

отведен к корпусу автомобиля, а второй конец — к среднему электроду распределительной головки. Отсюда импульсы высокого напряжения (до 10 000 в) посредством особого вращающегося контактного распределителя *P* подаются к электродам, отводящим ток к ввинченным в цилиндры запальным свечам *C*, где в зазоре менее 1 мм проскакивает на корпус искра, замыкающая ток вторичной обмотки индуктора и воспламеняющая заготовленную в цилиндре горючую смесь.

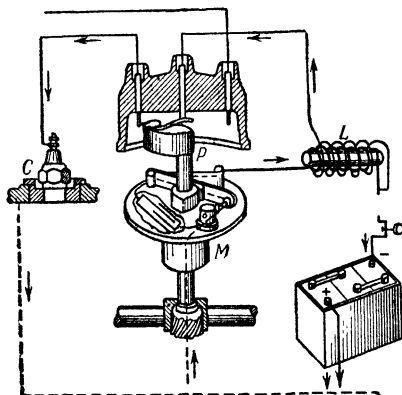


Рис. 372. Схема использования индуктора для зажигания горючей смеси в двигателях.

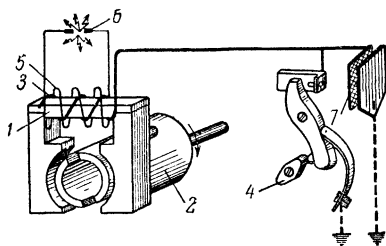


Рис. 373. Схема магнето.

В другой системе зажигания горючей смеси — в так называемых *магнето*, применяемых в тракторных двигателях (рис. 373), — ток в первичной обмотке индуктора генерируется периодическими изменениями магнитного потока в сердечнике индуктора. Эти изменения магнитного потока вызываются вращением в полости стального яра *1* магнита *2* особой формы. Прерыватель *4*, вращающийся синхронно с магнитом, размыкает цепь первичной обмотки *3* в момент, когда ток в ней имеет наибольшую величину. Конденсатор *7* сокращает время существования искры в прерывателе тока первичной цепи. Импульсы напряжения, индуцированного во вторичной обмотке *5*, подаются к запальным свечам *6* через распределительный механизм (на рис. 373 он не показан).

§ 87. Колебательный контур

Электрические колебания, даваемые индуктором, несимметричны, и частота их сравнительно невелика. Несравненно более совершенные способы генерирования электрических колебаний основаны на свойствах так называемого *колебательного контура*, который состоит из емкости *C* и самоиндукции *L* (рис. 374). В таком контуре, если зарядить конденсатор и предоставить контур самому себе, возникают электрические колебания, частота которых определяется формулой резонанса (§ 83:)

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

Когда конденсатор заряжен, то контур, очевидно, не находится в состоянии электрического равновесия. При восстановлении равновесия — при разряде конденсатора через катушку L — проявляется инерция магнитного поля (самоиндукция). Таким образом, мы имеем здесь два обычных фактора, сопутствующих возникновению колебаний: отклонение от состояния равновесия и инерцию, вследствие которой состояние равновесия оказывается пройденным каждый раз, когда система подходит к нему. Рассмотрим с этой точки зрения все стадии процесса, происходящего в контуре.

В положении 1 (рис. 374) конденсатор еще не заряжен. В положении 2, которое для рассматриваемого процесса будет являться начальным, на пластинах конденсатора сосредоточены равные по величине, но противоположные по знаку заряды, которые создают в пространстве между пластинами конденсатора электрическое поле, схематически изображенное на рисунке силовыми линиями, прерывающими это пространство. Вследствие того, что такое состояние контура не является электростатически равновесным, в последующий момент времени начнется разряд конденсатора через катушку; движение зарядов образует ток; этому току сопутствует возникновение магнитного поля, которое в положении 3 изображено магнитными силовыми линиями, пронизывающими катушку. Ток будет проходить в направлении, которое для положения 3 указано стрелками, пока конденсатор не разрядится; но и после этого момента ток будет еще идти в том же направлении до тех пор, пока не исчезнет магнитное поле. Самоиндукция, которая вначале вследствие нарастания магнитного поля противодействовала движению зарядов, теперь, при исчезновении магнитного поля, поддерживает движение зарядов. Таким образом, в данной стадии движение зарядов в прежнем направлении, когда потенциалы пластин конденсатора уже сравнялись, происходит как бы по инерции. В некоторый последний момент времени, когда завершится исчезновение магнитного поля, пластины конденсатора окажутся заряженными противоположно

