

1. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.

1. Кислотные аккумуляторы: устройство, принцип действия, назначение, эксплуатация, техника безопасности в процессе эксплуатации.

Устройства, которые в процессе заряда накапливают электрическую энергию путем преобразования ее в химическую, а при разряде отдают электроэнергию, называются *аккумуляторами*.

Количество электричества, выраженное в ампер-часах (А-ч), которое может отдать нормально заряженный аккумулятор, при разряде за время t_p , определенной величиной тока I_p , до минимально допустимого напряжения, называется *емкостью аккумулятора*:

$$Q_p = I_p t_p \quad (1)$$

Емкость аккумулятора зависит от размеров пластин, величины разрядного тока, плотности и температуры электролита.

Аккумуляторы являются автономными источниками питания, дающими постоянный ток без пульсаций и высших гармоник. Аккумуляторы бывают кислотные (свинцовые) и щелочные.

Кислотные аккумуляторы (рис. 2) выпускают одиночными элементами и моноблоками, называемыми аккумуляторными батареями. Кислотные аккумуляторы состоят из банок, положительных и отрицательных пластин, сепараторов, крышек и электролита.

Отрицательных пластин на одну больше. Это необходимо для предотвращения коробления положительных пластин при их одностороннем разряде.

Банки *б* судовых аккумуляторов бывают эбонитовые и из асфальтопековой массы.

На рис. 2, *а* показано устройство одного из типов одиночного аккумулятора. Пластины аккумуляторов — решетчатой формы, из свинца с примесью сурьмы, которая придает механическую прочность и кислотостойкость свинцу, после сушки и формовки электрическим током, т. е. длительного разряда-заряда. Активной массой положительных пластин отформованного заряженного аккумулятора является перекись свинца PbO_2 темно-коричневого цвета, а отрицательных — чистый губчатый свинец Pb светло-серого цвета.

Положительные и отрицательные пластины соединяют в полу-блоки, которые имеют выводы с зажимами *1*. Полублоки собирают в блок пластин. Между пластинами располагают изоляционные прокладки-сепараторы из микропористого эбонита *5*, гофрированной фанеры *4* или пористых пластмасс, стекло-войлока и др. материалов.

Электролитом является раствор химически чистой

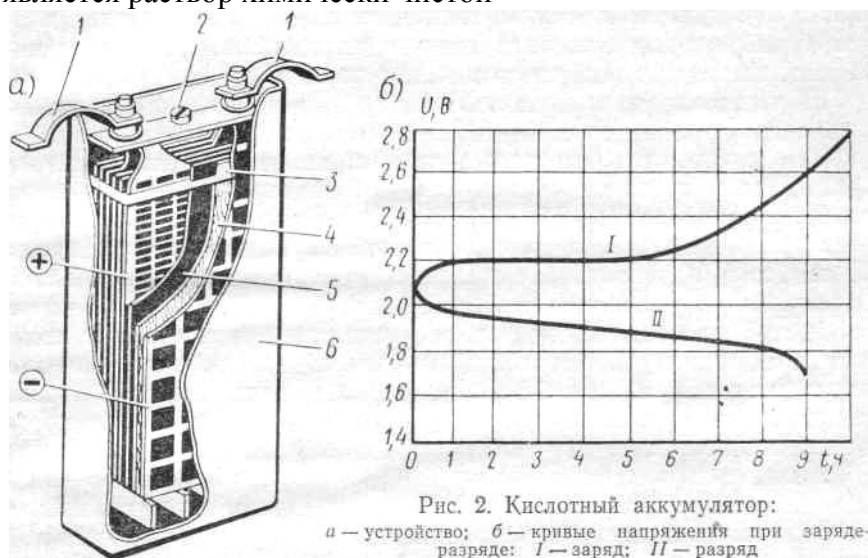


Рис. 2. Кислотный аккумулятор:
а — устройство; *б* — кривые напряжения при заряде-разряде: *I* — заряд; *II* — разряд

серной (аккумуляторной) кислоты *3* плотностью 1,83—1,84, разведенной в дистиллированной воде. Плотность электролита устанавливается для данного типа аккумулятора заводом-изготовителем и практически колеблется в пределах 1,18—1,31. Она измеряется ареометром или кислотометром.

Банка аккумулятора или отделение моноблока закрывается крышкой, имеющей два

отверстия для выводов полублоков, отверстие для заливки электролита и отверстие для отвода газов. Последнее закрывается специальной пробкой 2, позволяющей выходить газам из аккумулятора и не допускающей выливания электролита. Крышку с банкой уплотняют резиной и края ее заливают заливочной мастикой.

В результате разряда серная кислота электролита соединяется с активной массой положительных и отрицательных пластин, которые постепенно переходят в сернокислый свинец (сульфат свинца) $PbSO_4$, т. е. становятся химически однородными. Вследствие этого уменьшается э. д. с. аккумулятора, увеличивается внутреннее сопротивление, а также выделяется вода и уменьшается плотность электролита. При этом напряжение аккумулятора быстро падает с 2,2 до 2 В (см. рис. 2,6), а затем медленно понижается до 1,75—1,8 В, после чего опять быстро падает. При напряжении 1,75—1,8 В следует прекратить разряд во избежание чрезмерной сульфитации, т. е. покрытия пластин твердой белой коркой сульфата свинца крупнозернистого строения, не разлагающегося при нормальном заряде.

Таким образом, признаками конца разряда являются уменьшение напряжения до 1,75—1,8 В и малая плотность электролита.

