

# 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Классификация по назначению. Электрические машины по назначению подразделяют на следующие виды:

электромашинные генераторы\*, преобразующие механическую энергию в электрическую. Их устанавливают на электрических станциях и различных транспортных установках: автомобилях, самолетах, тепловозах, кораблях, передвижных электростанциях и др. На электростанциях они приводятся во вращение с помощью мощных паровых и гидравлических турбин, а на транспортных установках - от двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. В ряде случаев генераторы используют в качестве источников питания в

- электрические двигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую; они приводят во вращение различные машины, механизмы и устройства, применяемые в промышленности, сельском хозяйстве, связи, на транспорте, в военном деле и быту. В современных системах автоматического управления их используют в качестве исполнительных, регулирующих и программирующих органов;

- электромашинные преобразователи, преобразующие переменный ток в постоянный и, наоборот, изменяющие величину напряжения переменного и постоянного тока, частоту, число фаз и др. Их широко используют в промышленности, на транспорте и в военном деле, хотя в последнее десятилетие роль электромашинных преобразователей существенно уменьшилась вследствие применения статических полупроводниковых преобразователей;

- электромашинные компенсаторы, осуществляющие генерирование реактивной мощности в электрических установках для улучшения энергетических показателей источников и приемников электрической энергии;
- электромашинные усилители, используемые для управления объектами относительно большой мощности посредством электрических сигналов малой мощности, подаваемых на их обмотки возбуждения (управления). Роль электромашинных усилителей в последнее время также уменьшилась из-за широкого применения усилителей, выполненных на полупроводниковых элементах (транзисторах, тиристорах);

- электромеханические преобразователи сигналов, генерирующие, преобразующие и усиливающие различные сигналы. Их выполняют обычно в виде электрических микромашин и широко используют в системах автоматического регулирования, измерительных и счетно-решающих устройствах в качестве различных датчиков, дифференцирующих и интегрирующих элементов, сравнивающих и регулирующих органов и др.

# Классификация по роду тока и принципу действия.

- Электрические машины по роду тока делят на машины переменного и постоянного тока. Машины переменного тока в зависимости от принципа действия и особенностей электромагнитной системы подразделяют на трансформаторы, асинхронные, синхронные и коллекторные машины.
- Трансформаторы широко применяют для преобразования напряжения: в системах передачи и распределения электрической энергии, в выпрямительных установках, устройствах связи, автоматики и вычислительной техники, а также при электрических измерениях (измерительные трансформаторы) и функциональных преобразованиях (вращающиеся трансформаторы).

- Асинхронные машины используют главным образом в качестве электрических двигателей трехфазного тока. Простота устройства и высокая надежность позволяют применять их в различных отраслях техники для привода станков, грузоподъемных и землеройных машин, компрессоров, вентиляторов и пр. В системах автоматического регулирования широко используют одно- и двухфазные управляемые асинхронные двигатели, асинхронные тахогенераторы, а также сельсины.

- Синхронные машины применяют в качестве генераторов переменного тока промышленной частоты на электрических станциях и генераторов повышенной частоты в автономных источниках питания (на кораблях, самолетах и т. п.). В электрических приводах большой мощности применяют также синхронные электродвигатели. В устройствах автоматики широко используют различные синхронные машины малой мощности (реактивные, с постоянными магнитами, гистерезисные, шаговые, индукторные и пр.).



- Коллекторные машины переменного тока используют сравнительно редко и главным образом в качестве электродвигателей. Они имеют сложную конструкцию и требуют тщательного ухода. В устройствах автоматики, а также в различного рода электробытовых приборах применяют универсальные коллекторные двигатели, работающие как на постоянном, так и на переменном токе.

- Машины постоянного тока применяют в качестве генераторов и электродвигателей в устройствах электропривода, требующих регулирования частоты вращения в широких пределах: железнодорожный и морской транспорт, прокатные станы, электротрансмиссии большегрузных автомобилей, грузоподъемные и землеройные машины, сложные металлообрабатывающие станки и пр., а также в тех случаях, когда источниками электрической энергии для питания электродвигателей служат аккумуляторные батареи (стартерные двигатели, двигатели подводных лодок, космических кораблей и т. п.).

- Генераторы постоянного тока часто применяют для питания устройств связи, зарядки аккумуляторных батарей, в качестве основных источников питания на транспортных установках (автомобилях, самолетах, тепловозах, пассажирских вагонах). Однако в последнее время генераторы постоянного тока заменяются генераторами переменного тока, работающими совместно с полупроводниковыми выпрямителями.

- В системах автоматического регулирования машины постоянного тока широко используют в качестве электромашинных усилителей, исполнительных двигателей и тахогенераторов.

**В зависимости от назначения электрические микромашины автоматических устройств подразделяются на следующие группы:**

- силовые микродвигатели, приводящие во вращение различные механизмы автоматических устройств, самопишущих приборов и пр.;
- управляемые (исполнительные) двигатели, преобразующие подводимый к ним электрический сигнал в механическое перемещение вала, т. е. отрабатывающие определенные команды;
- тахогенераторы, преобразующие механическое вращение вала в электрический сигнал - напряжение, пропорциональное частоте вращения вала;
- вращающиеся трансформаторы, дающие на выходе напряжение, пропорциональное той или иной функции угла поворота ротора, например синусу или косинусу этого угла или какому-либо углу;

- машины синхронной связи (сельсины, магнесины), осуществляющие синхронный и синфазный поворот или вращение нескольких механически не связанных между собой осей;
- микромашины гироскопических приборов (гироскопические двигатели, датчики угла, датчики момента), осуществляющие вращение роторов гироскопов с высокой частотой и коррекцию их положения;
- электромашинные преобразователи и усилители.
- Электрические микромашины первых двух групп часто называют силовыми, а третьей - пятой групп - информационными.

# Классификация по мощности.

- Электрические машины по мощности условно подразделяют на микромашины, машины малой, средней и большой мощности.
- Микромашины имеют мощность от долей ватта до 500 Вт. Эти машины работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной и повышенной (400 - 2000 Гц) частоты.
- Машины малой мощности - от 0,5 до 10 кВт. Они работают как на постоянном, так и на переменном токе нормальной или повышенной частоты.
- Машины средней мощности - от 10 кВт до нескольких сотен киловатт

- Машины большой мощности - свыше нескольких сотен киловатт. Машины большой и средней мощности обычно предназначены для работы на постоянном или переменном токе нормальной частоты\*\*.

**Классификация по частоте вращения.**



- Электрические машины по частоте вращения условно подразделяют на: тихоходные - с частотами вращения до 300 об/мин; средней быстроходности - 300-1500 об/мин; быстроходные - 1500 - 6000 об/мин; сверхбыстроходные - свыше 6000 об/мин. Микромашины выполняют для частот вращения от нескольких оборотов в минуту до 60000 об/мин; машины большой и средней мощности - обычно до 3000 об/мин
- Для трансформаторов до 1000 кВ-А.

# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

- **Преобразователь электрической энергии** — это электротехническое устройство, предназначенное для преобразования параметров электрической энергии (напряжения, частоты, числа фаз, формы сигнала). Для реализации преобразователей широко используются полупроводниковые приборы, так как они обеспечивают высокий КПД.

## К числу основных видов преобразования электрической энергии относятся:

- **Выпрямление переменного тока** — преобразование переменного тока (обычно промышленной частоты) в постоянный ток. Этот вид преобразования получил наибольшее развитие, так как часть потребителей электрической энергии может работать только на постоянном токе (электрохимические и электрометаллургические установки, линии передачи постоянного тока, электролизные ванны, заряжаемые аккумуляторные батареи, радиотехническая аппаратура и т.д.), другие же потребители имеют на постоянном токе лучшие характеристики, чем на переменном токе (регулируемые электродвигатели).

**Инвертирование тока** — преобразование постоянного тока в переменный. Инвертор применяется в тех случаях, когда источник энергии генерирует постоянный ток (электромашинные генераторы постоянного тока, аккумуляторные батареи и другие химические источники тока, солнечные батареи, магнитогидродинамические генераторы и т.д.), а для потребителей нужна энергия переменного тока. В ряде случаев инвертирование тока необходимо при других видах преобразования электрической энергии (преобразование частоты, преобразование числа фаз).

**Преобразование частоты** — преобразование переменного тока одной частоты (обычно 50 Гц) в переменный ток другой частоты. Такое преобразование необходимо для питания регулируемых электроприводов переменного тока, установок индукционного нагрева и плавки металлов, ультразвуковых устройств и т. д.

**Преобразование числа фаз.** В ряде случаев встречается необходимость в преобразовании трехфазного тока в однофазный (например, для питания дуговых электропечей) или, наоборот, однофазного в трехфазный. Так, на электрифицированном транспорте используется контактная сеть однофазного переменного тока, а на электровозах используются вспомогательные машины трехфазного тока. В промышленности используются трехфазно-однофазные преобразователи частоты с непосредственной связью, в которых наряду с преобразованием промышленной частоты в более низкую происходит и преобразование трехфазного напряжения в однофазное.

**Преобразование постоянного тока** одного напряжения в постоянный ток другого напряжения (преобразование постоянного напряжения). Подобное преобразование необходимо, например, на ряде подвижных объектов, где источником электроэнергии является аккумуляторная батарея или другой источник постоянного тока низкого напряжения, а для питания потребителей требуется более высокое постоянное напряжение (например, источники питания радиотехнической или электронной аппаратуры).

- Автономные преобразователи выполняют функции преобразования формы или регулирования напряжения (тока) путем изменения состояния управляемых силовых ключевых элементов под действием сигналов управления. К автономным преобразователям относятся импульсные регуляторы постоянного и переменного напряжения, некоторые виды инверторов напряжения.



# **Автономные преобразователи**

выполняют функции преобразования формы или регулирования напряжения (тока) путем изменения состояния управляемых силовых ключевых элементов под действием сигналов управления. К автономным преобразователям относятся импульсные регуляторы постоянного и переменного напряжения, некоторые виды инверторов напряжения.

# НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

- Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две или большее число индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.
- С помощью трансформаторов повышается или понижается напряжение, изменяется число фаз, а в некоторых случаях преобразуется частота переменного тока.

Трансформаторы широко используют для следующих целей.

Для передачи и распределения электрической энергии. Обычно на электростанциях генераторы переменного тока вырабатывают электрическую энергию при напряжении 6—24 кВ. Передавать же электроэнергию на дальние расстояния выгодно при больших напряжениях, поэтому на каждой электростанции устанавливают трансформаторы, повышающие напряжение.

- В настоящее время для высоковольтных линий электропередачи в России применяют силовые трансформаторы с масляным охлаждением напряжением 330, 500 и 750 кВ, мощностью до 1200—1600 МВ-А. В связи со строительством дальних линий электропередачи Экибастуз — Центр, Экибастуз — Урал и других напряжением 1150 кВ переменного тока наша электропромышленность создала трансформаторные группы, состоящие из трех однофазных трансформаторов мощностью 667 МВ-А, а для линий 1500 В постоянного тока — двенадцатифазные преобразовательные блоки с четырехобмоточными трансформаторами общей мощностью 1500 МВ-А. КПД таких трансформаторов составляет 98 — 99% и выше.

- Электрическая энергия распределяется между промышленными предприятиями и населенными пунктами, в городах и сельских местностях, а также внутри промышленных предприятий по воздушным и кабельным линиям при напряжении 220, 110, 35, 20, 10 и 6 кВ. Следовательно, во всех узлах распределительных сетей должны быть установлены трансформаторы, понижающие напряжение. Кроме того, понижающие трансформаторы следует устанавливать в пунктах потребления электроэнергии, так как большинство электрических потребителей переменного тока работает при напряжениях 220, 380 и 660 В.

Таким образом, электрическая энергия при передаче от электрических станций к потребителям подвергается в трансформаторах многократному преобразованию (3 — 5 раз).

Применяемые для этих целей трансформаторы могут быть одно- и трехфазными, двух- и трехобмоточными.

# ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

- Электромагнитная схема однофазного двухобмоточного трансформатора состоит из двух обмоток (рис. 2.1), размещенных на замкнутом магнитопроводе, который выполнен из ферромагнитного материала. Применение ферромагнитного магнитопровода позволяет усилить электромагнитную связь между обмотками, т. е. уменьшить магнитное сопротивление контура, по которому проходит магнитный поток машины. Первичную обмотку 1 подключают к источнику переменного тока — электрической сети с напряжением  $u_1$ . Ко вторичной обмотке 2 присоединяют сопротивление нагрузки  $Z_H$ .

