательного контура индукционно связана катушка обратной связи. Её подключают так, чтобы потенциал, подаваемый на базу биполярного транзистора, открывал его в нужные моменты. (Существуют другие схемы без катушки обратной связи с использованием конденсаторов.)

Таким образом, транзистор действует как безинерционный ключ в электрической цепи, замыкая и размыкая цепь. В результате ток по ней идёт только в строго определённые моменты времени и потери энергии в колебательном контуре периодически пополняются, обеспечивая стабильную работу генератора. Получаемые незатухающие колебания – рис. 2 [1].



*Рис. 2. Незатухающие электромагнитные колебания, получаемые с помощью генератора на транзисторе*

В данном проекте используется сложение частот двух генераторов. В результате возникают «биения» – рис.3.



*Рис. 3. Сложение частот (интерференция) двух генераторов*

### **2.3. Принципы изменения частоты электромагнитных колебаний, создаваемых генератором**

Чтобы понять принципы изменения частоты электромагнитных колебаний, возникающих в колебательном контуре необходимо проанализировать или

формулу Томсона для *периода* электромагнитных колебаний, то есть *времени одного полного колебания*

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

или формулу для циклической частоты  $\omega$  (*число колебаний за  $2\pi$  секунд*)

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

*Анализируя формулы можно установить, что изменение частоты и периода колебаний происходит в двух случаях:*

- *при изменении электрической ёмкости системы;*
- *в случае изменения индуктивности.*

Это достигается различными способами в зависимости от решаемых технических задач: изменением ёмкости или индуктивности.

Мы изготовили металлоискатель, где влияние происходит на катушку индуктивности.

## 2.4. Индуктивные датчики

Принцип действия рассматриваемых датчиков сводится к фиксированию изменений параметров магнитного поля.

У прибора существует активная зона, где наиболее сконцентрировано магнитное поле чувствительного элемента.

При включении прибора и попадания какого-либо объекта (из соответствующих материалов) в так называемую «активную зону» происходит изменение амплитуды колебаний создаваемых генератором, что связано с возникновением в проводящем объекте индукционных вихревых токов, наведенных катушкой прибора. При этом выдаваемый оборудованием конечный сигнал будет, естественно, зависеть от расстояния до объекта.

Основные элементы конструкции:

- **генератор**, создающий электромагнитное поле взаимодействия с объектом.
- **усилитель**, увеличивающий амплитуду сигнала [3].

### 3. Металлоискатели.

#### Виды и принципы действия

Металлоискатель представляет собой электронный прибор способный обнаруживать металлические предметы в непроводящей или плохо проводящей среде за счёт их электрической проводимости. Принципы работы могут быть основаны на различных физических принципах [4,5].

#### Принцип действия металлоискателя на биениях

Принцип его действия основан на регистрации разности частот двух генераторов электромагнитных колебаний.

- Первый генератор (задающий) даёт стабильную частоту.

- Второй генератор (поисковый) имеет датчик, где поисковая катушка может изменять свою индуктивность в зависимости от свойств обнаруженного объекта и расстояния до него. В результате частота колебаний в колебательном контуре меняется. Сторонние ферромагнетики увеличивают  $L$ . Следовательно,  $\omega$  уменьшается, так как

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

- Частоты двух генераторов подают в особое устройство – смеситель. Исходно частоты генераторов практически одинаковы. Но когда поисковая катушка находит объект, наведённые в нём вихревые токи влияют на катушку, меняя её индуктивность (и частоту колебаний в колебательном контуре с данной катушкой). На выходе смесителя появится частота равная разности частот генераторов, уже отличная от нуля. Сигнал можно регистрировать головными телефонами, цифровыми или аналоговыми приборами измерения.

Диапазоны рабочих частот: от 40 до 500 кГц. Металлоискатель на биениях имеет важную особенность – это роль человека. Поэтому рекомендуется использовать большие наушники, позволяющие после тренировок получать и уверенно обрабатывать поступающую звуковую информацию [6,7].