При заряде сульфат свинца на положительной пластине превращается в перекись свинца PbO_2 , а на отрицательной — в чистый губчатый свинец Pb , т. е. пластины восстанавливаются, а в электролит выделяется серная кислота. В результате повышаются э. д. с. и плотность электролита, а внутреннее сопротивление аккумулятора уменьшается. При этом напряжение в начале заряда быстро растет до 2,2 В, из-за увеличения плотности электролита в порах и у поверхности пластин. В дальнейшем оно медленно повышается до 2,6 В, вследствие повышения плотности электролита во всем аккумуляторе благодаря диффузии, проходящей медленно.

В конце заряда напряжение быстро возрастает до 2,75—2,8 В и в дальнейшем остается неизменным. Скачкообразность изменения напряжения здесь объясняется тем, что процесс восстановления активной массы пластин заканчивается, происходит бурное газовыделение, которое приводит к увеличению внутреннего сопротивления и поляризации пластин.

На величину э. д. с. и соответственно напряжения аккумулятора, главным образом, влияет плотность электролита в порах пластин. Зависимость э. д. с. аккумулятора от плотности электролита может быть выражена формулой $E = 0,84 + d$ (d — плотность электролита при 15°C). Тогда величины зарядного и разрядного напряжений соответственно определяются:

$$U_3 = 0,84 + d + I_3 R_o; U_p = 0,84 + d - I_p R_o \quad (3)$$

где I_3 , I_p — зарядный и разрядный токи;

R_o — внутреннее сопротивление аккумулятора.

Аккумулятор заряжают током ориентировочно, равным десятой части номинальной его емкости.

Конец заряда кислотного аккумулятора определяется следующими признаками: напряжение повышается до 2,75—2,8 В и не изменяется в течение 1—2 ч; плотность электролита достигает наибольшего значения и остается постоянной; возникает бурное газообразование — «кипение», вследствие чего электролит принимает молочный цвет. При выключении аккумулятора из-под заряда напряжение на его зажимах сразу падает до 2,2—2,1 В.

Различают коэффициент отдачи и к. п. д. аккумуляторов.

Коэффициент отдачи (КО) — это отношение разрядной емкости к зарядной емкости, а к. п. д. аккумулятора K — отношение энергии W_p разряда к энергии W_3 заряда.

$$K_o = Q_p/Q_3 = I_p T_p/I_3 T_3, \quad K = W_p/W_3 = U_p I_p T_p/U_3 I_3 T_3$$

Коэффициент отдачи у кислотных аккумуляторов при нормальных режимах разряда и заряда составляет 0,8—0,95, а к. п. д. 0,7—0,8.

Кислотные аккумуляторы имеют малое внутреннее сопротивление ($\sim 0,0005$ Ом), поэтому могут отдавать большие токи и используются в качестве стартерных. Они чувствительны к коротким замыканиям, взрывоопасны.

2. Щелочные аккумуляторы: устройство, принцип действия,

назначение, эксплуатация, техника безопасности в процессе эксплуатации.

могут быть кадмиево-никелевые, железоникелевые и серебряно-цинковые.

Кадмиево-никелевые и железо-никелевые аккумуляторы состоят из стальных никелированных банок 6 (рис. 3, а), внутри которых располагаются полублоки положительных 4 и отрицательных 3 пластин. Положительных пластин у кадмиево-никелевых аккумуляторов на одну больше, а у железо-никелевых на одну меньше, чем отрицательных.

Пластины кадмиево-никелевых аккумуляторов могут быть ла-мельной, трубчатой и безламельной конструкции, а железо-никелевых — только ламельной.

Пластины ламельной конструкции представляют собой стальную никелированную раму, в которую впрессовывают пакеты с активной массой.

Активной массой положительных пластин кадмиево-никелевых аккумуляторов является гидрат окиси никеля Ni(OH)_2 , смешанный с графитом для уменьшения сопротивления, а отрицательных — металлический кадмий Cd с примесью окислов железа.

У железо-никелевых аккумуляторов активная масса положительных пластин такая же, как и у кадмиево-никелевых, а активной массой отрицательных пластин является химически чистое железо.

Оболочка пакетов пластин изготавливается из тонкой перфорированной стальной ленты, позволяющей электролиту проникать к активной массе. Для изоляции положительных пластин от отрицательных между ними устанавливаются сепараторы обычно в виде эбонитовых палочек 1. Крайние пластины, как правило, электрически соединяются с корпусом банок (на рис. 3, а: 2 — пробка; 5 — боковая изоляция).

Электролитом является чаще всего раствор едкого калия KOH в дистиллированной воде. Для увеличения емкости и срока службы щелочного аккумулятора в электролит добавляют незначительное количество едкого лития. Часто применяют составной электролит плотностью 1,19—1,21, который можно использовать в широком интервале температур (от -15 до $+35^\circ\text{C}$) с добавлением едкого лития из расчета 20 г на литр раствора.

Аккумулятор заряжается током, численно равным четвертой части номинальной емкости ($I_3 = Q/4\text{A}$) в течение 6 ч, а новый (отработавший до 100 циклов заряд—разряд) — в течение 7 ч.

