

ГЛАВА V.

ИСКРОВЫЕ ПЕРЕДАТЧИКИ.

§ 37. Искровой метод возбуждения электрических колебаний высокой частоты. Выше, в § 6, уже был указан простейший метод получения электрических колебаний в замкнутом контуре при питании этого контура от источника переменного тока низкой частоты при помощи искрового разрядника. На рис. 8 была дана принципиальная схема питания колебательного контура. Затем был изложен электрический процесс, была подчеркнута простота метода, и, наконец, был указан его основной недостаток: получающиеся при искровом методе электрические колебания являются колебаниями в большей или меньшей степени затухающими.

Несмотря на этот существенный недостаток искровой метод получения электрических колебаний высокой частоты долгое время являлся единственным, обеспечив практическое развитие радиотехники, как техники связи без проводов и даже на больших расстояниях.

Исторически искровой метод впервые был применен на практике в опытах Герца (1886 г.), поставившего себе задачу доказать справедливость теоретических выводов Максвелла о возможности существования свободных (не связанных с проводом) электромагнитных колебаний. В своих опытах Герц в качестве генератора токов высокой частоты применил развернутый колебательный контур, представленный двумя металлическими телами C , соединенными

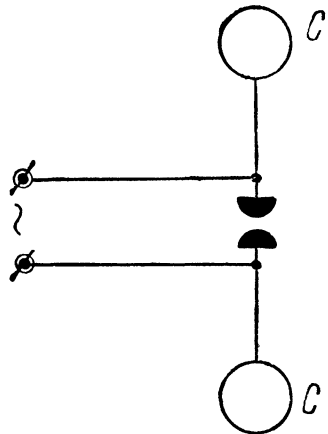


Рис. 52

между собою проводом с воздушным промежутком посредине (рис. 52).

Успех опытов Герца вызвал к деятельности ряд последователей, из которых итальянцу Маркони пришла мысль заменить двусторонний вибратор Герца односторонним заземленным вибратором и использовать полученную систему для передачи сигналов на большие расстояния. Так появилась первая схема искрового передатчика, получившая название схемы Маркони.

§ 38. Простая схема Маркони. Принципиальная схема искрового передатчика Маркони изображена на рис. 53. В воздушный провод (антенна)

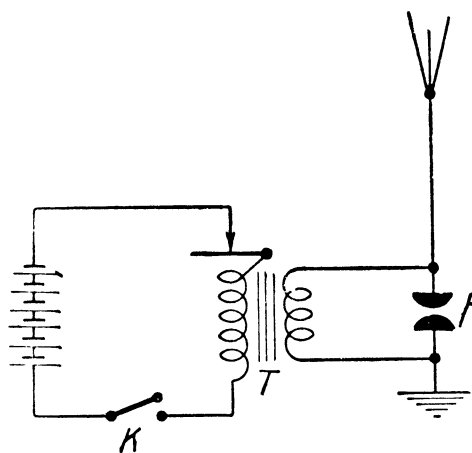


Рис. 53.

вблизи заземленного конца включен искровой разрядник F . К зажимам разрядника подводится электрическая энергия от вторичной обмотки катушки Румкорфа T , первичная обмотка которой питается от аккумуляторной батареи. В цепи первичной обмотки помещен радиотелеграфный ключ K . При замыкании этого ключа в антенне возникают группы затухающих электрических колебаний (см. § 6), в соответствии с чем в окружающем

пространстве возникают свободные электромагнитные колебания.

Само собою разумеется, что в рассматриваемой схеме источником питания колебательной системы может быть и генератор переменного тока с повышающим напряжением трансформатором. Особенностью применения катушки Румкорфа является то обстоятельство, что здесь исключается необходимость иметь силовую установку для приведения во вращение генератора переменного тока низкой частоты, питающего колебательную систему. Отправительная радиостанция, таким образом, не находится в зависимости от исправности этой силовой установки. Поэтому радиотелеграфные передатчики по схеме Маркони с питанием от катушки Румкорфа и нашли,

в свое время, широкое применение в качестве аварийных передатчиков на морских судах.