Различные металлоискатели, используют разные частоты. Например,

- если глубина обнаружения до 4 м, то используется частота 6,6 кГц

• если идёт поиск мелких предметов, необходима частота около 22,5 кГц, тогда монета обнаруживается на глубине до 40 см, а каска – до 1,5 м.

В профессиональных металлоискателях могут совмещаться несколько способов обнаружения объектов [8].

#### 4. Изготовление металлоискателя

Принцип действия прибора представлен на рисунке 4.

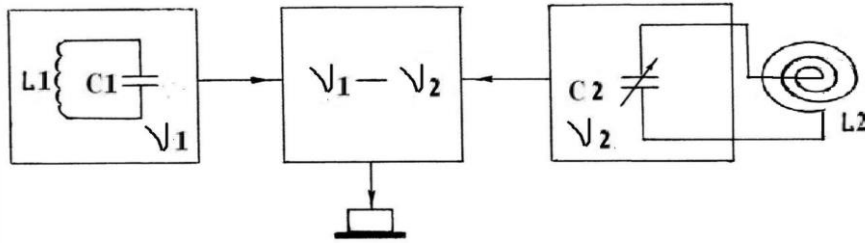


Рис. 4. Принцип действия изготовленного металлоискателя-миноискателя

Собранный металлоискатель состоит из двух генераторов и одного смесителя-усилителя. Генераторы собраны по одной схеме[9]. Но у поискового генератора катушка выполнена в виде кольца вынесенного наружу. А частоту можно изменять с помощью конденсатора переменной ёмкости. Задающий генератор работает на частоте примерно 465 кГц. Поисковый генератор работает на этой же частоте, пока не будет обнаружен объект. Питание – 9 В.