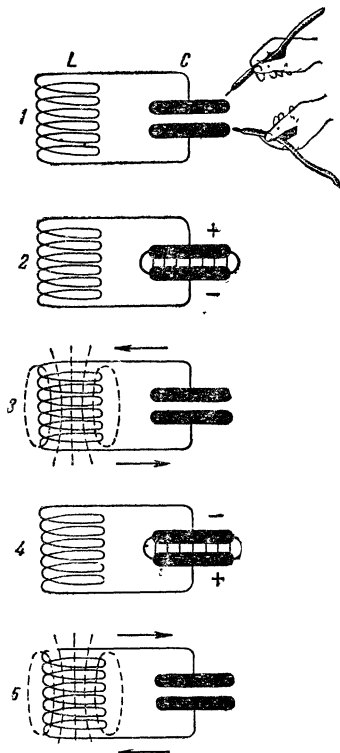


Рис. 374. Свободные колебания в электрическом контуре, состоящем из емкости и самоиндукции.

ложно тому, как они были заряжены вначале. Система придет в положение 4, которое отличается от положения 2 только тем, что отклонение ее от состояния электрического равновесия имеет противоположный знак. Снова последует разряд конденсатора, система придет в положение 5 и от него вернется в исходное состояние 2.

Если бы не происходило никаких потерь электромагнитной энергии, в частности на нагревание проводников в рассмотренном контуре, то описанный процесс преобразования электрической энергии конденсатора в магнитную энергию тока в катушке и обратно, проявляющийся в виде переменного тока в контуре, повторялся бы бесконечно. В действительности электрические колебания в контуре быстро затухают, главным образом вследствие выделения тепла.

Теория электрических колебаний в контуре, состоящем из емкости и самоиндукции, была впервые разработана В. Томсоном (Кельвином) в 1853 г. и экспериментально проверена и подтверждена Фелдерсеном в 1861 г. Описанный колебательный контур часто называют *томсоновым контуром*, или *резонансным контуром*.

Вынужденные колебания в таком контуре и явление электрического резонанса в нем уже были подробно рассмотрены нами в § 83. Выведем уравнения, характеризующие свободные колебания в томсоновом контуре.

Мгновенная величина разрядного тока в контуре в какой-либо момент времени t согласно закону Ома равна

$$I = \frac{V - L \frac{dI}{dt}}{r}, \quad (1)$$

где V есть разность потенциалов на пластинах конденсатора в этот момент времени, r — активное сопротивление контура («сопротивление потерь» в контуре, стр. 458—460), а $-L \frac{dI}{dt}$ есть обратная электродвижущая сила самоиндукции.

Обозначим через Q заряд конденсатора в момент времени t ($Q = CV$). Наряду с вышеприведенной формулой для мгновенного значения тока в контуре разрядный ток можно определить так же, как быстроту уменьшения заряда конденсатора:

$$I = - \frac{dQ}{dt} = - C \frac{dV}{dt}. \quad (2)$$

Продифференцировав предыдущее уравнение и исключив из этих двух уравнений величину $\frac{dV}{dt}$, получаем нижеследующее диф-

дифференциальное уравнение электрических колебаний в томсоновом контуре:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{r}{L} \frac{dI}{dt} = -\frac{1}{LC} I. \quad (3)$$

Если можно было бы считать сопротивление контура практически равным нулю ($r=0$), то приведенное уравнение представляло бы собой обычное дифференциальное уравнение гармонических колебаний (т. I, § 56)

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega^2 x.$$

Мы видим, таким образом, что в отсутствие омического сопротивления электрические колебания в контуре должны были бы являться незатухающими гармоническими

$$I = I_0 \sin \omega t \quad (4)$$

и должны были бы происходить с частотой ν , которая тем больше, чем меньше самоиндукция и емкость:

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}.$$

Период T этих собственных колебаний контура, как видно из предыдущей формулы, определяется нижеследующим уравнением Томсона:

$$T = 2\pi \sqrt{LC}. \quad (5)$$

Здесь, чтобы T получилось в секундах, L должна быть выражена в генри, а C — в фарадах. Для случая, когда L и C выражены в сантиметрах ($1 \text{ гн} = 10^9 \text{ см}$, а $1 \text{ ф} = 9 \cdot 10^{11} \text{ см}$), имеем:

$$T = \frac{2\pi}{3 \cdot 10^{10}} \sqrt{LC} \quad \text{и} \quad LC = \frac{22,82 \cdot 10^{12}}{\nu^2} \quad (\text{в кГц}).$$