§ 39. Система радиотелеграфной связи. Предположим, что радиотелеграфный ключ K , помещенный в первичной цепи питающего антенну трансформатора, замкнут. В этом случае в отправительной антенне возникнут группы затухающих колебаний высокой частоты (см. рис. 9). Частота этих групп, как это и было указано в § 6, будет определяться условиями питания колебательного контура. В простейшем случае частота этих групп будет равна удвоенной частоте переменного тока питающего генератора. Так, если частота переменного тока питающего генератора будет равна 1000 периодов в секунду, то число групп затухающих колебаний высокой частоты в отправительной антенне будет равно 2000 в секунду. Ниже мы увидим, что при таких обстоятельствах в телефоне приемной радиостанции мы услышим звук той же частоты, т. е. звук в 2000 периодов в секунду. В звуковой гамме такой частоте соответствует второе верхне-добавочное $СИ$, легко воспринимаемый человеческим ухом звук. Именно поэтому радиотелеграфные передатчики недавнего прошлого питались от генераторов переменного тока частоты 1000 периодов в секунду (так называемые генераторы повышенной частоты).

Вернемся к роли радиотелеграфного ключа в схеме отправителя. Совершенно очевидно, что при длительном замыкании этого ключа на отправительной станции, мы на приемной станции услышим звук той же длительности. Это будет звуковое тире. При кратковременном замыкании ключа мы услышим кратковременный звук. Это будет звуковая точка. Условная комбинация таких тире и точек позволит осуществить передачу комбинированных сигналов, отвечающих буквам алфавита, т. е. позволит осуществить передачу радиотелеграмм.

§ 40. Азбука Морзе. Общепринятой буквенной системой сочетаний тире и точек является так называемая азбука Морзе, принятая как в проволочной телеграфии, так и в радиотелеграфии.

При передаче от руки при достаточном навыке можно осуществить передачу-прием со скоростью до 150 букв в минуту. Ниже мы увидим, что при автоматизации передачи и приема эта скорость может быть значительно повышена.

§ 41. Недостатки схемы Маркони. Определяющим дальность действия отправительной радиостанции фактором в самом общем случае является мощность излучаемых антенной

электромагнитных колебаний. В свою очередь эта мощность зависит от мощности, подаваемой в излучающую антенну. В простой схеме передатчика Маркони, когда генерирование электрических колебаний происходит в этой самой антенне, первичная мощность может быть определена по приведенному в § 6 уравнению:

$$P = \frac{C_A E^2}{2} \nu,$$

где C_A — емкость антенны,

E — амплитудное значение напряжения на вторичной обмотке силового трансформатора,

ν — число разрядов, т. е. удвоенное значение частоты питающего установочного тока.

Анализируя это выражение для полной мощности, нетрудно вскрыть основной недостаток простой схемы передатчика Маркони. В самом деле, величина напряжения E на вторичной обмотке силового трансформатора является ограниченной по производственным и конструктивным соображениям. Оптимистически мы можем предположить, что для целей питания антенны мы имеем $E = 50000$ вольт. Дальше, величина ν , согласно изложенному выше, имеет оптимальное значение, равное 2000. Остальная емкость C_A антенны. Для нормальной отправительной антенны для средних значений длин рабочей волны эта емкость будет порядка нескольких сотен сантиметров. Эти данные определяют нам предельное значение полной мощности в антенне простой схемы Маркони, а именно:

$$P_{\max} = \frac{5000 \cdot 50000^2}{9 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 1000} 2000 \cong 14 \text{ kW.}$$

Иначе говоря, простая схема Маркони не обеспечивает возможности получения больших мощностей колебательной энергии. Это — первый недостаток схемы, определяемый небольшим значением емкости заряжаемой колебательной системы (антенны — непосредственно).

Второй недостаток схемы Маркони заключается в самой сущности ее простоты. Эта последняя осуществлена здесь включением искрового разрядника непосредственно в антенну. Так как подобное включение эквивалентно включению в антенну, как колебательную систему, некоторого активного сопротивления, то декремент собственных колебаний антенны при этом возрастает. Таким образом, простая схема Маркони

характеризуется большим декрементом, со всеми вытекающими отсюда отрицательными последствиями.