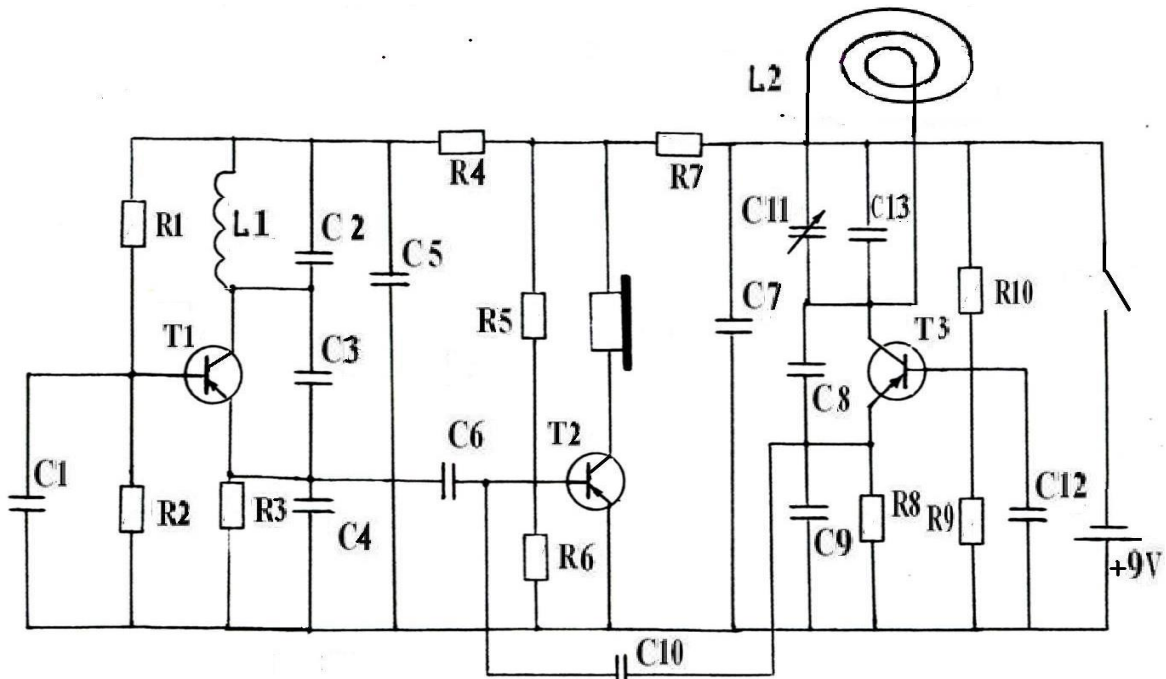


Рис.5. Принципиальная схема металлоискателя



Первый генератор собран на транзисторе Т1 по схеме ёмкостной трёхточки. Второй – собран на транзисторе Т3.

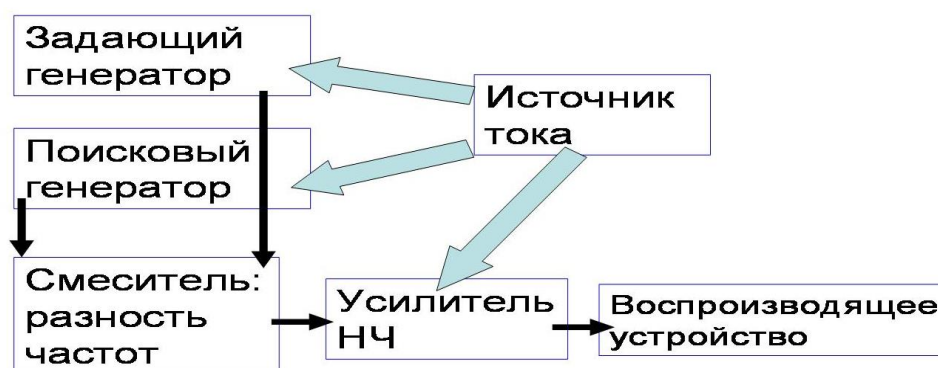


Рис. 6. Структурная схема транзисторного металлоискателя на биениях



Рис. 7. Внутреннее устройство прибора

#### 4.2. Работа прибора

Действует металлоискатель следующим образом. При включении питания оба генератора начинают работать, создавая колебания высокой частоты (ВЧ). На базу смесителя (транзистор Т3) поступают ВЧ колебания напряжения через конденсатор С6 от генератора, собранного на транзисторе Т1, и через конденсатор С10 от генератора на транзисторе Т3. В нагрузке смесителя-усилителя образуются комбинационные частоты в результате преобразования двух высокочастотных колебаний. Нас интересует только разность частот генераторов. Если частоты колебаний генераторов равны (для этого существует конденсатор переменной ёмкости С11), то в телефонах, которые включены в коллекторную цепь транзистора смесителя-усилителя, мы не услышим НЧ сигналов.

Когда частота поискового генератора изменится, мы получим низкочастотный сигнал, частота которого равна разности частот генераторов.

То есть, если к выносной катушке индуктивности приблизить металлический предмет, то её индуктивность изменится, значит, изменится и частота колебаний второго генератора, и мы зафиксируем резкое изменение тона звучания в телефонах. *На этом явлении и основано действие металлоискателя - миноискателя.*



*Рис. 8. Металлоискатель*

*Таблица*

Определение расстояния, на котором прибор фиксирует нахождение объекта

№ опыта	1	2	3	4	5
Объект	Жестяная банка	Крышка люка	Гвоздь	Монета (магн.)	Ложка
Материал	Жесть	Fe	Fe	Сплав	Сталь
Размеры объекта, мм	50x50x110	600x600x60	100x4x4	20x20x3	Длина 150
Глубина, см	15(в земле)		8 (в земле)		5(в воде)
Расстояние, см		50		5	

## 5. Выводы и практические рекомендации

Данный проект представляет собой не только рекомендации по изготовлению металлоискателя, но и объёмный материал, рассматривающий физические процессы, обуславливающие работу прибора, что представляет значительный интерес для преподавателей соответствующего профиля. Таким образом, **область применения** подобных разработок

- учебный процесс;
- по прямому назначению (поиск металла).