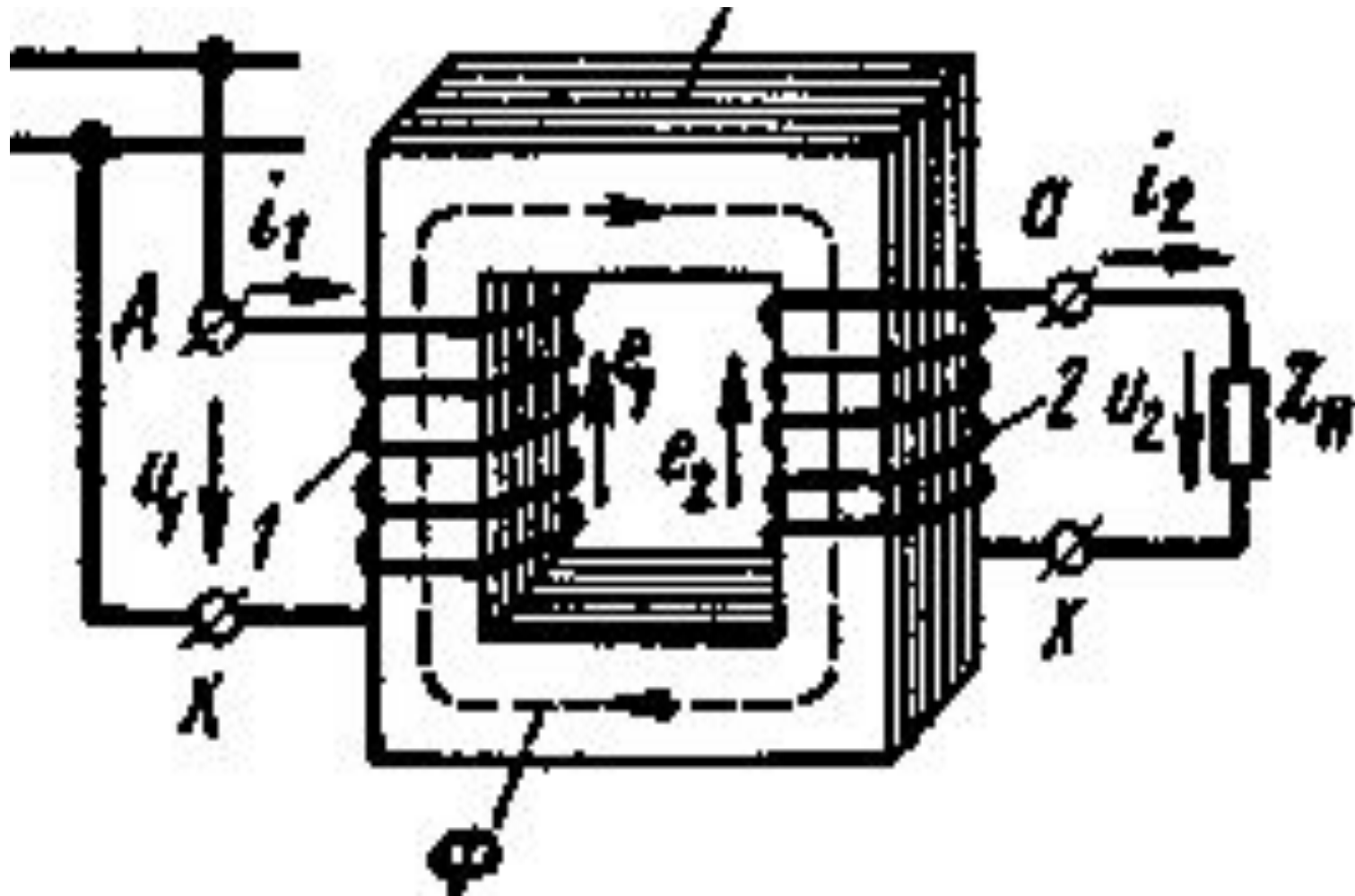


Рис. 2.1. Электромагнитная система однофазного трансформатора :

1,2 — первичная и вторичная обмотки; 3 — магнитопровод



- Обмотку более высокого напряжения называют обмоткой высшего напряжения (ВН), а низкого напряжения — обмоткой низшего напряжения (НН). Начала и концы обмотки ВН обозначают буквами А и Х; обмотки НН — буквами а и х.
- При подключении к сети в первичной обмотке возникает переменный ток  $i_1$ , который создает переменный магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся по магнитопроводу. Поток  $\Phi$  индуцирует в обеих обмотках переменные ЭДС —  $e_1$  и  $e_2$ , пропорциональные, согласно закону Максвелла, числам витков  $w_1$  и  $w_2$  соответствующей обмотки и скорости изменения потока  $d\Phi/dt$ . Таким образом, мгновенные значения ЭДС, индуцированные в каждой обмотке.

В трансформаторе преобразуются только напряжения и токи. Мощность же остается приблизительно постоянной (она несколько уменьшается из-за внутренних потерь энергии в трансформаторе).

# УСТРОЙСТВО ТРАНСФОРМАТОРОВ

- Магнитная система. В зависимости от конфигурации магнитной системы трансформаторы подразделяют на стержневые (рис. 2.2, а), броневые (рис. 2.2, б) и тороидальные (рис. 2.2, в). Стержнем называют часть магнитопровода, на которой размещают обмотки. Часть магнитопровода, на которой обмотки отсутствуют, называют ярмом. Трансформаторы большой и средней мощности обычно выполняют стержневыми. Они имеют лучшие условия охлаждения и меньшую массу, чем броневые.

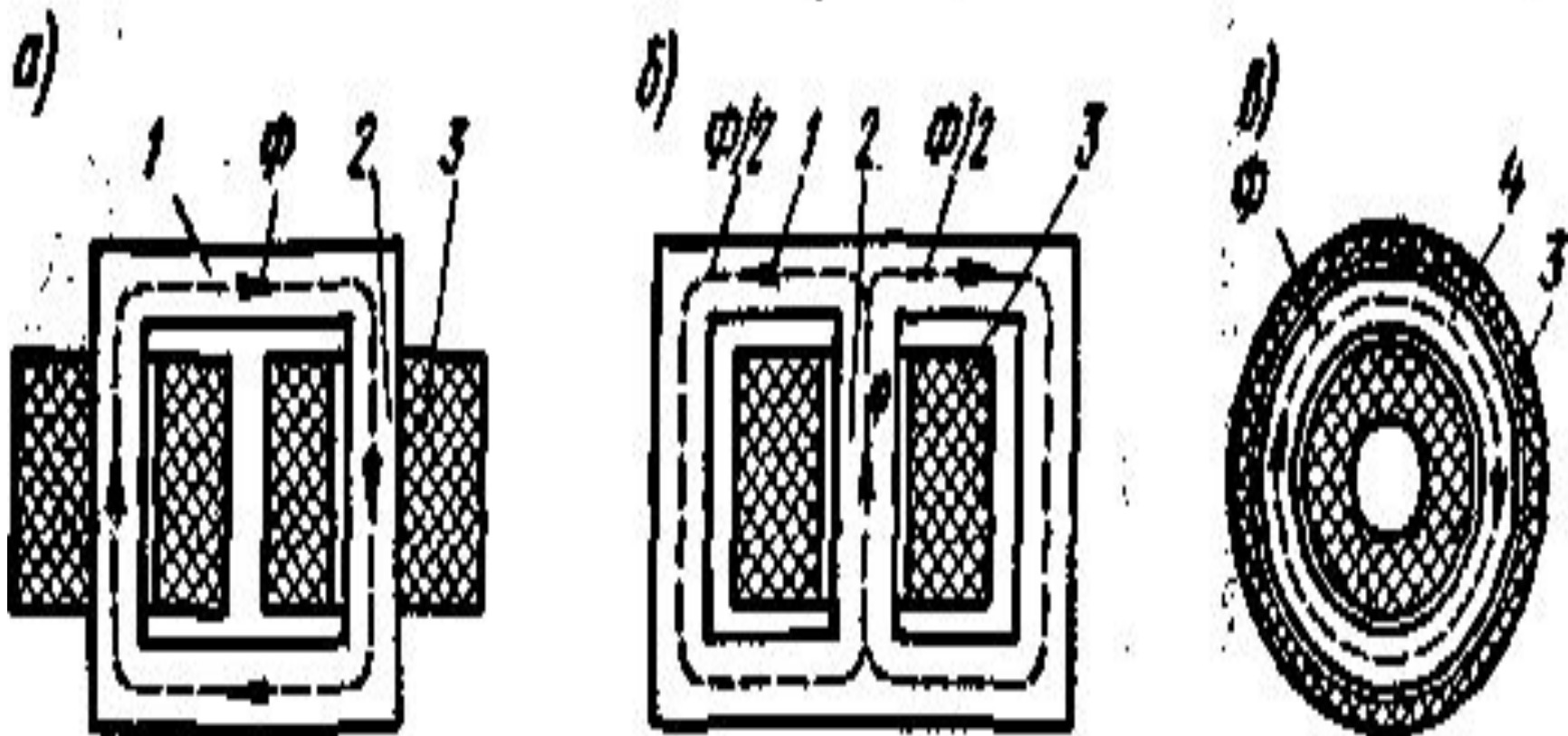


Рис. 2.2. Основные типы однофазных трансформаторов:

