

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.

Благодаря большой частоте свободных колебаний контура в короткий промежуток времени, пока искра не потухла, пластины конденсатора успевают много раз перезарядиться. Таким образом, за каждым «толчком», сообщаемым индуктором, следует серия свободных электрических колебаний контура с частотой, определяемой формулой (7) или приближенно формулой

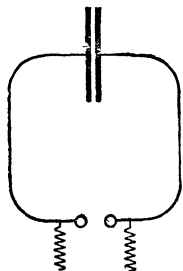


Рис. 376. Контур с искровым промежутком (катушка заменена индуктивностью проводов, соединяющих пластины конденсатора).

$$\nu \approx \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \sqrt{L_{см} C_{см}}}$$

По этой формуле получается, что в контуре, состоящем из конденсатора емкостью  $C=1000$  см и довольно толстого провода, замыкающего пластины конденсатора и согнутого по кругу радиусом в 20—40 см ( $L=1000$  см), электрические колебания будут происходить с частотой порядка нескольких миллионов в секунду. Для получения более частых колебаний нужно еще уменьшить емкость и самоиндукцию контура. Раздвигая пластины конденсатора, можно уменьшить емкость контура до нескольких сантиметров, что даст увеличение частоты колебаний в несколько десятков раз. Стремясь получить возможно большую частоту электрических колебаний, Герц принужден был заменить катушку и конденсатор томсонова контура электрическим диполем — прямолинейным проводником с искровым промежутком посредине (рис. 377).

Применяя электрический диполь, возбуждаемый индуктором, Герц получил электрические колебания с частотой около 500 миллионов колебаний в секунду.

Описанное приспособление для генерирования электрических колебаний носит название *вибратора Герца*. Чем больше искровой промежуток в вибраторе Герца, тем большая электрическая энергия может быть сообщена колебательному контуру (электрическому диполю) перед каждой серией свободных колебаний контура (диполя). Однако при большой длине искрового промежутка значительное сопротивление искры приводит к чрезмерно быстрому затуханию

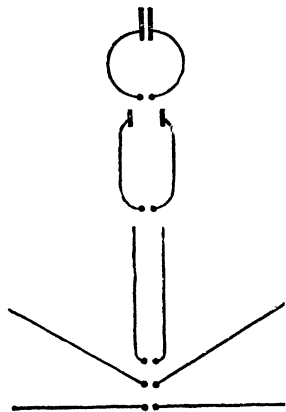


Рис. 377. Переход от замкнутого контура к электрическому диполю.

колебаний. В зависимости от частоты производимых колебаний берут искровой промежуток от сотых долей миллиметра до сантиметра.

Тесла применил возбуждение колебательного контура индуктором для получения токов, имеющих частоту порядка 100 000 периодов в секунду. Для исследования и использования получаемых таким образом токов Тесла сконструировал трансформатор, первичная обмотка которого, состоящая из нескольких витков толстого провода, представляет собой катушку колебательного контура, подключенного к индуктору (как в вибраторе Герца, колебательный контур имеет искровой промежуток; рис. 378).

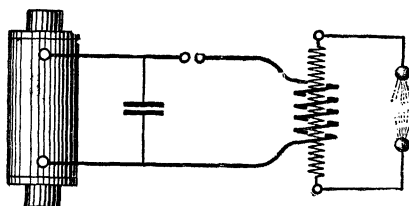


Рис. 378. Схема трансформатора Тесла.

Вторичная обмотка, состоящая из очень большого числа витков на картонном каркасе, вставляется внутрь первичной обмотки. Самоиндукция вторичной обмотки должна быть во столько раз больше самоиндукции первичной обмотки, во сколько раз емкость, образуемая проводами вторичной обмотки, меньше емкости конденсатора, на пластины которого подается напряжение индуктора. В этом случае резонансная частота электрических колебаний в первичном томсоновом контуре является резонансной частотой для вторичной обмотки.

Трансформатор Тесла позволяет получать быстропеременные токи с амплитудой напряжения до 1 млн. в. Эти токи (их нередко называют *токами Тесла*) производят совершенно иное физиологическое действие, чем обычный технический переменный ток. При частоте в 50 гц ток в 0,01 а, проходя через мышцы, производит их сокращение и вызывает ощущение боли. Токи Тесла в 1 а почти не вызывают сокращения мышц. Высокое напряжение токов Тесла не опасно для человека. В связи с этим быстропеременные токи (частотой в сотни тысяч герц) применяют для прогрева тканей организма с лечебными целями (*диатермия*); при этом пользуются током от 0,5 до 3,5 а при напряжении в несколько сотен вольт. В целях лечебного физиологического воздействия на ткани организма применяют также быстропеременные токи смещения ультравысоких частот в десятки миллионов герц (УВЧ).

Исследование электрических колебаний, получаемых при возбуждении вибратора Герца индуктором, исторически сыграло

большую роль в развитии учения об электричестве. Но широчайшее использование электрических колебаний оказалось возможным только с того времени (со второго десятилетия нашего века), когда были найдены другие, более совершенные способы генерирования электрических колебаний. Действие современных генераторов электрических колебаний, основанных на применении электроламп, будет рассмотрено в следующей главе. Здесь мы ограничимся только тем, что, обратившись к простой механической аналогии, поясним,

в каком направлении нужно было усовершенствовать предложенный Герцем метод возбуждения электрических колебаний, чтобы получить пригодные для технических целей генераторы колебаний.

Вибратор Герца дает быстро следующие друг за другом серии затухающих колебаний; энергия, рассеиваемая в контуре, восполняется индуктором. Механическая аналогия такого рода колебаний может быть получена с помощью маятника, изображенного на рис. 379, а. Колебания маятника, состоящего из массивного шарика и пружины, будут затухающими, но мы можем поддерживать эти колебания, дергая время от времени переброшенный через блок конец шнура; после каждого такого толчка будет следовать серия затухающих



Генрих Герц  
(1857—1894).