§ 42. **Схема Брауна.** Логически рассуждая, нетрудно найти способ устранения последнего из указанных в предыдущем параграфе недостатков схемы Маркони. Надлежит лишь искровой разрядник вынести из антенны, оставив за нею только функции излучающего электромагнитную энергию устройства. В этом случае антенна должна будет питаться токами высокой частоты от специального замкнутого колебательного контура, в котором и будет помещен искровой разрядник. Именно так и была решена задача улучшения схемы Маркони. Новая

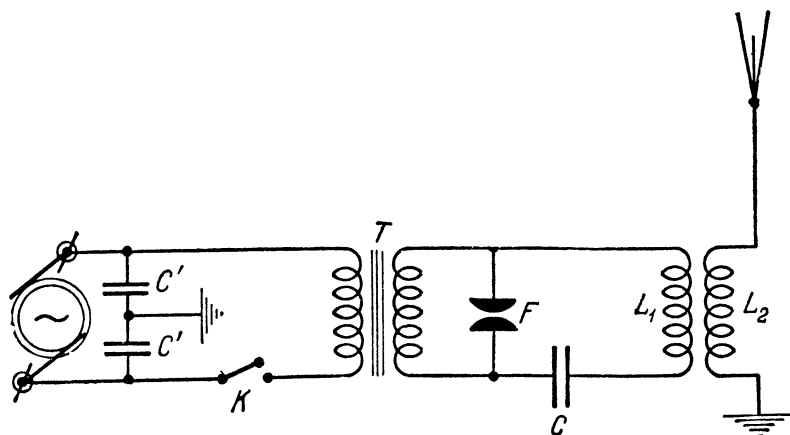


Рис. 54.

улучшенная схема получила название сложной схемы или схемы Брауна, по имени ее автора. В принципиальных чертах эта схема изображена на рис. 54. Здесь связь между первичным колебательным контуром L_1FC и контуром антенны может быть либо трансформаторной, как это и изображено на рис. 54, либо автотрансформаторной. Источник переменного тока — генератор переменного тока низкой частоты — защищается от опасного для его обмоток воздействия токов высокой частоты при помощи блокировочных конденсаторов C' .

Таким образом, в схеме Брауна антенна не нагружается посторонним активным сопротивлением, и, следовательно, декремент ее собственных колебаний имеет меньшее, нежели в схеме Маркони, значение. Излучаемые антенной в схеме

Брауна электромагнитные колебания будут менее затухающими, что в первую очередь повышает изобретательность приема (см. главу XII).

При внимательном рассмотрении схемы Брауна нетрудно установить и еще одно ее преимущество по сравнению со схемой Маркони. В самом деле, в схеме Брауна величина первичной мощности при прочих равных условиях будет определяться величиной емкости C замкнутого контура. Ничто не препятствует выбрать эту емкость достаточно большой, раз в $10 \div 20$ большей, нежели емкость самой антенны. В соответствии с этим вырастает и предельное значение полной мощности, по сравнению с предельным значением этой мощности для схемы Маркони. Иначе говоря, схема Брауна позволяет осуществлять радиопередатчики большой мощности, что ведет к увеличению радиуса действия отправительной радиостанции. По существу схема Брауна представляет собою связанную колебательную систему. Замкнутый контур является первичным колебательным контуром, антенна — вторичным. Для обеспечения перехода колебательной энергии из контура первичного в контур вторичный оба эти контура должны быть настроены в резонанс, т. е. частота колебаний, возбуждаемых в замкнутом контуре, должна равняться собственной частоте антенны. Для обеспечения возможности такой настройки антенная катушка L_2 выполняется с переменным контактом, позволяющим изменять ее коэффициент самоиндукции. Для той же цели может служить включение в антенну добавочного вариометра.

Самый процесс перехода колебательной энергии может принимать различные формы, главным образом в зависимости от устройства искрового разрядника.

§ 43. Резонанс-трансформатор. Искровой метод возбуждения электрических колебаний высокой частоты в первую очередь характеризуется необходимостью применения высокого напряжения, питающего искровой разрядник. Для получения этого высокого напряжения применяется обычный способ трансформатора (трансформатор T на рис. 54). Однако, применение обыкновенного силового трансформатора в этом случае характеризуется тем недостатком, что искра, проскакивающая на зажимах его вторичной обмотки и питаемая высоким напряжением самого трансформатора, легко переходит в дугу, что является не только опасным как для трансформатора, так и для генератора, но и нарушает правильность действия передатчика. Для устранения этого недостатка применяется так называемый резонанс-трансформатор.