1 — ярмо; 2 — стержень; 3 — обмотки; 4 — тороидальный магнитопровод.

- Но при значительных мощностях (более 80—100 МВ•А на фазу) часто применяют бронестержневые трансформаторы, у которых крайние стержни имеют боковые ярма (рис. 2.3, а).

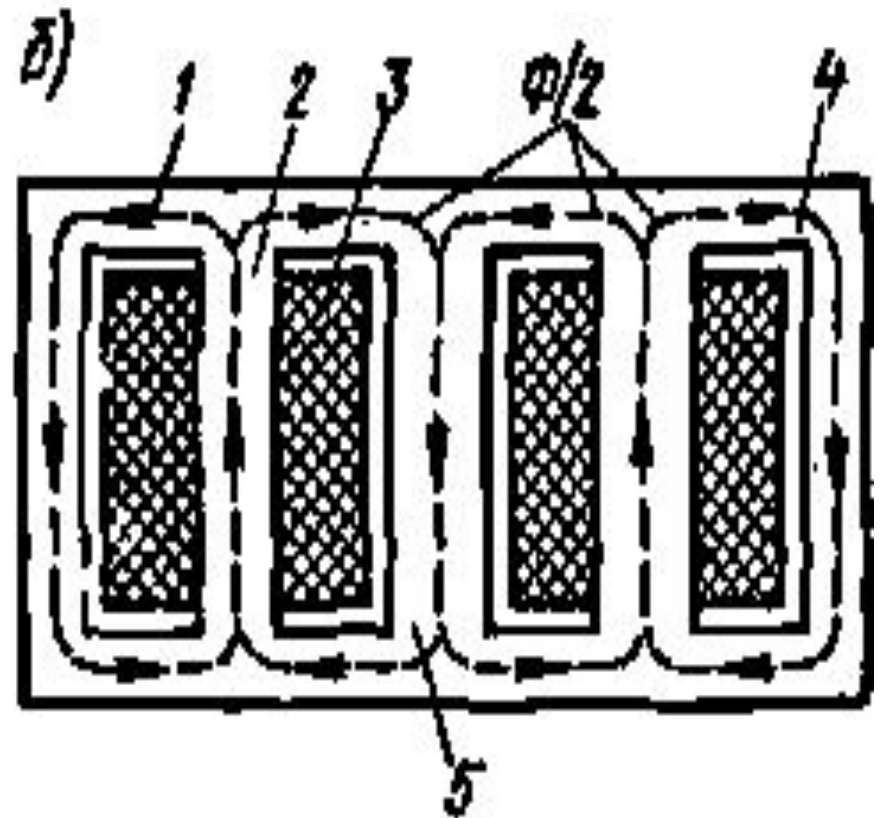
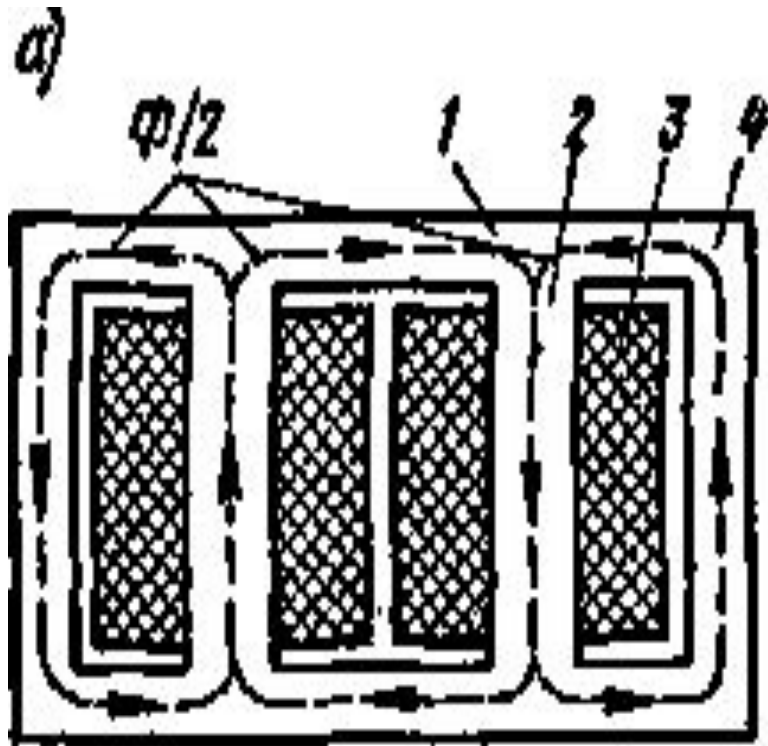


Рис. 2.3. Однофазные трансформаторы большой мощности: а — бронестержневой; б — многостержневой; 1 — верхнее ярмо; 2 — стержень; 3 — обмотки; 4 — боковое ярмо; 5 — боковое совмещенное ярмо.