колебаний маятника, причем начальная амплитуда в каждой такой серии будет тем больше, чем сильнее мы дернули шнурок. В вибраторе Герца индуктор (исполняющий в нашей аналогии функции руки) производит «толчки» колебаниям автоматически каждый раз, когда искра в искровом промежутке контура гаснет.

Если в примере возбуждения колебаний маятника натяжением шнура мы сумели бы соразмерить ритм натяжений шнура с размахами маятника и сообщали бы маятнику при каждом его размахе легким движением руки энергию, равную той, которую маятник рассеивает при одном колебании, то колебания маятника сделались бы *незатухающими*. Проще осуществить незатухающие колебания маятника посредством приспособления, изображенного на том же рис. 379, б. Находясь в крайнем нижнем положении, маятник замыкает цепь тока, питающего небольшой электромагнит. Этот эле-

кроммагнит, притягивая якорь, слегка натягивает шнур и пружину маятника; таким образом, при каждом колебании маятника за счет батареи восполняется энергия, израсходованная маятником во время одного колебания на преодоление существующих сопротивлений движению. Поскольку в состоянии равновесия маятник не надавливает на ключ, замыкающий ток, для возникновения незатухающих колебаний нужен начальный толчок. Если этот толчок мал, колебания затухнут; если он достаточно велик, то, как бы он ни был велик, незатухающие колебания (*автоколебания*) будут происходить с той определенной амплитудой, на которую конструктивно рассчитан прибор.

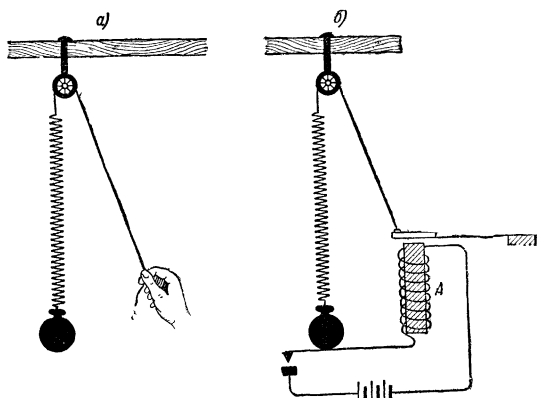


Рис. 379. Незатухающие колебания маятника можно осуществить механически (а) и при помощи электромагнита (б).

Добавим к описанному прибору небольшой электроавтоматический молоточек, сообщающий своими ударами легкое сотрясение опоре, к которой подвешен маятник, и непрерывно действующий с такой частотой, чтобы маятник резонировал на вызываемые молоточком сотрясения.

Посредством реле можно сделать так, чтобы этот молоточек действовал только тогда, когда цепь электромагнита длительно остается разомкнутой. В таком несколько усложненном приборе автоколебания маятника возникнут без начального толчка; молоточек резонансно *раскачает* маятник до той амплитуды, при которой начинает действовать электромагнит А. Если почему-либо получится так, что колебания маятника «выпадут из стационарного режима», молоточек, который в этом случае автоматически снова начинает свою работу, вернет маятнику нужную амплитуду размахов.

Аналогично сказанному, чтобы получить *самовозбуждающийся генератор незатухающих электрических колебаний*, нужно допол-

нить томсонов колебательный контур прибором, который, подчиняясь ритму колебаний тока в контуре, автоматически, при каждом колебании сообщал бы контуру импульсы тока. Чтобы возбудить в таком генераторе колебания большой частоты (в соответствии с малыми значениями индуктивности и емкости контура), устойчивый прибор, доставляющий в контур электрическую энергию, должен действовать безынерционно. В наше время общеизвестно, что такой прибор был создан и получил название *электронной генераторной лампы* (§ 92).

### § 89. Электромагнитные волны. Вектор Умова — Пойнтинга

Электрическая и магнитная энергия не сосредоточена в тех местах пространства, которые заняты электрическими зарядами и магнитами, но распределена по всем участкам поля. Количество ее, содержащееся в единице объема, всегда пропорционально квадрату электрической или магнитной напряженности поля. Отсюда ясно, что численное изменение векторов электрической и магнитной напряженности, обусловленное движением электрических зарядов и изменением силы токов, протекающих по проводникам, должно вызывать перемещение электрической и магнитной энергии из одних участков поля к другим. Если бы скорость распространения электрических воздействий была бесконечно велика, то смещение электрических зарядов в новое положение мгновенно вызвало бы изменение поля во всем окружающем пространстве. В действительности скорость распространения электрических сил хотя и велика, но конечна; поэтому в изменении картины поля должно наблюдаться *запаздывание*, тем более значительное, чем большее расстояние отделяет рассматриваемый участок поля от перемещающихся электрических зарядов.

Колебательное движение электрических зарядов (равно как и периодическое изменение токов, протекающих по проводникам) должно сопровождаться, очевидно, перемещением электрической и магнитной энергии в окружающей среде то в одном, то в противоположном направлении; в связи с конечной скоростью распространения электрических и магнитных воздействий эти пульсации энергии приобретают характер *волнового процесса*: когда в одних участках среды они протекают в прямом направлении, в других, более удаленных участках, до которых их импульс нового изменения поля еще не дошел и где картина поля отражает то распределение электрических масс, которое имело место в предыдущий момент времени, они будут протекать в обратном направлении. Чем чаще следуют друг за другом периодические изменения картины поля, тем меньше, очевидно, будет расстояние между участками среды, в которых пульсации энергии совпадают по фазе, т. е. тем короче будет длина волны.