Резонанс-трансформатор представляет собою трансформатор с железным сердечником, причем его первичная и вторичная цепи настроены в резонанс, т. е. собственная частота вторичной цепи L_2CL_3 (рис. 55) подбирается равной частоте f питающего генератора. Условием такого резонанса является

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_2 C (1 - k^2)}},$$

где L_2 — самоиндукция вторичной обмотки трансформатора (самоиндукцией L_3 колебательного контура в данном случае можно пренебречь),
 C — емкость колебательного контура,
 k — коэффициент связи обмоток трансформатора T .

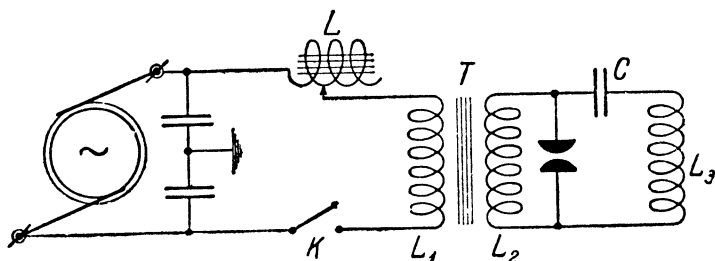


Рис. 55.

Из этого выражения видно, что при заданных значениях f , L_2 и C настройка цепей трансформатора в резонанс может быть осуществлена изменением коэффициента связи k . Для этой цели либо устраивают трансформатор так, что расстояние между его обмотками может быть плавно изменяемо (трансформаторы Воас), либо включают в первичную обмотку реактивную катушку L переменной самоиндукции (например с выдвигаемым сердечником).

При нажатии ключа K происходит следующее. Вследствие явления резонанса напряжение e (см. рис. 56) будет достигать наибольшего своего амплитудного значения, плавно нарастая. При достижении этого наибольшего амплитудного значения напряжения, или несколько раньше, в зависимости от установленной длины искрового промежутка, произойдет пробой этого искрового промежутка. Тотчас же с появлением искры конденсатор C окажется выключенным из вторичной обмотки

трансформатора T , нарушится резонанс, вследствие чего напряжение на вторичной обмотке резко упадет. Именно это обстоятельство и предотвращает переход искры в дугу.

Заметим, что наибольшая амплитуда напряжения E_2 вторичной обмотки, т. е. амплитудное значение вторичного напряжения резонанс-трансформатора в его установившемся режиме, выражается следующей формулой:

$$E_2 = \frac{E_1 k \sqrt{L_1 L_2} \sqrt{C L_2 (1 - k^2)}}{r_2 C L_1},$$

где E_1 — амплитудное значение напряжения первичной обмотки, r_2 — активное сопротивление вторичной цепи.

Принимая здесь величины E_1 , L_1 , L_2 , C и r_2 постоянными, легко найти, что наибольшее значение величины E_2 получается при

$$k = \sqrt{0,5}.$$

Кроме отмеченного „самозащитного“ действия, резонанс-трансформатор характеризует работу искрового передатчика еще целым рядом достоинств. Прежде всего резонанс-трансформатор определяет строгую регулярность разрядов, что обеспечивает чистый тон принимаемых сигналов.

Далее, применение резонанс-трансформатора позволяет простым изменением расстояния между электродами разрядника изменять число искрообразований в секунду, т. е. изменять высоту тона принимаемого сигнала. Такое обстоятельство имеет важное значение в случае необходимости при радиосвязи уйти от мешающих приему посторонних сигналов.

Резонанс-трансформаторы применяются в искровых генераторах с синхронным разрядником, а также и в искровых генераторах с разрядником Вина. В искровых генераторах с асинхронным разрядником резонанс-трансформатор не применяется.

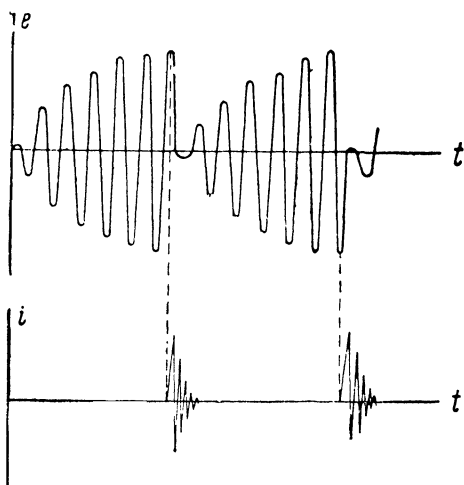


Рис. 56.

