мы имеем двигатель сравнительно тихоходный, например дизель. В этих случаях применяются машины с большим количеством пар полюсов (рис. 334). Легко понять что каждой паре полюсов, проходящих один за другим перед катушкой статора, соответствует один период изменения отдаваемого напряжения. Если

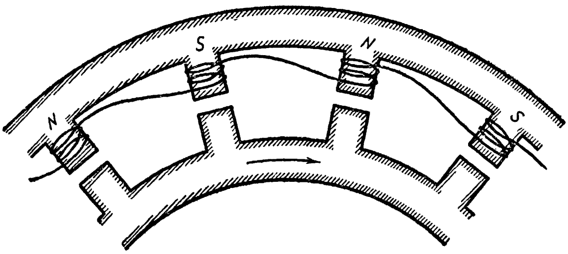

Рис. 334. Схема многополюсного генератора переменного тока.

число пар полюсов мы назовем p, то число периодов будет равно числу пар полюсов, проходящих в 1 сек. мимо катушки:

$$\nu = \frac{n}{60} p.$$

Мощность генераторов переменного тока доведена до 150 000 *квт* и напряжение до 20 тыс. *в*.

§ 79. Работа генератора электрической энергии на нагрузку. Эффективные значения напряжения и величины тока

Представим себе генератор (постоянного или переменного тока), работающий на «нагрузочное» сопротивление R. Обозначим через R_i внутреннее сопротивление генератора (для динамо-машины это — суммарное сопротивление системы проводников, движущихся в магнитном поле). Если электродвижущая сила генератора равна $\mathcal{E}$, то величина тока по закону Ома

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_i}.$$

Мощность, отдаваемая генератором на внешнее сопротивление (полезная мощность), равна

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2}{(R_i + R)^2} R.$$

Рассмотрим, при каком соотношении между R и R_i, т. е. при какой нагрузке, генератор отдаст на внешнем сопротивлении наибольшую мощность. Разделим числитель и знаменатель выражения P на R_i^2:

$$P = \frac{\mathcal{E}^2}{R_i} \left[\frac{\frac{R}{R_i}}{\left(\frac{R}{R_i} + 1\right)^2} \right].$$

Так как электродвижущая сила и внутреннее сопротивление генератора постоянны, то максимум P будет соответствовать максимуму выражения, заключенного в квадратные скобки. Приравняв производную от этой функции нулю, нетрудно убедиться, что P достигает максимума, когда $\frac{R}{R_i}=1$, т. е. *отдаваемая генератором мощность будет наибольшей, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению генератора.* Однако такой режим генератора, выгодный с точки зрения величины отдаваемой генератором мощности, чрезвычайно невыгоден экономически. В самом деле, если сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению генератора, то на внутреннем сопротивлении генератор затрачивает точно такую же мощность, которую он отдает потребителю, в то время как желательно по возможности уменьшить непроизводительную затрату энергии.

Коэффициент полезного действия генератора равен отношению полезной мощности к полной мощности, развиваемой генератором:

$$\eta=\frac{P_{\text{полезн}}}{P_{\text{полн}}}.$$

Но

$$P_{\text{полезн}}=I^2R, \quad P_{\text{полн}}=I^2(R+R_i),$$

поэтому

$$\eta=\frac{R}{R_i+R}. \qquad (1)$$

При $R=R_i$ к. п. д. составляет всего 50%.

Обычно *для повышения к. п. д. дают генератору (в ущерб мощности) нагрузку, сопротивление которой значительно превышает его внутреннее сопротивление.*

Потери в проводах, соединяющих генератор электроэнергии с нагрузочным сопротивлением, при сопротивлении линии $R_л$ и токе I составляют $I^2R_л$. Для уменьшения этих потерь, являющихся особенно чувствительными при передаче больших мощностей, можно, во-первых, увеличивать сечение проводов, во-вторых, уменьшать ток в линии. При этом придется, конечно, для передачи той же мощности соответственно увеличивать электродвижущую силу генератора. Так, уменьшив ток в линии в 10 раз, мы уменьшаем потери в 100 раз; при этом необходимая электродвижущая сила генератора возрастает в 10 раз. Это обстоятельство и является причиной той тенденции к повышению рабочего напряжения, которая наблюдается в технике передачи электроэнергии по мере увеличения расстояний передачи.

Однако при пользовании постоянным током предел достигается очень быстро; с одной стороны, для массового потребителя электроэнергии (освещение, мелкие моторы) повышение рабочего напряжения выше 220 *в* недопустимо из соображений безопасности, с другой стороны, конструирование генераторов постоянного тока на большие напряжения представляет собой значительные трудности.

Ключ к решению задачи лежит в применении переменного тока; в этом случае напряжение может быть изменено как в сторону повышения, так и в сторону понижения при помощи трансформатора. При применении переменного тока мы относительно свободны в выборе рабочих напряжений: генератора, линии и потребителя электроэнергии. Поэтому задача передачи электрической энергии на расстояние была окончательно решена только с введением в практику переменного тока. С этого момента и начинается бурное развитие электротехники.

Интенсивность переменного тока можно характеризовать наибольшим значением, которого достигает ток в течение периода. Эту величину называют *амплитудным значением* тока; если речь идет о напряжении, то говорят об амплитудном значении напряжения. При расчете изоляции какого-либо электрического аппарата приходится считаться именно с амплитудными значениями действующих в нем напряжений, так как в смысле «пробоя» наиболее опасными являются именно моменты максимума напряжения. Однако с энергетической точки зрения удобнее характеризовать интенсивность тока иначе.