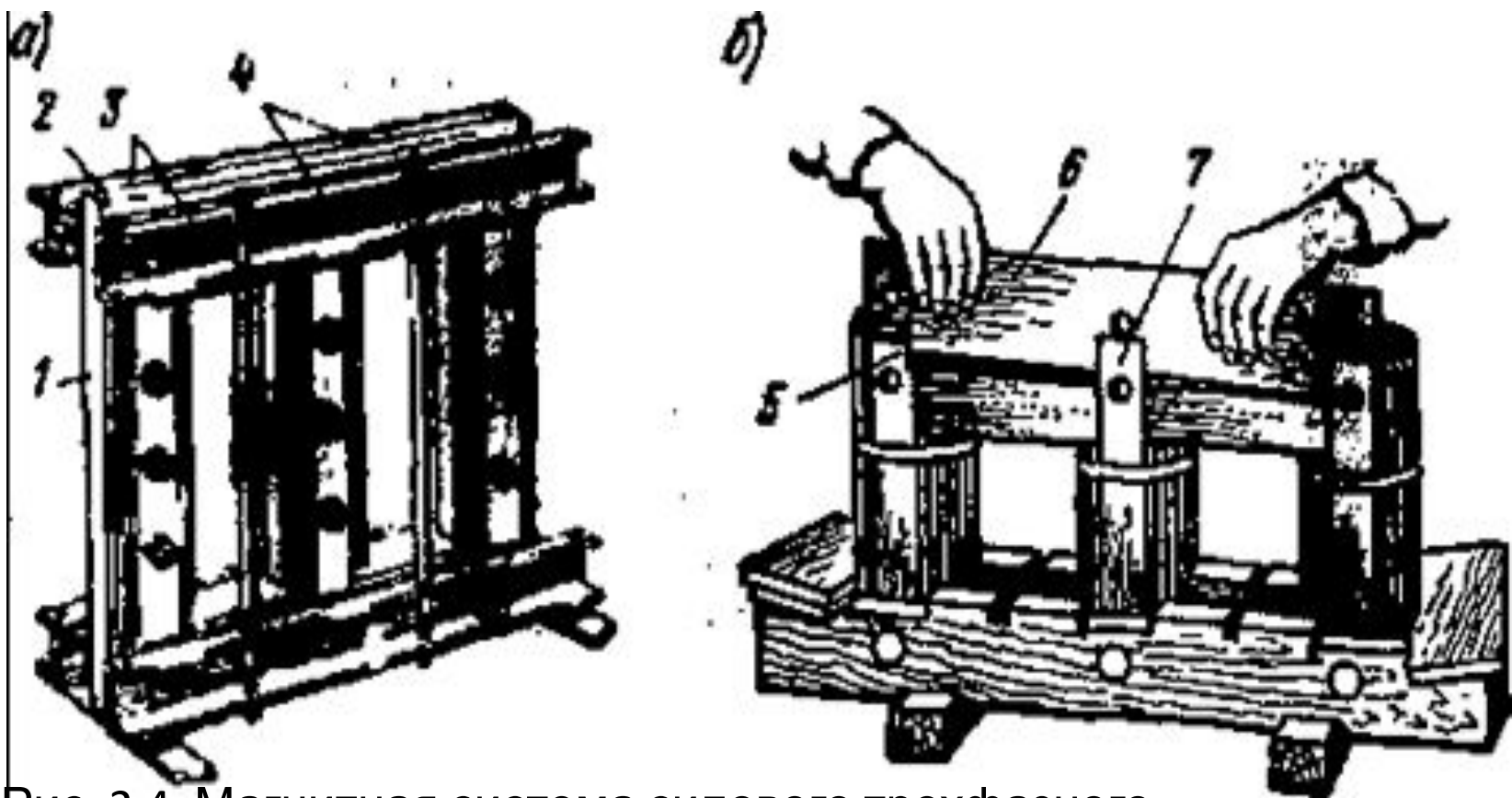
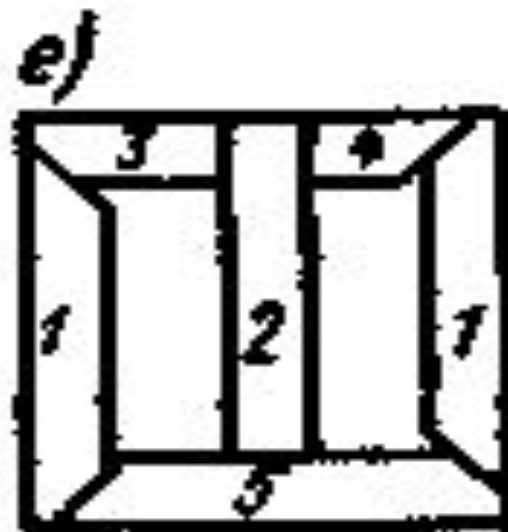
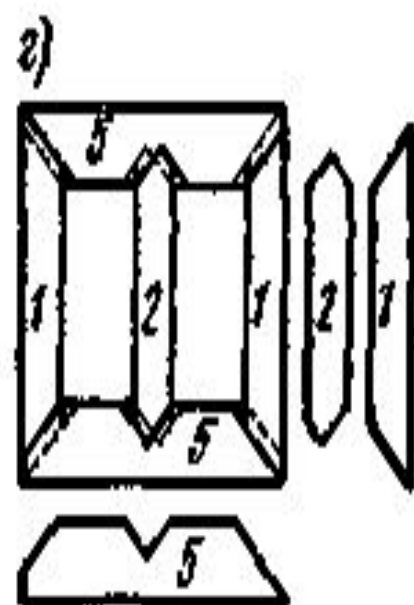
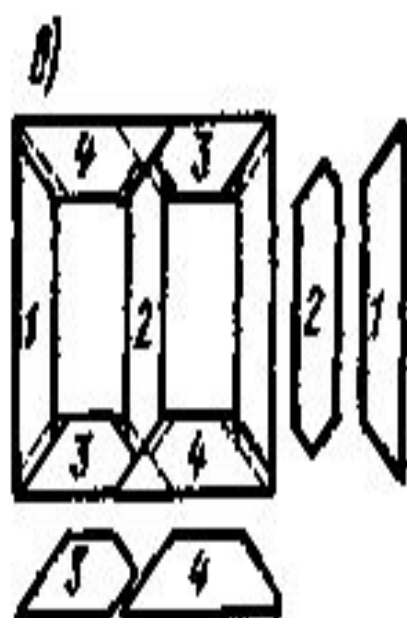
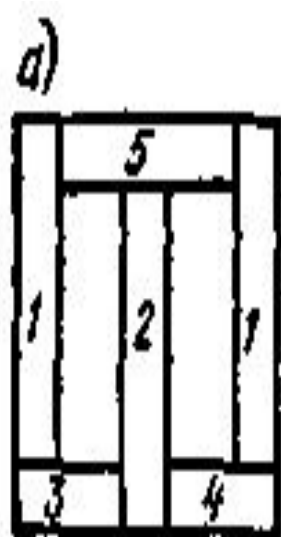


Рис. 2.4. Магнитная система силового трехфазного трансформатора:  
 а — общий вид; б — сборка магнитопровода; У — стержень; 2 — ярмо;  
 3 — опорные балки; 4 — стяжные шпильки; 5, 7 — листы крайнего и  
 среднего стержней; 6 — листы верхнего ярма.





- По способу сборки различают стыковые и шихтованные магнитопроводы. В стыковых магнитопроводах стержни и ярма собирают и скрепляют отдельно, а затем устанавливают в стык и соединяют между собой. В месте стыка во избежание замыкания листов устанавливают изоляционные прокладки. В шихтованных магнитопроводах ярма и стержни собирают как цельную конструкцию с взаимным перекрытием отдельных слоев в месте стыка («впереплет»). Каждый слой состоит из двух - трех листов.

- В трансформаторах малой мощности магнитопровод собирают из штампованных пластин П-, Ш- и О-образной формы (рис. 2.8, а, б, в). При использовании листов Ш- и П-образной формы магнитопровод может быть собран «впереплет» или «встык». Сборку пластин «встык» применяют при необходимости введения в магнитопровод воздушного зазора; в этом случае в месте стыка устанавливают изоляционные прокладки.