§ 44. Область применения искровых передатчиков в настоящее время. Современная ламповая техника, предоставляющая в распоряжение техники радиосвязи простые и гибкие схемы генераторов электрических колебаний высокой частоты, к тому же не затухающих, почти вытеснила из применения искровые генераторы. Сейчас эти последние встречаются в виде редкого исключения только на морских судах, чаще всего в качестве аварийных. Именно здесь за ними остается преимущество затухания, дающего тупую настройку на приемной радиостанции. Кроме того искровые генераторы находят себе применение в измерительной технике.

§ 45. Контрольные вопросы и примеры.

1) Назовите основные преимущества и недостатки простой схемы радиотелеграфного передатчика.

2) Назовите основные преимущества и недостатки сложной схемы радиотелеграфного передатчика.

3) Замкнутый контур передатчика имеет катушку, коэффициент самоиндукции которой равен 10^6 см, и конденсатор, емкость которого равна 20 000 см. Антенна имеет действующую емкость, равную 4000 см. Какова должна быть полная действующая самоиндукция антенны вместе с включенной в нее катушкой?

Отв. $5 \cdot 10^6$ см.

4) Назовите основные преимущества применения генераторов повышенной частоты для питания радиотелеграфных передатчиков.

§ 46. Литература.

1) M. Wien. „Über die Dämpfung von Kondensatorschwingungen“ Phys. Z., 1906, том 7, стр. 871.

2) А. Муравьев. „Радиотелеграфное дело“. Петроград, 1916.

3) P. Boucherot. „Décharge oscillante à travers une étincelle de longueur constante“. Radioélectricité, 1922, сентябрь, стр. 368 — 377.

4) P. Boucherot. „Oscillations à travers une étincelle de longueur variable“. Radioélectricité, 1923, февраль, стр. 63 — 70.

5) E. M. Deloraine. „The spark transmitter system of the Eiffel Tower“. W. W. R. R., 1923, март 13. стр. 851 — 854.

ГЛАВА VI.

МАШИННЫЕ ПЕРЕДАТЧИКИ.

§ 47. Преимущества незатухающих колебаний. Подкупающая простота получения электрических колебаний при помощи искрового метода и вытекающая отсюда возможность организации примитивной радиотелеграфной связи (при всей своей примитивности сделавшей в свое время эпоху) определили с самого начала радиотехнику, как технику затухающих колебаний. По мере все возрастающего практического применения этого нового способа связи все яснее и яснее очерчивались его основные недостатки, лежащие именно в применении затухающих колебаний.

Прежде всего затухающие колебания лишь в малой степени удовлетворяют основному требованию правильно организованной системы связи: высокой избирательности приемного устройства, обеспечивающей легкую отстройку приемника от мешающих радиостанций. При прочих равных условиях резонансная кривая (см. § 4) приемника будет иметь тем более острый характер, т. е. избирательность приемника будет тем выше, чем меньше декремент колебаний, излучаемых отправительной радиостанцией. С этой точки зрения наилучшие условия должны обеспечить незатухающие колебания, для которых этот декремент равен нулю. В этом состоит первое преимущество незатухающих колебаний.

Далее, в отличие от излучения электромагнитной энергии группами, как это имеет место при затухающих колебаниях, при колебаниях незатухающих излучение происходит непрерывно. Следовательно, для получения одного и того же количества излученной энергии, при незатухающих колебаниях мы можем иметь в излучающей радиосети электрические колебания гораздо меньших амплитуд, нежели при затухающих колебаниях. В частности, при незатухающих колебаниях мы можем значительно уменьшить амплитудное значение колебательного напряжения, т. е. мы можем значительно упростить

изоляцию верхних проводов радиосети, мы можем применить радиосеть меньшей емкости и т. д. Иначе говоря, при заданной отправительной радиосети мы можем обеспечить при помощи незатухающих колебаний значительно большую мощность, т. е. осуществить радиосвязь на значительно большие расстояния, нежели при помощи затухающих колебаний. В этом состоит второе преимущество незатухающих колебаний.