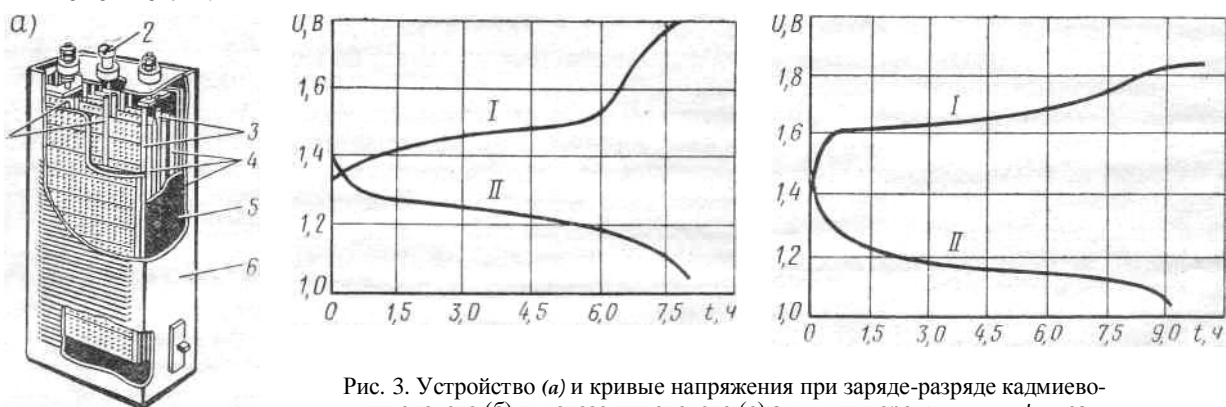


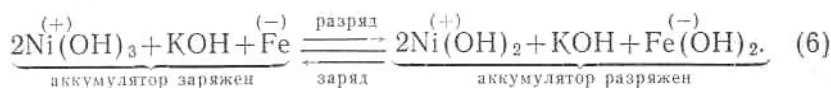
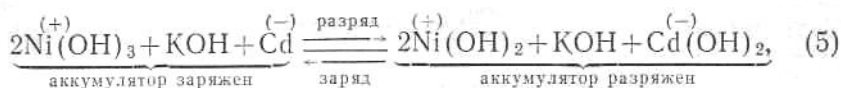
Рис. 3. Устройство (а) и кривые напряжения при заряде-разряде кадмиево-никелевого (б) и железо-никелевого (е) аккумуляторов: I — заряд; II — разряд

Аккумулятор не боится перезаряда, поэтому его лучше перезарядить, чем не дозарядить. Допускается форсированный заряд в течение 4,5 ч, при этом первые 2,5 ч током $I_3 = Q/2\text{A}$, а остальные 2 ч — током $I_3 = Q/4\text{A}$.

Признаками конца заряда аккумулятора является напряжение 1,8—1,85 В и количество ампер-часов, данных ему при заряде, которое должно составлять 150% номинальной емкости аккумулятора, т. е. емкости при температуре электролита $+25^\circ\text{C}$. При разряде и заряде плотность электролита остается неизменной, так как едкий калий в химических реакциях не участвует.

Реакцию разряда и заряда кадмиево-никелевых и железо-никелевых аккумуляторов можно

выразить следующими уравнениями:



На рис. 3, б, в приведены кривые изменения напряжения щелочных аккумуляторов при заряде и разряде.

В начале заряда напряжение кадмиево-никелевого аккумулятора быстро достигает 1,43 В, а затем постепенно повышается до 1,5—1,6 В. При получении $\frac{2}{3}$ емкости напряжение быстро поднимается до 1,7—1,75 В, после чего медленно возрастает до 1,8—1,85 В, при дальнейшем заряде в течение 20—30 мин остается неизменным.

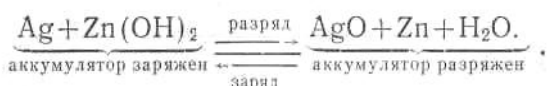
У железо-никелевого аккумулятора напряжение в начале заряда быстро поднимается до 1,6 В, затем медленно повышается до 1,7—1,75 В, а в конце заряда, в результате покрытия пластин пузырьками газов, быстро увеличивается до 1,85 В.

В начале разряда напряжение кадмиево-никелевого аккумулятора ниже, чем железо-никелевого, но конец разряда характеризуется более медленным падением напряжения. Наименьшим допустимым напряжением щелочного аккумулятора при нормальном восьмичасовом разряде является 1,1 В; при трехчасовом — 0,8 В, а при одночасовом — 0,5 В.

Внутреннее сопротивление щелочных аккумуляторов гораздо больше, чем кислотных, и составляет 0,03—0,06 Ом, поэтому они менее чувствительны к коротким замыканиям, но падение напряжения и потери энергии в них больше. Коэффициент отдачи их составляет 0,6—0,75, а к. п. д. — 0,5—0,6. Емкость аккумуляторов зависит от температуры и незначительно — от силы разрядного тока. Наибольшая емкость будет при температурах от 25 до 45°C.

Серебряно-цинковые аккумуляторы состоят из пластмассовой банки, сеточных или проволочных пластин с запрессованной в них активной массой и электролита (раствор едкого калия в дистиллированной воде) плотностью 1,4.

Активной массой положительных пластин является окись серебра AgO, а отрицательных — губчатый цинк. При заряде и разряде плотность электролита неизменна, реакции могут быть представлены в следующем виде:



В начале заряда напряжение быстро повышается до 1,6 В, а потом длительное время почти не изменяется, затем резко увеличивается до 2,1 В.

При разряде номинальным десятичасовым током напряжение держится в пределах 1,85 В около 3 ч, а затем быстро падает до 1 В.

Коэффициент отдачи этих аккумуляторов составляет около 0,99, к. п. д. 0,85. Они допускают быстрый разряд, а поэтому обладают хорошими стартерными свойствами, емкость их почти не зависит от величины разрядного тока и мало уменьшается при низких температурах.

Обслуживание аккумуляторных батарей заключается в правильном вводе их в эксплуатацию, своевременном проведении их заряда, смене электролита и поддержании в чистоте.

Кислотные аккумуляторы поступают с завода-изготовителя в сухом виде (без электролита), причем, пластины их могут быть заряжены или частично разряжены. В первые аккумуляторы заливают электролит эксплуатационной плотности, а во вторые — электролит, плотность которого зависит от материала сепараторов и указана в заводской инструкции.