Для определения амплитуды тока подставляем в уравнение (1) значение $\frac{dI}{dt}$ из уравнения (4); при $t=0$ получается:

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{\frac{L}{C}}}. \quad (6)$$

Это соотношение между амплитудами напряжения и тока аналогично закону Ома. Очевидно, что величина $\sqrt{\frac{L}{C}}$ представляет собой особый вид сопротивления; это — волновое сопротивление $1/216^*$

контура (стр. 454 и 502)

$$R_{\text{волн}} = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Так как мгновенная величина тока в контуре пропорциональна производной от напряжения, существующего на пластинах конденсатора [уравнение (2)], то синусоидальному изменению тока соответствует косинусоидальное изменение напряжения, т. е. по фазе напряжение и ток отличаются на четверть периода.

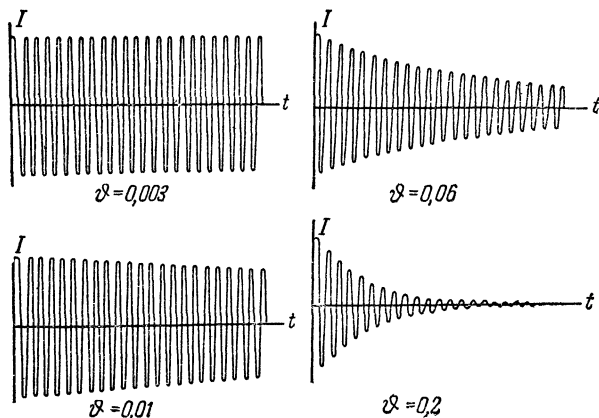


Рис. 375. График затухания колебаний при четырех значениях логарифмического декремента.

В более общем случае, когда активным сопротивлением контура нельзя пренебречь, уравнение (3) совпадает с дифференциальным уравнением затухающих колебаний. Частота свободных электрических колебаний в этом случае определяется уравнением (§ 83, стр. 466)

$$\nu_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{4L^2}}, \quad (7)$$

т. е. будет меньше частоты собственных колебаний контура.

Ток будет изменяться по закону

$$I = \frac{V_0}{\omega_1 L} \cdot e^{-\frac{r}{2L}t} \sin \omega_1 t. \quad (8)$$

Быстрота затухания электрических колебаний характеризуется согласно формуле (8) величиной *коэффициента затухания*:

$$\alpha = \frac{r}{2L}.$$

Вместо коэффициента затухания часто рассматривают *логарифмический декремент* затухания (т. I, § 60), который равен произведению коэффициента затухания на период свободных колебаний:

$$\vartheta = \ln \frac{I_0 \text{ при } t}{I_0 \text{ при } t+1} = \alpha T_1.$$

Поскольку $T_1 \approx 2\pi \sqrt{LC}$, а $\alpha = \frac{r}{2L}$, то

$$\vartheta \approx \pi \frac{r}{\sqrt{\frac{L}{C}}}.$$

На рис. 375 даны графики затухающих колебаний тока одинакового периода при четырех значениях декремента затухания.

Часто также вместо коэффициента затухания и декремента рассматривают *добротность колебательного контура* (стр. 449 и 460):

$$Q = 2\pi = \frac{\text{энергия колебания}}{\text{потеря энергии за период собственных колебаний}}.$$

Энергия колебания $= \frac{LI_0^2}{2}$, выделение тепла за период $= rI_{\text{эф}}^2 T = \frac{1}{2} rI_0^2 T$. Поэтому $Q = 2\pi \frac{L}{rT} = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{L}{C}}$, или

$$Q = \frac{R_{\text{волн}}}{r} \approx \frac{\pi}{\vartheta}.$$

§ 88. Вибратор Герца (возбуждение колебательного контура индуктором). Токи Тесла

В 1887 г. Герц изобрел способ генерирования электрических колебаний, заключающийся в возбуждении колебаний контура индуктором. В томсонов контур, обладающий большой частотой свободных колебаний (имеющий малую емкость и малую самоиндукцию), Герц ввел искровой промежуток (рис. 376) и подвел переменное напряжение от вторичной обмотки индуктора к такому разомкнутому в отсутствие искры колебательному контуру.

Как только напряжение на пластинах конденсатора достигало такой величины, что возникала искра, контур благодаря достаточной проводимости искры оказывался замкнутым и в нем начинали происходить электрические колебания, которые, однако, вследствие сопротивления искрового промежутка быстро затухали.