Ниже (§ 149) мы увидим, что при радиотелеграфной связи при работе незатухающими колебаниями необходимо при приеме применять особый способ, известный под названием гетеродинирования. При таком способе высота тона звучания мембраны приемного телефона может быть чрезвычайно легко изменяема на самой приемной станции в весьма широких пределах. Такое обстоятельство выгодно характеризует применение незатухающих колебаний, так как оно обеспечивает легкую возможность устранения (пусть даже не полного) помех от атмосферных разрядов других работающих на длине волны, близкой к принимаемой, радиостанций и т. д. В противоположность этому затухающий отправитель задает на приемной станции звучание телефонной мембраны с вполне определенной высотой тона, которую дежурный радиотелеграфист не может менять по своему произволу. В этом состоит третье преимущество незатухающих колебаний.

Наконец, незатухающие колебания обеспечивают принципиальную возможность передачи без проводов речи, музыки, изображений, что совершенно неосуществимо при затухающих колебаниях.

Из всего изложенного понятными являются многочисленные попытки, которыми характеризовалось начало нашего века, направленные к отысканию технических способов получения незатухающих колебаний высокой частоты. Естественно при этом было ожидать, что эти попытки должны были пойти

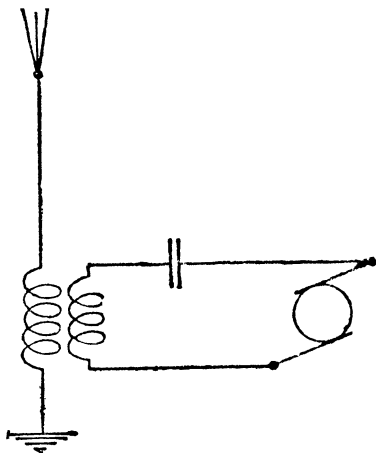


Рис. 57.

в направлении использования хорошо известных принципов получения электрического тока промышленной частоты — при помощи электрических машин. Так возникли многообразные системы машин высокой частоты.

Здесь же мы можем заметить, что применение таких машин чрезвычайно упрощает схему самого радиопередатчика. Достаточно является включить машину в настроенную на ее собственную частоту цепь и связать эту последнюю с настроенной антенной (рис. 57).

Разработанные к настоящему времени машинные генераторы токов высокой частоты могут быть разбиты на два класса: 1) каскадные машины (Гольдшмидт, Бетено) и 2) индукторные машины (Александрсон, Вологдин, Арко и др.)

§ 48. Машина Гольдшмидта (Goldschmidt). Каскадная машина, работающая на принципе умножения частоты внутри

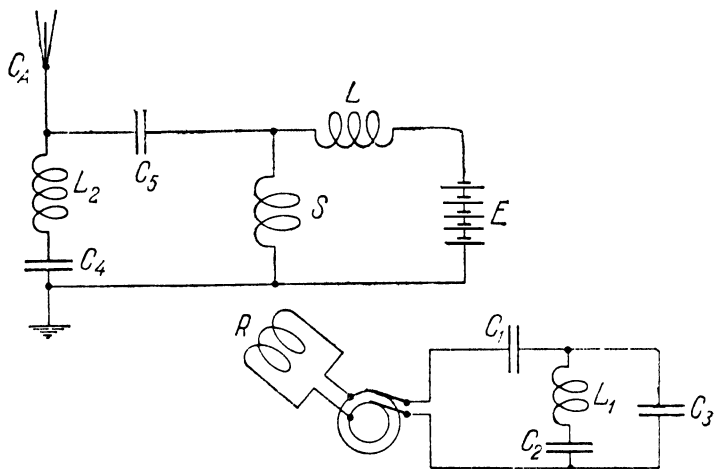


Рис. 58.

себя, представляет собою альтернатор обычного типа, но с большим числом полюсов (до 400), вследствие чего основная частота генерируемого переменного тока достигает высоких значений, порядка 10 000 — 15 000 герц. Состоит из неподвижной магнитной системы — статора, обмотка которого S (рис. 58) питается от источника E постоянного тока, и ротора с обмоткой переменного тока R . Источник питания E ограждается

от действия токов высокой частоты заградительной реактивной катушкой L .