Рис. 2.8. Магнитопроводы трансформаторов малой мощности: а, д — броневой, б, г — стержневой, в, е — тороидальный, ж — трехфазный.

# Характеристики генераторов

Свойства генератора постоянного тока определяются в основном способом включения обмотки возбуждения. В зависимости от этого различают генераторы:

- с независимым возбуждением: обмотка возбуждения получает питание от постороннего источника постоянного тока (аккумуляторной батареи, небольшого вспомогательного генератора, называемого возбудителем, или выпрямителя);
- с параллельным возбуждением: обмотка возбуждения подключена параллельно обмотке якоря и нагрузке;

- с последовательным возбуждением: обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря и нагрузкой;
- со смешанным возбуждением: имеются две обмотки возбуждения — параллельная и последовательная; первая подключена параллельно обмотке якоря, а вторая — последовательно с нею и нагрузкой.
- Генераторы с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением относятся к машинам с самовозбуждением, так как питание их обмоток возбуждения осуществляется от самого генератора.

Все перечисленные генераторы имеют одинаковое устройство и отличаются лишь выполнением обмоток возбуждения. Обмотки независимого и параллельного возбуждения изготавливают из провода

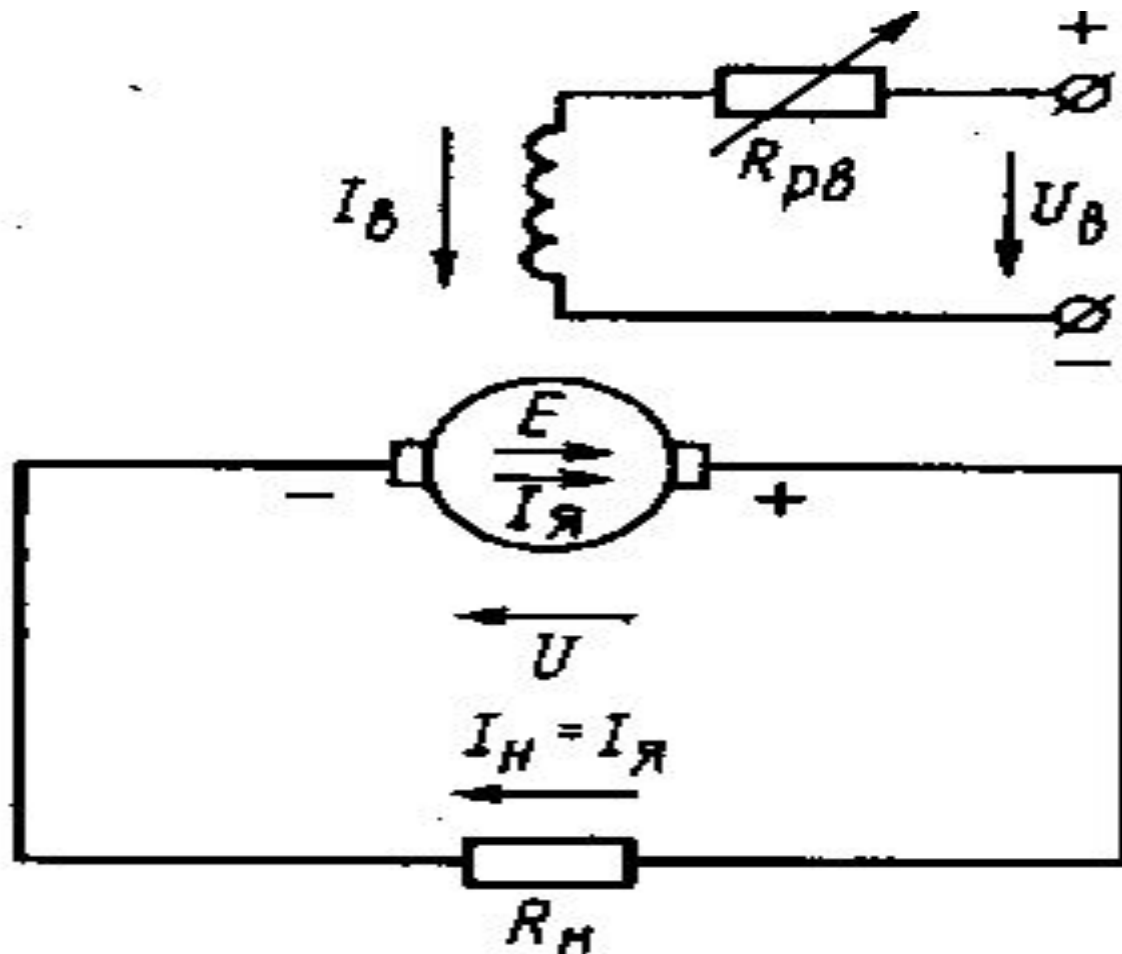


Рис 120 Принципиальная схема генератора с независимым возбуждением  
 малого сечения, они имеют большое число витков, обмотку последовательного возбуждения — из провода большого сечения, она имеет малое число витков.

- О свойствах генераторов постоянного тока судят по их характеристикам: холостого хода, внешней и регулировочной. Ниже будут рассмотрены эти характеристики для генераторов различного типа.
- Генератор с независимым возбуждением. Характерной особенностью генератора с независимым возбуждением (рис. 120) является то, что его ток возбуждения  $I_v$  не зависит от тока якоря  $I_a$ , а определяется только напряжением  $U_B$ , подаваемым на обмотку возбуждения, и сопротивлением  $R_B$  цепи возбуждения. Обычно ток возбуждения невелик и составляет 2—5 % номинального тока якоря. Для регулирования напряжения генератора в цепь обмотки возбуждения часто включают регулировочный реостат  $R_{rv}$ . На тепловозах ток  $I_v$  регулируют путем изменения напряжения  $U_B$ .