Для приготовления электролита в посуду наливают дистиллированную воду, а затем медленно, тонкой струей вливают кислоту, непрерывно помешивая эбонитовой или стеклянной палочкой. Лить воду в кислоту категорически запрещается, так как при этом вода вскипает и разбрызгивается вместе с кислотой.

Аккумуляторную кислоту хранят в стеклянной посуде, помещенной в корзины или деревянные

ящики. Однако использовать стеклянную посуду для разведения кислоты не рекомендуется, так как при этом выделяется тепло и стек-ло может лопнуть.

При заливке в аккумуляторы электролит должен быть охлажден до $+20^{\circ}\text{C}$. Заливку и доливку аккумуляторов следует производить с помощью эбонитовой, фарфоровой или стеклянной воронки. Уровень электролита должен быть на 12—35 мм выше верхних кромок пластин. Плотность (удельный вес) электролита замеряют ареометром. Заряженные пластины пропитывают электролитом в течение 2—3 ч, а частично разряженные 4—6 ч, после чего приступают к заряду батареи, предварительно удалив герметизирующие диски из-под пробок или трубочки из вентиляционных отверстий и прочистив отверстия нагретым шилом.

Данные о зарядном токе и продолжительности формовочных циклов для каждой аккумуляторной батареи приводятся в инструкциях.

При заряде температура электролита не должна превышать $+45^{\circ}\text{C}$, в случае превышения следует снизить зарядный ток или прервать заряд и дать охладиться электролиту до $+30^{\circ}\text{C}$.

Сухозаряженные аккумуляторы при необходимости можно ставить без подзарядки в работу после трехчасовой пропитки пластин электролитом плотностью не ниже 1,23.

Батареи, находящиеся в эксплуатации, следует один раз в шесть месяцев подвергать контрольно-тренировочному циклу, который состоит из заряда эксплуатационным током и разряда током десятичасового режима до напряжения 1,8 В на элемент.

Характерные неисправности кислотных аккумуляторов: чрезмерная сульфатация, разрушение пластин, короткое замыкание между пластинами, износ пластин, повреждение бачков и загрязнение электролита.

Причины сульфатации: хранение аккумуляторов в разряженном состоянии более 24 ч; систематический недозаряд; разряд ниже допустимого предела; разряд очень большими токами; большая плотность электролита; понижение уровня электролита; загрязнение электролита и др.

Признаки сульфатации: быстрый заряд и разряд, быстро повышается температура электролита и очень медленно плотность. Сульфатацию частично устраняют специальными циклами заряд-разрядов. Заряд производят слабыми токами ($0,3 I_n$), в этом случае в порах активной массы образуется мало газа, что обеспечивает доступ электролита к сульфату, который переходит в активное вещество. Разрушение пластин (выпадение активной массы) происходит в результате их коробления под действием больших токов или резких ударов. Признаками разрушения пластин могут быть малое время разряда и большое время заряда. Выпавшую активную массу удаляют, промывая аккумулятор дистиллированной водой.

Короткое замыкание возникает в результате коробления пластин, поломки сепараторов, скопления на дне банки осыпавшейся активной массы. Признаки его: пониженное напряжение аккумулятора, медленное повышение плотности, малая емкость и позднее выделение газов при заряде.

Износ пластин происходит от заряда аккумулятора большими токами, применения электролита повышенной плотности; определяется по малой емкости. Аккумуляторы с изношенными пластинами заменяют.

Загрязняется электролит вследствие применения некачественной серной кислоты, водопроводной или дождевой воды, что приводит к газовыделению в неработающем аккумуляторе и усиленному саморазряду. В этом случае заменяют электролит. Очищают аккумулятор от ползучих солей раствором нашатырного спирта или кальцинированной соды (10-процентный раствор).

Щелочные аккумуляторы поступают с завода-изготовителя в сухом виде (без электролита). В аккумуляторы заливают электролит при температуре не более $+30^{\circ}\text{C}$. Подготавливают электролит в чистой чугунной или стеклянной посуде, куда сначала кладут необходимое количество размельченной твердой щелочи, а затем осторожно наливают тонкой струей дистиллированную воду. Едкие щелочи хранят в герметических сосудах, так как они поглощают углекислый газ из воздуха. Если электролит готовят из концентрированного раствора, следует понемногу вливать раствор в воду, размешивая чистой стеклянной палочкой.

Зная (из заводской инструкции) необходимую плотность электролита и его количество в литрах, определяют массу (в кг) твердой щелочи, потребной для приготовления электролита. Необходимое количество электролита следует разделить: а) на 2 при приготовлении раствора едкого калия плотностью 1,25—1,27; б) на 3 — плотностью 1,19—1,21; в) на 5 — плотностью 1,17—1,19.

Составной электролит, представляющий собой смесь едкого калия (натрия) в твердом или жидком концентрированном виде и едкого лития, приготавливают следующим образом: на 1 кг едкого калия в твердом виде следует взять 3 л воды, а на 1 кг едкого натрия — 5 л воды; на 1 л едкого калия в жидком виде плотностью 1,41 следует взять 1 л воды, а на 1 л едкого натрия — 1,5 л воды. В

результате плотность калиевого электролита при температуре +25°C составит 1,19—1,21, а натриевого — 1,17—1,19.

Полученный электролит отстаивают в течение 3—6 ч до полного осветления, а затем заливают в аккумуляторы. После двухчасовой пропитки пластин следует измерить напряжение и уровень электролита в каждом элементе и выполнить формовочные циклы согласно инструкции.

Чтобы предотвратить поглощение углекислоты из воздуха, в каждый элемент щелочной батареи заливают незначительное количество вазелинового масла или, при его отсутствии, керосина.