При этом следует знать, что подобный прибор в обычной жизни можно использовать для поиска различных металлических предметов, соблюдая определённые правила и законы.

Приведём фрагменты текста источника «Как не нарушить закон, копая с миноискателем» [10].

*Деятельность копателей регламентирует закон №245-ФЗ от 23.07.2013 г. «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в части пресечения незаконной деятельности в области археологии» [10].*

## 6. Заключение

В результате работы над проектом был изготовлен металлоискатель-миноискатель на металлодетекторе. С его помощью проводились исследования по обнаружению металлических предметов под землёй, щебёнкой, песком. Прибор чётко определял наличие металла на глубине до 20 сантиметров.

Также при его помощи можно определить положение внутренней проводки под штукатуркой в кирпичных и деревянных стенах. В целом прибор является необходимым при обнаружении металлических объектов.

Прибор можно также использовать в работе преподавателей системы дополнительного образования. Практический интерес для них может представлять и теоретический материал, и само конечное изделие.

## 7. Список литературы

1. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Чаругин В. М. Физика –11. – М.: Просвещение, 2020. – 432 с.
2. Резников З.М. Прикладная физика. – М.: Просвещение, 1989. – 239 с.
3. Индуктивный датчик.– URL: [http://www ru.wikipedia.org/wiki](http://www.ru.wikipedia.org/wiki) (дата обращения: 24.01.2020).
4. Металлоискатель  
– URL: <http://www ru.wikipedia.org/wiki/>(дата обращения: 14.11.2020).
5. Металлоискатели– URL: [http://www vpayaem.ru/circuits\\_metal.html](http://www.vpayaem.ru/circuits_metal.html) (дата обращения: 10.03.2021).
- 6 Саулов А.Ю. Металлоискатели для любителей и профессионалов. – СПб.: Наука и Техника, 2004. – 224 с.
7. Характеристики металлоискателей  
– URL: [http:// zen.yandex.ru](http://zen.yandex.ru). (дата обращения: 10.10.2020).
8. Все, что вы хотите знать о металлодетекторах.  
– URL: <http://metaldetector.brask-sity.ru-> (дата обращения: 13.03.2020).
- 9.Щедрин А., Колоколов Ю. Металлоискатель по принципу частотомера. // Радиолобитель №5. 2002. с. 17 – 20.
10. Как не нарушить закон, копая с металлоискателем?  
– URL: [http:// www.gruntovik.ru](http://www.gruntovik.ru) (дата обращения: 25.08.2021).