Рассмотрим один из возможных случаев применения переменного тока: применение его для нагревания (лампы накаливания, электрические печи и другие электронагревательные приборы). В этом случае в цепь переменного тока включается сопротивление R, где и выделяется в форме тепла отдаваемая генератором мощность.

В каждое данное мгновение электрическая мощность, затрачиваемая на сопротивление, пропорциональна квадрату величины тока: I^2R.

При использовании переменного тока I непрерывно меняется; однако в течение очень малого промежутка времени dt можно считать величину I постоянной и написать, что количество энергии, затраченной за время dt,

$$dA = I^2 R dt.$$

Энергия, затраченная в течение одного периода, выражается интегралом [1])

$$A = \int_0^T I^2 R\, dt = I_0^2 R \int_0^T \sin^2 2\pi \frac{t}{T}\, dt = \frac{I_0^2}{2} TR.$$

[1]) Вычисляя приведенный здесь интеграл, мы пользуемся преобразованием по известной формуле тригонометрии $\sin^2\alpha = \frac{1-\cos 2\alpha}{2}$. Таким образом, ин-

Таким образом, средняя мощность, затрачиваемая переменным током на сопротивление, будет:

$$P = \frac{I_0^2}{2} R.$$

Легко видеть, что и в этом случае можно воспользоваться обычной формулой для мощности постоянного тока, т. е. I^2R, если в качестве «величины тока» I взять

$$I_{\text{эфф}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

Эту величину называют *эффективной величиной переменного тока*. Очевидно, что средняя мощность

$$P = I_{\text{эфф}}^2 R.$$

Аналогично *эффективным напряжением* называют

$$V_{\text{эфф}} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}.$$

Обычно в практике величину переменного тока и его напряжение характеризуют именно эффективными (а не амплитудными) значениями. Так, например, «127 вольт» обычной осветительной сети переменного тока являются именно эффективным напряжением; соответствующее амплитудное значение, т. е. наибольшее значение, которого достигает напряжение в сети, составляет почти 180 *в*.

Для постоянного тока основной величиной, определяющей свойства электрической цепи, является ее активное (омическое) сопротивление. Сложнее дело обстоит в случае переменного тока, где большую роль играют самоиндукция и емкость отдельных элементов цепи.

Генератор переменного тока, работающий на электрическую цепь, должен преодолевать не только падение напряжения на активном сопротивлении, но и электродвижущие силы, возникающие на включенных в цепь индуктивных катушках и конденсаторах. Эти электродвижущие силы не остаются неизменными при изменении частоты переменного тока, поэтому *то, что мы будем называть сопротивлением электрической цепи переменному току*, существенно зави-

---

теграл $\int\limits_0^T \sin^2 2\pi \frac{t}{T}\,dt$ распадается на два: первый равен $T/2$, второй равен $\frac{T}{4\pi}\left[\sin 4\pi \frac{t}{T}\right]_0^T$ и при подстановке пределов интегрирования обращается в нуль.

сит от емкости, самоиндукции, активного (омического) сопротивления цепи и от частоты питающего цепь генератора. Таким образом, возникает задача: по электрическим данным цепи и приложенной к ней переменной электродвижущей силе определить величину протекающего в цепи переменного тока.

Для простейшего случая цепи, состоящей только из активного (омического) сопротивления, вопрос решается простым применением закона Ома. Пусть к сопротивлению R приложена синусоидально изменяющаяся электродвижущая сила $\mathscr{E}$ с амплитудой $\mathscr{E}_0$. Тогда в любой момент согласно закону Ома

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R} = \frac{\mathscr{E}_0}{R} \sin\frac{2\pi t}{T}.$$

Следовательно, $I_0 = \frac{\mathscr{E}_0}{R}$.

Можно перейти к эффективным значениям электродвижущей силы и величины тока, если обе части равенства разделить на $\sqrt{2}$.

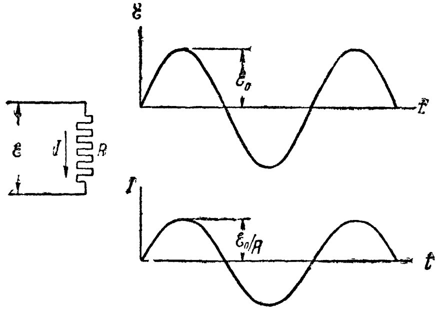

Рис. 335. Прохождение переменного тока через активное сопротивление.

Мы убеждаемся таким образом, что в случае активного сопротивления остается справедливым закон Ома: эффективное значение переменного тока, протекающего через сопротивление, равно эффективному значению приложенной электродвижущей силы, разделенному на величину сопротивления. При этом нужно отметить, что максимальное значение тока (амплитудное значение) наступает тогда, когда достигла амплитудного значения электродвижущая сила; кривая изменения тока в точности следует (рис. 335) за кривой изменения электродвижущей силы: *ток и напряжение на активном сопротивлении находятся в одной фазе.*

§ 80. Емкостное сопротивление и индуктивное сопротивление

Допустим, что переменная электродвижущая сила $\mathscr{E}$ с амплитудой $\mathscr{E}_0$ приложена к обкладкам конденсатора (рис. 336). Электрическая цепь состоит в этом случае из одной емкости C. *Конденса-*