При смене электролита аккумулятор разряжают восьмичасовым нормальным током до напряжения 1 В, выливают электролит, встряхивая аккумулятор для удаления из него осадков, затем промывают дистиллированной водой. Сразу же заливают аккумулятор новым электролитом и после двухчасовой пропитки проверяют плотность электролита, доводя ее до 1,19—1,21, затем дают усиленный заряд в течение 12 ч двумя ступенями: первые 6 ч нормальным зарядным током, а вторые 6 ч — равным половине нормального.

Усиленный заряд (1 раз в месяц) проводят также и при нормальной эксплуатации.

Характерные неисправности щелочных аккумуляторов:

потеря емкости — в результате насыщения углекислым газом электролита и понижения его уровня, редких усиленных зарядов, длительного использования несоставного электролита, малой плотности электролита, систематических недозарядок, коротких замыканий и утечки тока;

повышенный саморазряд — из-за плохой изоляции между отдельными элементами батареи, примесей в электролите, повышения его температуры и плотности, а также утечки тока;

усиленное выделение газа при разряде или бездействии аккумулятора — вследствие загрязнения электролита вредными металлическими примесями;

малая емкость и сильный нагрев при заряде — в результате большого разрядного или зарядного токов, короткого замыкания элементов выпавшей активной массой;

вспенивание электролита — из-за попадания в электролит органических примесей;

отсутствие выделения газа при заряде — вызывается коротким замыканием или слишком глубоким предшествующим разрядом;

усиленное образование ползучих солей — вследствие высоких уровней электролита или его плотности;

выпучивание стенок банок — при неисправности вентиляционных пробок или преждевременном закрытии их после заряда.

Таким образом, в процессе эксплуатации аккумуляторов необходимо: следить за нормальным уровнем электролита, доливая его дистиллированной водой; очищать элементы от пыли и т. п.; смазывать металлические части вазелином; не разряжать ниже предельных значений напряжений; производить систематический заряд батарей (особенно кислотных); производить регулярную (не реже одного раза в год) смену электролита и т. д.

3. Генераторы постоянного тока - классификация.

На современных предприятиях, судах, заводах, транспорте с электроэнергетической системой постоянного тока в качестве источников электрической энергии используются генераторы постоянного тока. Это такие электромеханические устройства, которые преобразуют механическую энергию первичного двигателя (паровой или газовой турбины, дизеля) в электрическую. *В зависимости от типа первичного двигателя генераторы делятся на турбогенераторы, газогенераторы, дизель-генераторы.* В электроэнергетических системах на переменном токе для питания потребителей постоянного тока используют электромашинные преобразователи, которые представляют собой агрегат, состоящий из приводного двигателя переменного тока и генератора постоянного тока.

По способу возбуждения генераторы постоянного тока делятся на две группы — генераторы независимого возбуждения и генераторы с самовозбуждением. Генераторы с независимым возбуждением разделяются на магнитоэлектрические генераторы и генераторы с электромагнитным возбуждением. У магнитоэлектрических генераторов основной магнитный поток создается постоянными магнитами. В генераторах с электромагнитным возбуждением магнитный поток создается одной или несколькими обмотками возбуждения, расположенными на главных полюсах машины. Обмотка

возбуждения генератора независимого возбуждения получает питание от постороннего источника электрической энергии постоянного тока (рис.1, а).

В генераторах с самовозбуждением обмотки возбуждения получают питание от самого генератора. На возбуждение в зависимости от мощности генератора расходуется (0,3...5)% номинальной мощности.

Генераторы с самовозбуждением в зависимости от способа включения обмоток возбуждения в электрическую цепь машины подразделяются на генераторы параллельного возбуждения (шунтовые) (рис.1, б), генераторы последовательного возбуждения (серисные) (рис.1, в) и генераторы смешанного возбуждения (компаундные) (рис.1, г).

В генераторах параллельного возбуждения обмотка возбуждения включается параллельно обмотке якоря. Обычно эти обмотки выполняются с большим числом витков из проводников небольшого сечения. По ним проходит ток возбуждения, который составляет (1...5)% номинального тока. В этих машинах ток якоря I_a равен сумме токов нагрузки I_n и возбуждения I_b .

Генераторы последовательного возбуждения имеют обмотку возбуждения, включенную последовательно с обмоткой якоря. При этом ток нагрузки I_n , ток якоря I_a и ток возбуждения I_b являются одним и тем же током. Последовательная обмотка рассчитывается на номинальный ток машины и выполняется из проводников большого сечения с небольшим числом витков.

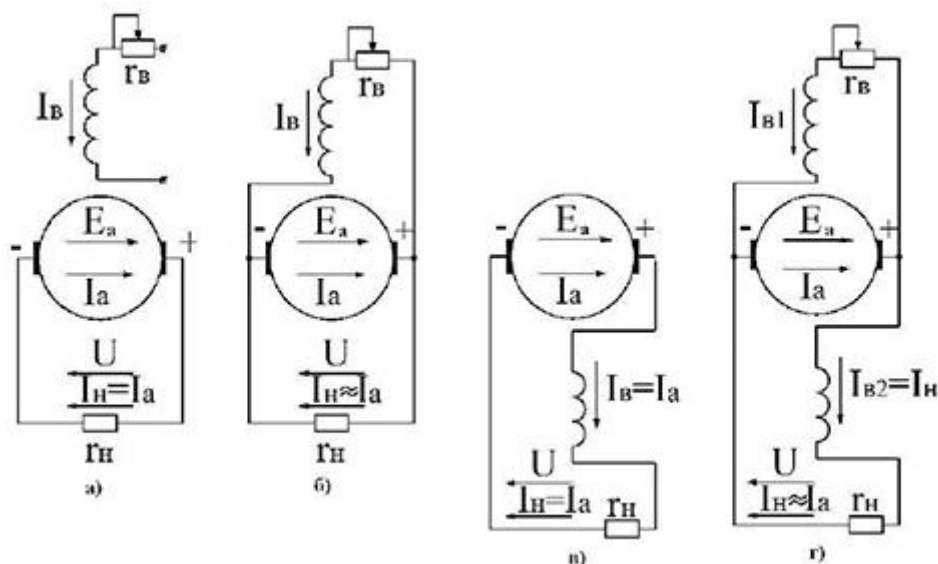


Рис. 1 – Схемы генераторов независимого (а), параллельного (б), последовательного (в), смешанного (г) возбуждения