8. Приложения

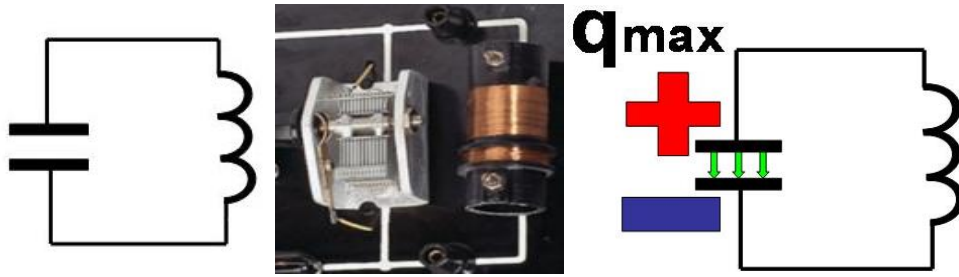


Рис. 1а, б. Колебательный контур

Рис. 2. Зарядили конденсатор

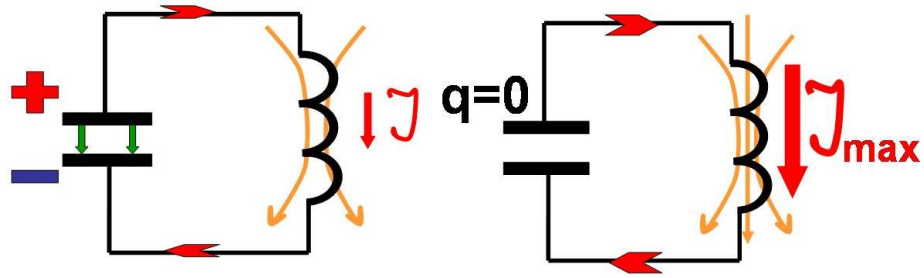


Рис.3а. Конденсатор разряжается, ток увеличивается, в катушке нарастает магнитное поле, а электрическое поле в конденсаторе уменьшается; б. Заряд конденсатора = 0, энергия электрического поля = 0. Сила тока в катушке и энергия магнитного поля тока максимальны



Графики 1 а, б — зависимости для заряда  $q(t)$  и силы тока  $i(t)$ .

Рассматриваемое время:  $\frac{1}{4}$  периода  $T$ , то есть  $0 \leq t \leq T/4$

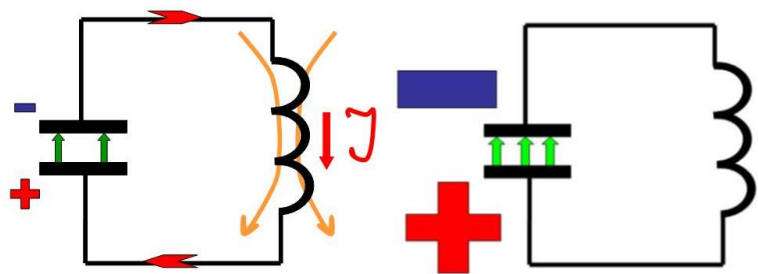
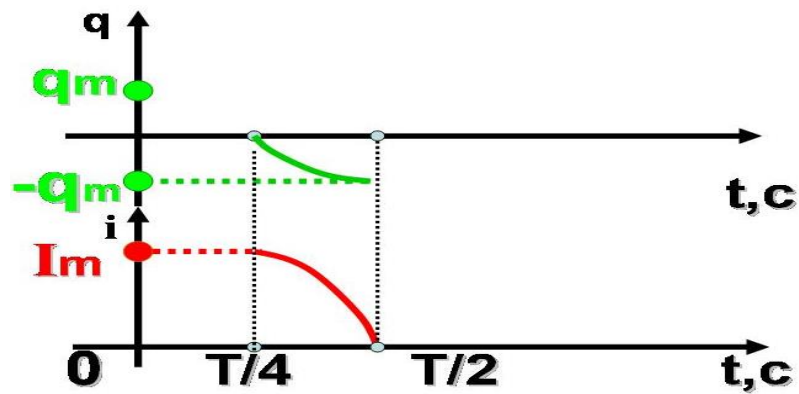


Рис.3в. Конденсатор перезаряжается, ток и магнитное поле в катушке убывают, а электрическое поле в конденсаторе нарастает; г. Конденсатор перезарядился, тока нет, магнитного поля нет. Вся энергия – электрическая энергия в конденсаторе



Графики 2 а, б — зависимости для заряда  $q(t)$  и силы тока  $i(t)$ .

