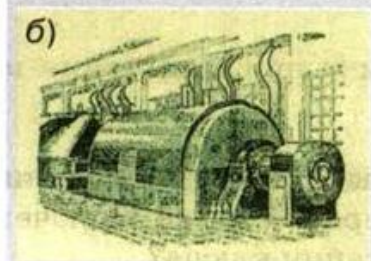
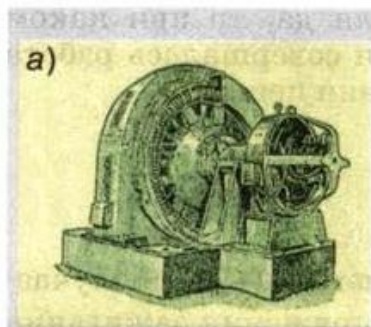


Рассмотрим ещё раз получение индукционного тока в катушке с помощью перемещения относительно неё постоянного магнита (см. рис. 119, *a*). Но теперь будем периодически двигать магнит вверх и вниз в течение нескольких секунд. Мы увидим, что при этом стрелка гальванометра отклоняется от нулевого деления то в одну, то в другую сторону. Это говорит о том, что модуль силы индукционного тока в катушке и направление этого тока периодически меняются.

Электрический ток, периодически меняющийся со временем по модулю и направлению, называется переменным током.

В осветительной сети наших домов и во многих отраслях промышленности используется именно переменный ток.

В настоящее время для получения переменного тока используют в основном *электро-механические индукционные генераторы*,



Генератор переменного тока:
а — внешний вид;
б — общий вид на электростанции вместе с паровой турбиной, приводящей ротор генератора во вращение

т. е. устройства, в которых механическая энергия преобразуется в электрическую. Индукционными они называются потому, что их действие основано на явлении электромагнитной индукции.

В § 39 рассматривался пример получения индукционного тока в плоском контуре при вращении внутри него магнита (см. рис. 121, б). На этом принципе и работает электромеханический генератор переменного тока. Неподвижная часть генератора, аналогичная контуру, называется **статором**, а вращающаяся, т. е. магнит, — **ротором**. В мощных промышленных генераторах вместо постоянного магнита используется электромагнит.

Статор промышленного генератора представляет собой стальную станину цилиндрической формы (станина — это основная несущая часть машины, на которой монтируются различные рабочие узлы, механизмы и пр.). Во внутренней его части прорезаются пазы, в которые витками укладывается толстый медный провод. В витках и индуцируется переменный электрический ток при изменении пронизывающего их магнитного потока.

Магнитное поле создаётся ротором (рис. 131, а). Он представляет собой электромагнит: на стальной сердечник сложной формы надета обмотка, по которой протекает постоянный электрический ток. Ток к этой обмотке подводится через щётки и кольца от постороннего источника постоянного тока.

На рисунке 131, б приведена схема генератора переменного тока. Штрихами показано примерное расположение линий индукции магнитного поля ротора. При вращении ротора какой-либо внешней механической силой создаваемое им магнитное поле тоже вращается. При этом магнитный поток, пронизывающий витки обмотки статора, периодически меняется, в результате чего в них индуцируется переменный ток.