Генераторы смешанного возбуждения имеют две обмотки возбуждения, параллельную, включенную параллельно обмотке якоря и последовательную, включенную последовательно с обмоткой якоря. Если эти обмотки включены так, что создаваемые ими МДС совпадают по направлению, т.е. складываются, то такое включение называется согласным. Если МДС не совпадают по направлению, т.е. вычитаются, то включение называется встречным. Обычно применяют согласное включение обмоток. У генераторов смешанного возбуждения основная МДС создается параллельной обмоткой.

В цепях обмоток параллельного и независимого возбуждения для регулирования тока возбуждения включают регулировочные реостаты. *В судовых электроэнергетических системах применяют генераторы независимого, параллельного и смешанного возбуждения.*

Уравнение равновесия ЭДС по второму закону Кирхгофа для цепи якоря генератора записывается в виде

$$U = E_a - I_a \Sigma r$$

где I_a – ток в обмотке якоря; $\sum r$ — сумма сопротивлений участков цепи якоря.
В общем случае

$$\sum r = r_a + r_d + r_c + r_k$$

где r_a, r_d, r_c, r_k — сопротивления обмоток якоря, добавочных полюсов, последовательной обмотки возбуждения и компенсационной обмотки.

Поскольку $E_a = c_e n \Phi$, то уравнение электрического равновесия генератора записывается в виде

$$U = c_e n \Phi - I_a \sum r$$

Умножив обе части выражения на ток I_a , получим уравнение мощности генератора

$$U I_a = E_a I_a - I_a^2 \sum r$$

где $U I_a = P_2$ – полезная мощность, отдаваемая генератором подключенным потребителям;

$E_a I_a = P_{эм}$ – электромагнитная мощность генератора; $I_a^2 \sum r = \Delta P_m$ – потери в цепи якоря.

Из первого выражения следует, что ЭДС генератора E_a имеет две составляющие: одна U выводится на зажимы генератора и действует на подключенную нагрузку, а другая $I_a \sum r$ преодолевает омическое сопротивление цепи якоря и называется падением напряжения в якоре генератора. Если все члены уравнения мощности генератора разделить на угловую скорость вращения Ω , то получим уравнение вращающих моментов для установившегося режима работы

$$M_1 = M_{эм} + M_0$$

где

$M_1 = \frac{P_1}{\Omega}$ — вращающий момент первичного двигателя;

$M_{эм} = \frac{P_{эм}}{\Omega}$ — электромагнитный момент генератора;

$M_0 = \frac{P_0}{\Omega}$ — момент холостого хода, соответствующий потерям на трение, потерям в стали и добавочным потерям.

В неуставившихся режимах, когда частота вращения изменяется, возникает также динамический (вращающий) момент

$$M_{дин} = J \frac{d\Omega}{dt}$$

где J — момент инерции вращающихся частей генератора.

Динамический момент соответствует кинетической энергии вращающихся масс. При изменении частоты вращения генераторного агрегата от установившихся значений в сторону увеличения динамический момент оказывает тормозящее действие, т.е. действует согласно

с $M_{эм} + M_0$, а при изменении частоты вращения в сторону уменьшения, момент $M_{дин}$ оказывает ускоряющее действие, т.е. совпадает с первичного двигателя. Следовательно, в общем случае при $n \neq \text{const}$ уравнение моментов будет иметь вид

$$M_1 = M_{эм} + M_0 \pm M_{дин}$$

Уравнение электрического равновесия генератора дает возможность установить зависимость между любыми электрическими величинами в генераторе, т.е. определить характеристики машины. Основными величинами, определяющими режимы работы генераторов, являются:

U , I_a , I_b , n . Генераторы чаще всего работают с постоянной частотой вращения, поэтому основные характеристики снимаются при $n = \text{const}$.

4. Генератор компаунда:

устройство, принцип действия, эксплуатация, техника безопасности в процессе эксплуатации.

Генераторами называют электрические машины, преобразующие механическую энергию в электрическую. Принцип действия электрического генератора основан на использовании явления электромагнитной индукции, которое состоит в следующем. Если в магнитном поле постоянного магнита перемещать проводник так, чтобы он пересекал магнитный поток, то в проводнике возникнет электродвижущая сила (э.д.с.), называемая э.д.с. индукции (Индукция от латинского слова *inductio* — наведение, побуждение), или индуцированной э.д.с.

Электродвижущая сила возникает и в том случае, когда проводник остается неподвижным, а перемещается магнит. Явление возникновения индуцированной э.д.с. в проводнике называется электромагнитной индукцией. Если проводник, в котором индуцируется э.д.с., включить в замкнутую электрическую цепь, то под действием э.д.с. по цепи потечет ток, называемый индуцированным током.