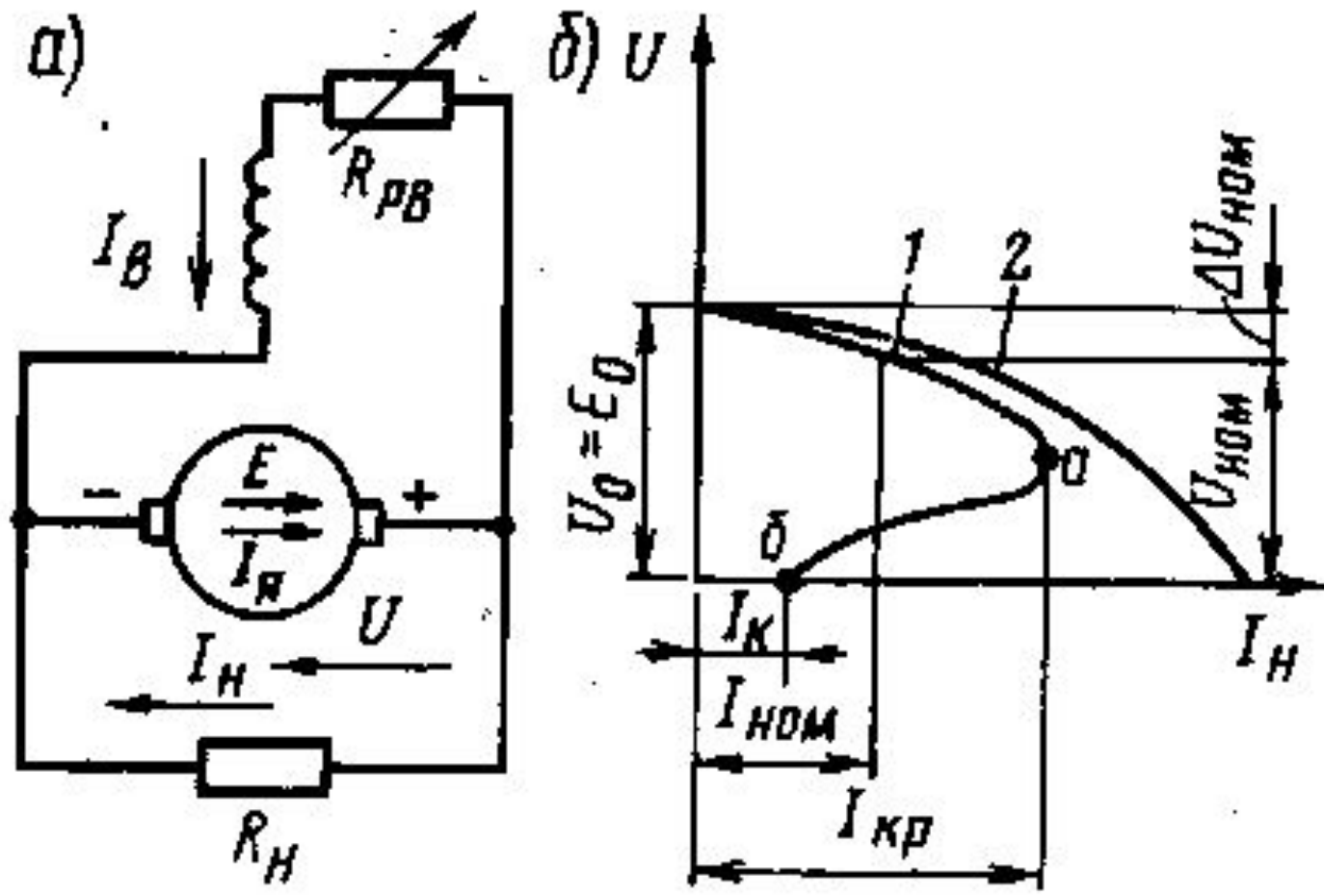


Рис. 121. Характеристики генератора с независимым возбуждением: а — холостого хода; б — внешняя; в — регулировочная



- Регулировочная характеристика генератора (рис. 121, в) представляет собой зависимость тока возбуждения  $I_v$  от тока нагрузки  $I_n$  при неизменном напряжении  $U$  и частоте вращения  $p$ . Она показывает, как надо регулировать ток возбуждения, чтобы поддерживать постоянным напряжение генератора при изменении нагрузки. Очевидно, что в этом случае по мере роста нагрузки нужно увеличивать ток возбуждения.
- Достоинствами генератора с независимым возбуждением являются возможность регулирования напряжения в широких пределах от 0 до  $U_{max}$  путем изменения тока возбуждения и малое изменение напряжения генератора под нагрузкой. Однако он требует наличия внешнего источника постоянного тока для питания обмотки возбуждения.

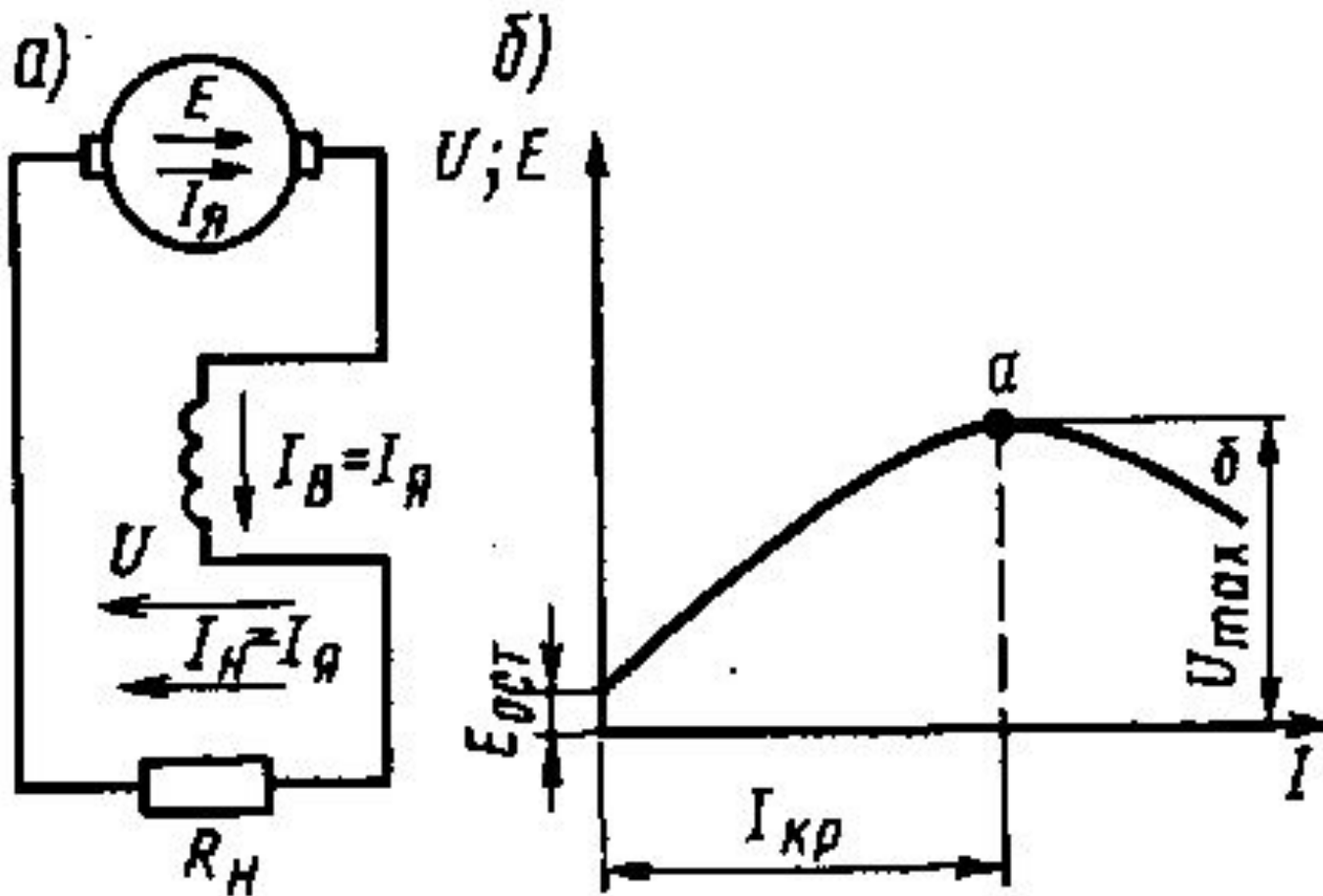


Рис. 123. Принципиальная схема генератора с последовательным возбуждением (а) и его внешняя характеристика (б)

- Генератор с последовательным возбуждением. У этого генератора (рис. 123, а) ток возбуждения  $I_v$  равен току нагрузки  $I_n = I_a$  и напряжение сильно изменяется при изменении тока нагрузки. При холостом ходе в генераторе индуцируется небольшая э. д. с.  $E_{ост}$  создаваемая потоком остаточного магнетизма (рис. 123, б). С увеличением тока нагрузки  $I_n = I_v = I_a$  возрастают магнитный поток, э. д. с. и напряжение генератора; это возрастание, как и у других самовозбуждающихся машин (генератора с параллельным возбуждением), продолжается до известного предела, обусловленного магнитным насыщением машины.