Принцип действия машины Гольдшмидта основан на том положении, что всякое переменное магнитное поле $\Phi \sin \omega t$ может быть разложено на два составляющих поля $\frac{\Phi}{2} \cdot \sin \omega t$,

вращающихся во взаимно противоположных направлениях. Применение этого принципа к рассмотрению машины Гольдшмидта дает следующую картину. Пусть ротор R машины вращается с некоторой угловой скоростью ω . В этих условиях в его обмотке возникает переменный ток частоты f . Переменное магнитное поле этого тока, как уже было сказано, можно разложить на две составляющих, из которых одна, очевидно, будет иметь скорость вращения 2ω по отношению к статору. Эта составляющая вызовет появление в статоре переменного тока частоты $2f$. В свою очередь, переменное магнитное поле этого тока удвоенной частоты также может быть разложено на две составляющих, из которых одна вызовет появление в обмотке ротора переменного тока частоты $3f$. Этот ток вызовет в статоре ток частотой $4f$ и т. д., теоретически до бесконечности. Практически, однако, по причине сильно возрастающих потерь, Гольдшмидт в своих машинах ограничивается четырьмя каскадами трансформации частоты. Отсюда и схема, изображенная на рис. 58, представляющая собою четырехкаскадный генератор Гольдшмидта, работающий на радиосеть. Выявление основной частоты f , а также и нужных ее гармоник, осуществляется применением настроенных контуров. Так, основная частота f выделяется контуром $RC_1L_1C_2$ ротора. Удвоенная частота $2f$ выделяется контуром $SC_4L_2C_5$ статора. Утроенная частота $3f$ выделяется контуром RC_1C_3 . И, наконец, рабочая учетверенная частота выделяется контуром антенны $C_A C_5 S$.

В качестве характеризующих машины Гольдшмидта величин можно назвать следующие. Машина, которая была установлена на радиостанции в Эйльвезе, имела 384 полюса и развивала 3100 оборотов в минуту. Эта машина давала 150 kW при частоте $f_4 = 40\,000$ герц (рабочая длина волны $\lambda = 7500$ м). Машина, которая была установлена в Тукертоне, имела 400 полюсов и при частоте 50 000 герц ($\lambda = 6000$ м) давала 200 kW.

Машина Гольдшмидта характеризуется сравнительно невысоким коэффициентом полезного действия (порядка 40%) и большими трудностями своего изготовления. Достаточно указать,

что для уменьшения магнитного рассеяния между железное пространство в машине Гольдшмидта должно быть порядка всего лишь 0,8 мм при линейной скорости движения ротора, равной 200 м в секунду.

§ 49. **Машина Александерсона (Alexanderson).** Машина Александерсона относится к классу индукторных машин, т. е. машин, имеющих две обмотки (обмотку возбуждения и обмотку переменного тока) на статоре, в то время как ротор не имеет никаких обмоток. Устройство машины можно рассмотреть по схематическому поперечному ее разрезу, изображенному на рис. 59.

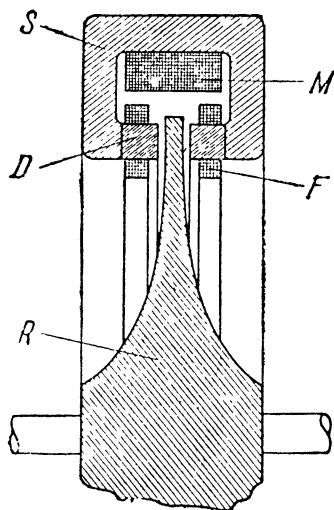


Рис. 59.

Она состоит из кольцевого желобчатого чугунного ярма-статора *S*, на котором уложена обмотка возбуждения *M*. По краям желоба прикреплены наконечники *D* из тонкого листового железа, несущие обмотку переменного тока *F*. Число таких магнитных систем на статоре делается весьма большим (200 ÷ 300), причем все обмотки переменного тока соединяются последовательно, что ведет к увеличению переменного напряжения на зажимах машины.

Между наконечниками *D* вращается тонкий край ротора *R*, сидящего на гибком валу. Этот ротор изготавливается из прочного магнитного металла (хромо-никелевая сталь) и имеет форму тела равного сопротивления. По периферии ротора выфрезированы в большом количестве зубцы, промежутки между которыми для уменьшения, при вращении ротора, трения о воздух заполнены немагнитным материалом. Подобная конструкция ротора допускает очень большие линейные скорости вращения, до 300 м/сек. и выше.

Действие машины основано на следующем. При вращении ротора промежутки между наконечниками *D* периодически изменяются, точнее, изменяется его магнитное сопротивление. Когда в промежуток входит зубец ротора — магнитное сопротивление промежутка уменьшается; когда в промежуток входит немагнитный зазор между зубцами ротора — магнитное сопро-