Опытным путем установлено, что величина индуцированной э.д.с., возникающей в проводнике при его движении в магнитном поле, возрастает с увеличением индукции магнитного поля, длины проводника и скорости его перемещения. Индуцированная э.д.с. возникает только тогда, когда проводник пересекает магнитное поле. При движении проводника вдоль магнитных силовых линий э.д.с. в нем не индуцируется. Направление индуцированной э.д.с. и тока проще всего определить по правилу правой руки (рис. 1): если ладонь правой руки держать так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, отогнутый большой палец показывал бы направление движения проводника, то остальные вытянутые пальцы укажут направление действия индуцированной э.д.с. и направление тока в проводнике. Магнитные силовые линии направлены от северного полюса магнита к южному.

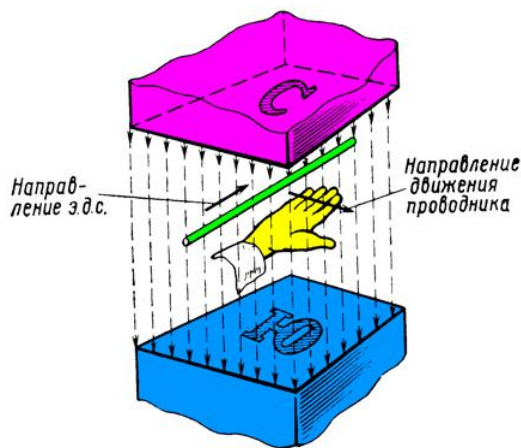


Рис. 1. Определение направления индуцированной э.д.с. по правилу правой руки

Имея общее представление об электромагнитной индукции, рассмотрим принцип действия простейшего генератора (рис. 2). Проводник в виде рамки из медной проволоки укреплен на оси и помещен в магнитное поле. Концы рамки присоединены к двум изолированным одна от другой половинам (полукольцам) одного кольца. Контактные пластины (щетки) скользят по этому кольцу. Такое кольцо, состоящее из изолированных полу колец, называют коллектором, а каждое полукольцо — пластиной коллектора. Щетки на коллекторе должны быть расположены таким образом, чтобы они при вращении рамки одновременно переходили с одного полукольца на другое как раз в те моменты, когда э.д.с., индуцируемая в каждой стороне рамки, равна нулю, т. е. когда рамка проходит свое горизонтальное положение.

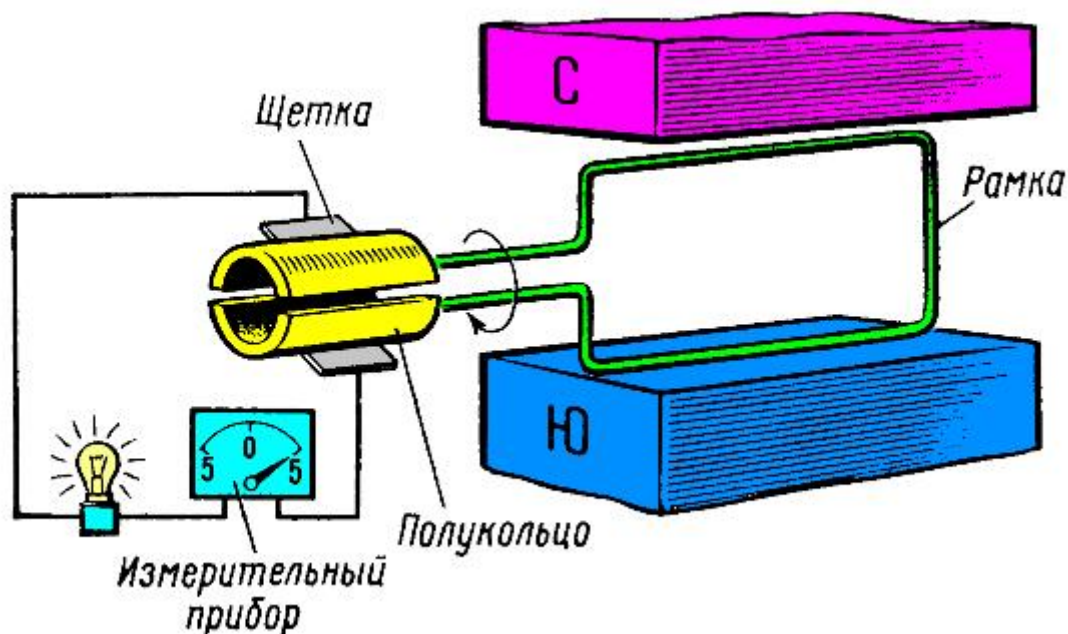


Рис. 2. Простейший генератор постоянного тока

С помощью коллектора переменная э.д.с, индуцируемая в рамке, выпрямляется, и во внешней цепи создается постоянный по направлению ток.

Присоединив к контактным пластинам внешнюю цепь с электроизмерительным прибором, фиксирующим величину индуцируемого тока, убедимся, что рассмотренное устройство действительно является генератором постоянного тока.

В любой момент времени t э.д.с. E (рис. 3), возникающая в рабочей стороне Л рамки, противоположна по направлению э.д.с, возникающей в рабочей стороне Б. Направление э.д.с. в каждой стороне рамки легко определить, воспользовавшись правилом правой руки. Э.д.с, индуцируемая всей рамкой, равна сумме э.д.с, возникающих в каждой ее рабочей стороне. Величина э.д.с в рамке непрерывно изменяется. В то время, когда рамка подходит к своему вертикальному положению, количество силовых линий, пересекаемых проводниками в 1 с, будет наибольшим и в рамке индуцируется максимальная э.д.с. Когда рамка проходит горизонтальное положение, ее рабочие стороны скользят вдоль силовых линий, не пересекая их, и э.д.с. не индуцируется. В период движения стороны Б рамки к южному полюсу магнита (рис.3 , а, б) ток в ней направлен на нас. Этот ток проходит через полукольцо, щетку 2, измерительный прибор к щетке /ив сторону А рамки. В этой стороне рамки ток индуцируется в направлении от нас. Своего наибольшего значения э.д.с. в рамке достигает тогда, когда стороны ее расположены непосредственно под полюсами (рис.3, б).