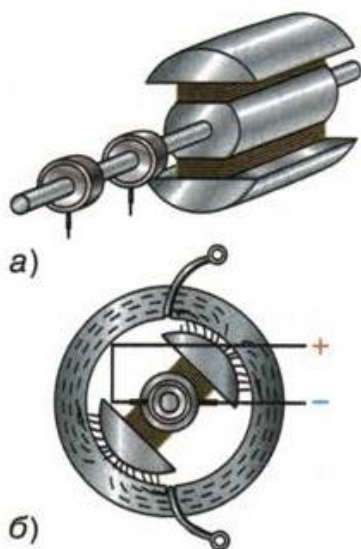
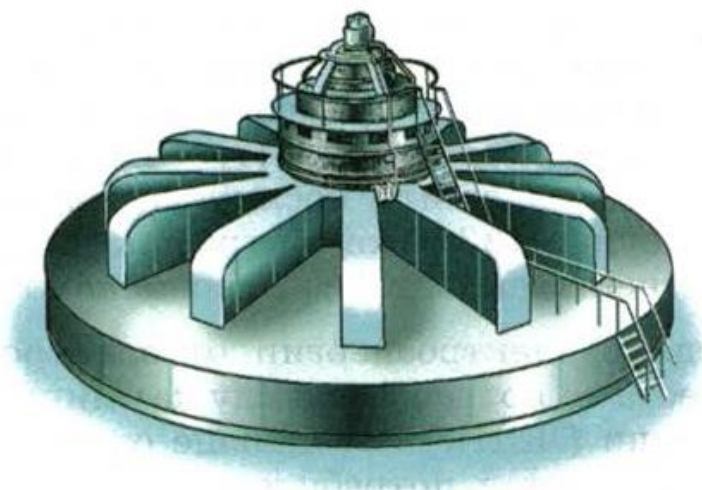
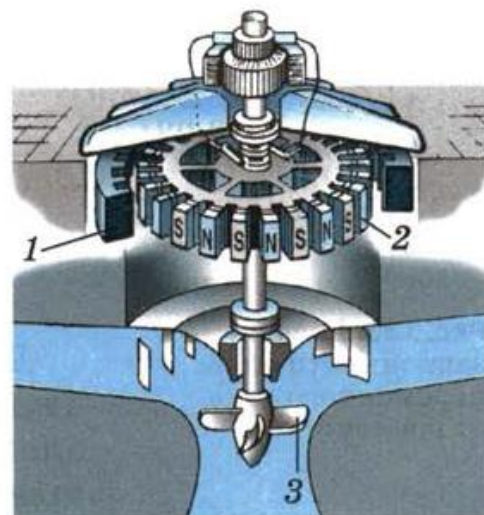


Рис. 131. Схема генератора переменного тока



а)



б)

Рис. 132. Внешний вид и устройство мощного гидрогенератора

На тепловых электростанциях ротор генератора вращается с помощью паровой турбины, на гидроэлектростанциях — с помощью водяной турбины.

На рисунке 132, а изображён внешний вид мощного гидрогенератора, а на рисунке 132, б схематично показано его устройство, где цифрой 1 обозначен *статор*, цифрой 2 — *ротор*, а цифрой 3 — *водяная турбина*.

Ротор гидрогенератора имеет не одну, а несколько пар магнитных полюсов. Чем больше пар полюсов, тем больше частота переменного электрического тока, вырабатываемого генератором при данной скорости вращения ротора. Поскольку скорость вращения водяных турбин обычно невелика, то для создания тока стандартной частоты используют многополюсные роторы.

Стандартная частота переменного тока, применяемого в промышленности и осветительной сети в России и многих других странах, равна 50 Гц. Это означает, что на протяжении 1 с ток 50 раз течёт в одну сторону и 50 раз в другую. В некоторых странах (например, США) стандартная частота переменного тока равна 60 Гц.

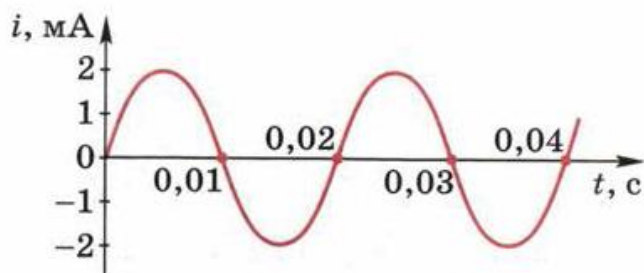


Рис. 133. График зависимости силы переменного тока от времени

Сила тока, вырабатываемого генераторами переменного тока, меняется со временем по гармоническому закону (т. е. по закону синуса или косинуса). На рисунке 133 показан график изменения силы тока i со временем t .

Для передачи электроэнергии от электростанций в места её потребления служат линии электропередачи (ЛЭП). Чем дальше от электростанции находится потребитель тока, тем больше энергии Q тратится на нагревание проводов и тем меньше доходит до потребителя:

$$E_{\text{потребляемая}} = E_{\text{генерируемая}} - Q.$$

Уменьшение потерь электроэнергии при её передаче от электростанций к потребителям является важной задачей экономики.