Рассматриваемое время:  $\frac{1}{4}$  периода  $T$ ,  $T/4 \leq t \leq T/2$

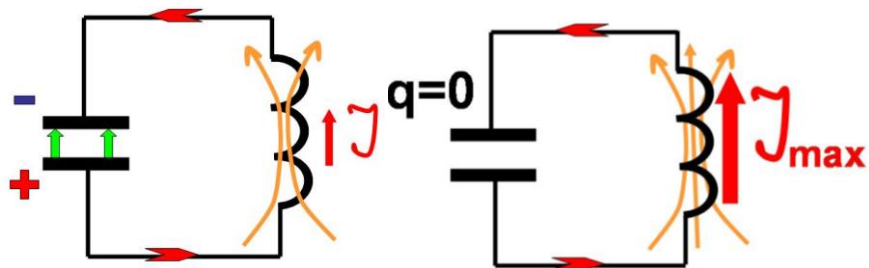
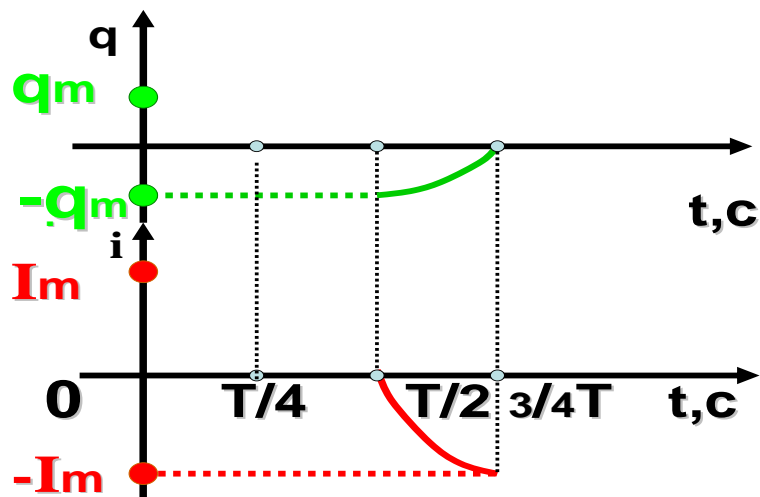


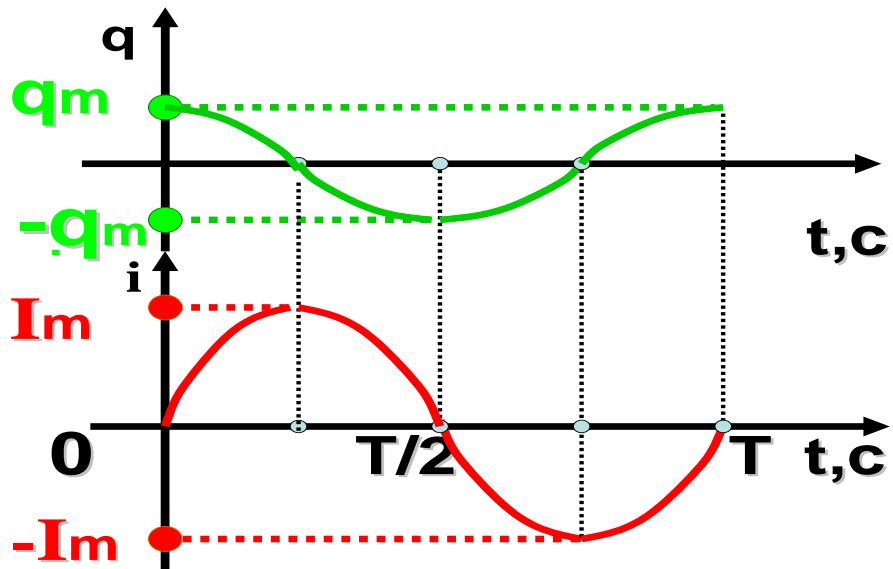
Рис. 3д. Конденсатор опять разряжается. Идёт, нарастая, ток обратного направления. Энергия магнитного поля тока увеличивается;

е. Заряд конденсатора опять = 0. Идёт максимальный ток обратного направления. Энергия магнитного поля тока максимальна



Графики 3 а, б — зависимости для заряда  $q(t)$  и силы тока  $i(t)$ .

Рассматриваемое время:  $\frac{1}{4}$  периода  $T$ ,  $T/2 \leq t \leq 3/4T$



Графики 4 а, б — зависимости для заряда  $q(t)$  и силы тока  $i(t)$ .

Рассматриваемое время: один период  $T$ ,  $0 \leq t \leq T$