При увеличении тока нагрузки свыше  $I_{кр}$  напряжение генератора начинает уменьшаться, так как магнитный поток возбуждения из-за насыщения почти перестает увеличиваться, а размагничивающее действие реакции якоря и падение напряжения в цепи обмотки якоря  $I_a R_a$  продолжают возрастать. Обычно ток  $I_{кр}$  значительно больше номинального тока. Генератор может работать устойчиво только на части аб внешней характеристики, т. е. при токах нагрузки, больших номинального.

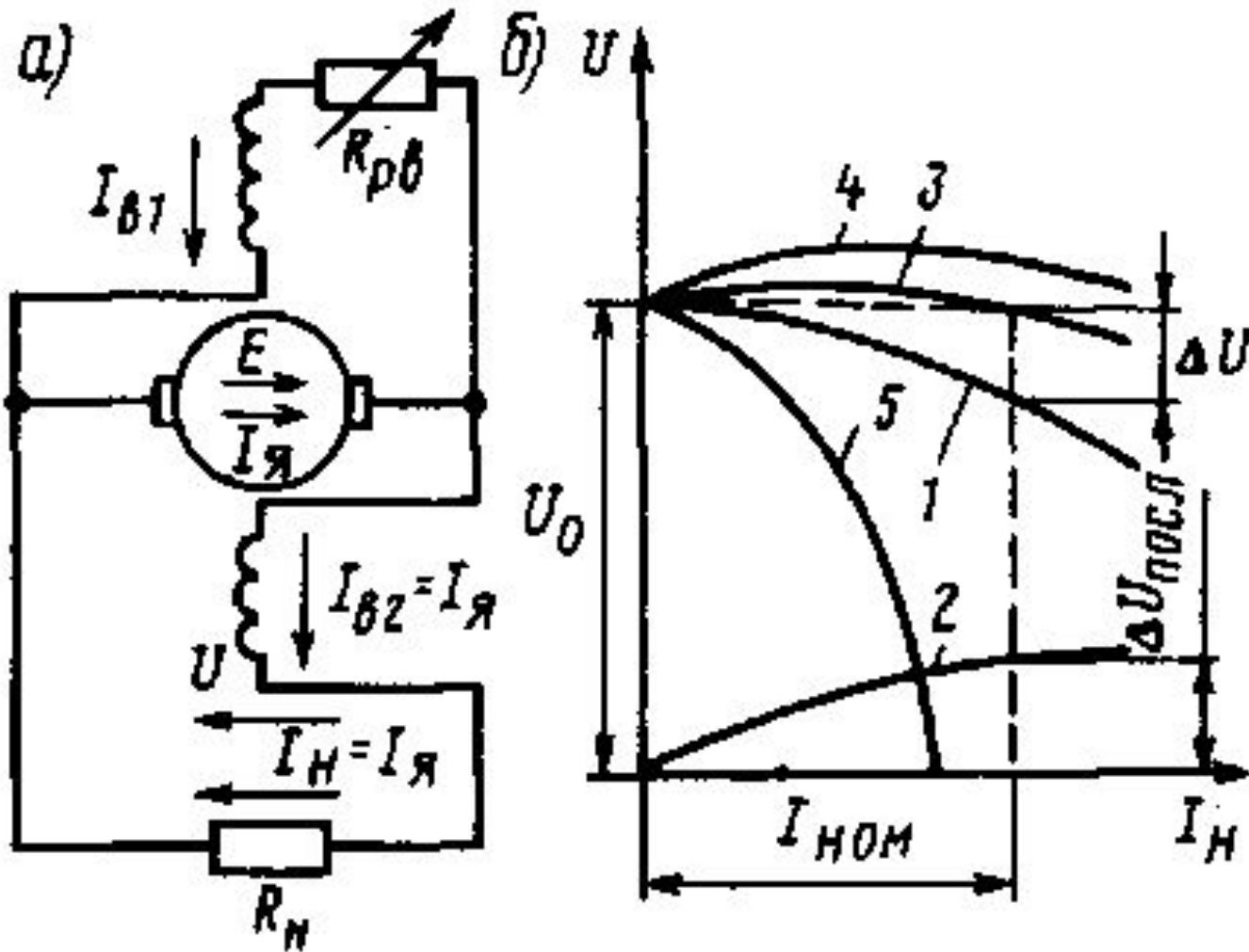


Рис. 124. Принципиальная схема генератора со смешанным возбуждением (а) и его внешние характеристики (б)

- Генератор со смешанным возбуждением. В этом генераторе (рис. 124, а) чаще всего параллельная обмотка возбуждения является основной, а последовательная — вспомогательной. Обе обмотки находятся на одних полюсах и соединены так, чтобы создаваемые ими магнитные потоки складывались (при согласном включении) или вычитались (при встречном включении).
- Генератор со смешанным возбуждением при согласном включении его обмоток возбуждения позволяет получить приблизительно постоянное напряжение при изменении нагрузки. Внешняя характеристика генератора (рис. 124, б) может быть в первом приближении представлена в виде суммы характеристик, создаваемых каждой

обмоткой возбуждения. При включении только одной параллельной обмотки, по которой проходит ток возбуждения  $I_{в1}$ , напряжение генератора  $U$  постепенно уменьшается с ростом тока нагрузки  $I_n$  (кривая 1). При включении одной последовательной обмотки, по которой проходит ток возбуждения  $I_{в2} = I_n$  напряжение  $U$  возрастает с увеличением тока  $I_n$  (кривая 2). Если подобрать число витков последовательной обмотки так, чтобы при номинальной нагрузке создаваемое ею напряжение  $U_{посл}$  компенсировало суммарное падение напряжения  $U_{\Sigma}$  при работе машины с одной только параллельной обмоткой, то можно добиться, чтобы напряжение  $U$  при изменении тока нагрузки от нуля до номинального значения оставалось почти неизменным (кривая 3).

Подготовить реферат Тема  
«Характеристики виды и  
принципиальные схемы подключения  
двигателей и генераторов переменного  
тока»