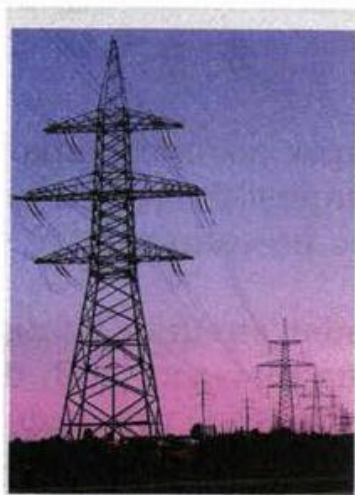
Из закона Джоуля—Ленца ($Q = I^2 R t$) следует, что уменьшить потери можно за счёт уменьшения сопротивления R проводов и силы тока I в них (что более эффективно, поскольку при уменьшении I в n раз Q уменьшается в n^2 раз).

Сопротивление проводов будет тем меньше, чем больше площадь S их поперечного сечения и чем меньше удельное сопротивление ρ металла, из которого они изготовлены (так как

$$R = \frac{\rho l}{S}).$$

Провода делают из меди или алюминия, так как среди относительно недорогих металлов они обладают наименьшим удельным сопротивлением. Увеличивать толщину проводов экономически невыгодно (ввиду увеличения расхода металла) и неудобно (из-за трудностей при их подвеске).

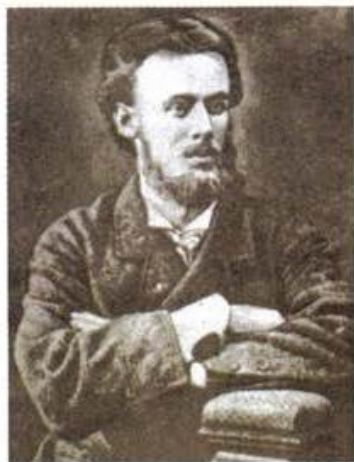
Поэтому существенного снижения потерь Q можно добиться только за счёт уменьшения силы тока I . Но при этом необходимо во столь-



Современные высоковольтные ЛЭП



Первые ЛЭП



ПАВЕЛ НИКОЛАЕВИЧ ЯБЛОЧКОВ

(1847—1894)

Русский электротехник и изобретатель. Изобрёл дуговую лампу («свеча Яблочкова»), сконструировал первый генератор переменного тока, трансформатор, сделал изобретения в области электрических машин и химических источников тока

ко же раз увеличить получаемое от генератора напряжение U , чтобы не снижать мощность тока P (так как $P = UI^1$). Без такого преобразования силы тока и напряжения передача электроэнергии на большие расстояния становится невыгодной из-за существенных потерь.

Решение этой важнейшей технической задачи стало возможным только после изобретения **трансформатора** — устройства, предназначенного для увеличения или уменьшения переменного напряжения и силы тока.

Трансформатор был изобретён в 1876 г. русским учёным **Павлом Николаевичем Яблочковым**. В основе его работы лежит явление электромагнитной индукции. На рисунке 134, а показан внешний вид трансформатора, а на рисунке 134, б схематично изображены его основные части. Обратите внимание на то, что число витков в обмотках различно: в данном случае $N_2 > N_1$.

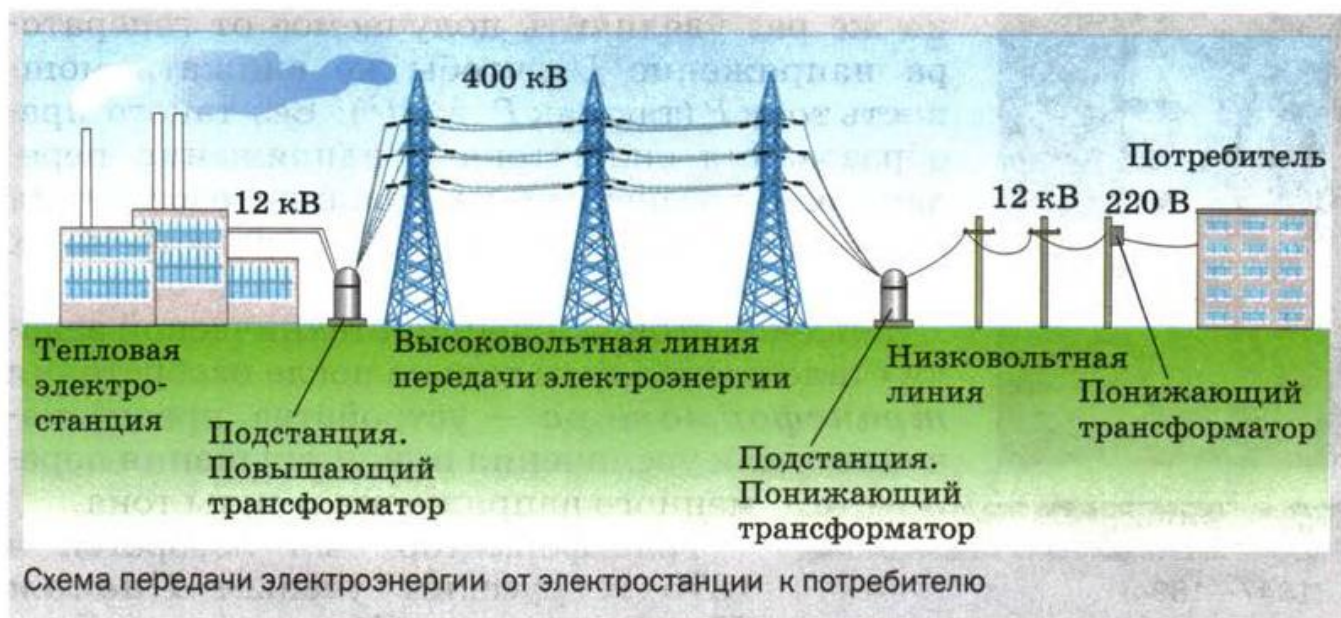
Протекающий в первичной обмотке переменный ток создаёт (главным образом в сердеч-



Рис. 134. Внешний вид и схема устройства повышающего трансформатора

¹ U, I — так называемые **действующие** значения напряжения и силы переменного тока. Они равны соответственно напряжению и силе *постоянного* тока, выделяющего в проводнике каждую секунду столько же тепла, что и переменный ток. Действующие значения напряжения и силы переменного тока в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудных:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$



нике) переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, порождает переменное электрическое поле. В результате действия этого поля на концах вторичной обмотки возникает переменное напряжение U_2 .

Величина U_2 определяется из соотношения:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{или} \quad U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1.$$

Значит, при $N_2 > N_1$ трансформатор будет *повышающим* (так как $U_2 > U_1$), а при $N_2 < N_1$ — *понижающим* (в данном случае $U_2 < U_1$).



Внешний вид силового масляного трансформатора

Теперь вернёмся к вопросу о передаче электроэнергии от электростанции к месту её потребления. Напряжение, вырабатываемое генератором, обычно не превышает 25 кВ. А для оптимальной передачи электроэнергии на большие расстояния требуется напряжение порядка сотен киловольт. Поэтому ток с электростанции сначала подаётся на расположенную неподалёку повышающую трансформаторную подстанцию, где напряжение повышается до нескольких сотен киловольт (в большинстве случаев оно не превышает 750 кВ), и под таким напряжением подаётся в ЛЭП. Поскольку

такое высокое напряжение не может быть предложено потребителю, то в конце линии его подают поочередно на несколько трансформаторных подстанций, понижающих напряжение до 380 или 220 В, а затем — на предприятия или в жилые дома.

Трансформаторы нашли широкое применение в быту. Например, при подзарядке сотового телефона имеющийся в зарядном устройстве трансформатор понижает напряжение, полученное из осветительной сети и равное 220 В, до 5,5 В, пригодного для телефона. В телевизоре имеется несколько трансформаторов (как понижающих, так и повышающих), поскольку для питания различных его узлов требуется напряжение от 1,5 В до 25 кВ.

Вопросы

1. Какой электрический ток называется переменным? С помощью какого простого опыта его можно получить? **2.** Где используют переменный электрический ток? **3.** Расскажите об устройстве и принципе действия промышленного генератора. **4.** Чем приводится во вращение ротор генератора на тепловой электростанции; на гидроэлектростанции? **5.** Почему в гидрогенераторах используют многополюсные роторы? **6.** По какому физическому закону можно определить потери электроэнергии в ЛЭП и за счёт чего их можно уменьшить? **7.** Для чего при уменьшении силы тока во столько же раз повышают его напряжение перед подачей в ЛЭП? **8.** Расскажите об устройстве, принципе действия и применении трансформатора.



УПРАЖНЕНИЕ 39

- 1.** Электростанции России вырабатывают переменный ток частотой 50 Гц. Определите период этого тока.
- 2*.** По графику (см. рис. 133) определите период, частоту и амплитуду колебаний силы тока i .