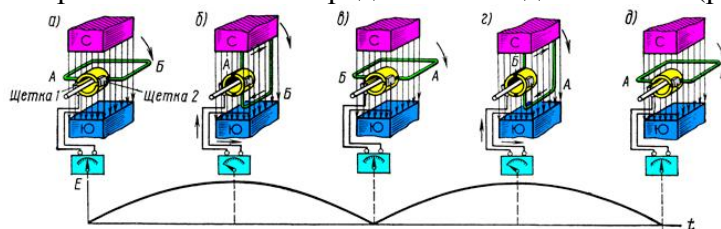


Рис. 3. Схема работы генератора постоянного тока

При дальнейшем вращении рамки э.д.с. в ней убывает и через четверть оборота становится равной нулю (рис. 3, в). В это время щетки переходят с одного полукольца на другое. Таким образом, за первую половину оборота рамки каждое полукольцо коллектора соприкасалось только с одной щеткой. Ток проходил по внешней цепи в одном направлении от щетки 2 к щетке 1. Будем продолжать вращать рамку. Электродвижущая сила в рамке снова начинает возрастать, так как ее рабочие стороны будут пересекать магнитные силовые линии. Однако направление э.д.с. изменяется на противоположное, потому что проводники пересекают магнитный поток в обратном направлении. Ток, индуцируемый в стороне А рамки,

направлен теперь на нас. Но ввиду того, что рамка вращается вместе с коллектором, полукольцо, соединенное со стороной А рамки, соприкасается теперь не со щеткой 1, а со щеткой 2 (рис.3, г) и по внешней цепи проходит ток того же направления, как и во время первой половины оборота. Следовательно, коллектор выпрямляет ток, т. е. обеспечивает прохождение индуцируемого тока во внешней цепи в одном направлении. К концу последней четверти оборота (рис.3, д) рамка возвращается в первоначальное положение (см. рис.3, а), после чего весь процесс изменения тока в цепи повторяется.

Таким образом, между щетками 2 и 1 действует постоянная по направлению э.д.с, и ток по внешней цепи всегда проходит в одном направлении — от щетки 2 к щетке 1. Хотя этот ток остается постоянным по направлению, он меняется по величине, т. е. пульсирует. Такой ток практически трудно использовать.

Рассмотрим, как можно получить ток с небольшой пульсацией, т. е. ток, величина которого при работе генератора мало изменяется. Представим себе генератор, состоящий из двух расположенных перпендикулярно один к другому витков (рис.4). Начало и конец каждого витка присоединены к коллектору, состоящему теперь из четырех коллекторных пластин.

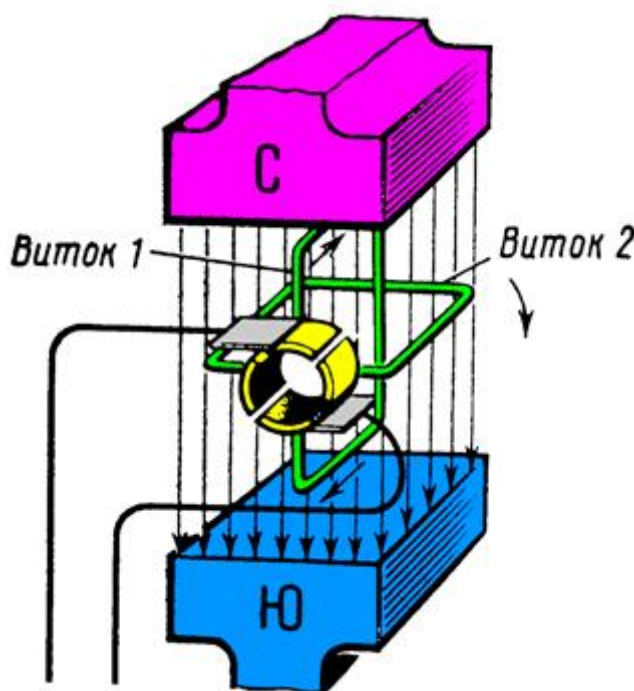


Рис.4. Генератор постоянного тока с двумя витками

При вращении этих витков в магнитном поле в них возникает э.д.с. Однако индуцированные в каждом витке э.д.с. достигают своих нулевых и максимальных значений не одновременно, а позднее одна другой на время, соответствующее повороту витков на четверть полного оборота, т. е. на 90° . В положении, изображенном на рис.4, в витке 1 возникает максимальная э.д.с, равная E_{\max} . В витке 2 э. д. с. не индуцируется, так как его рабочие стороны скользят вдоль магнитных силовых линий, не пересекая их. Величины э.д.с витков показаны на рис.5. По мере поворота витков э.д.с витка 1 убывает. Когда витки повернутся на $1/8$ оборота, э.д.с. витка 1 станет равной E_{\min} . В этот момент происходит переход щеток на вторую пару коллекторных пластин, соединенных с витком 2. Виток 2 уже повернулся на $1/8$ оборота, пересекает магнитные силовые линии и в нем индуцируется э.д.с, равная той же величине E_{\max} . При дальнейшем повороте витков э.д.с. витка 2 возрастает до наибольшей величины E_{\max} . Таким образом, щетки оказываются все время соединенными с витками, в которых индуцируется э.д.с величиной от E_{\min} до E_{\max} .

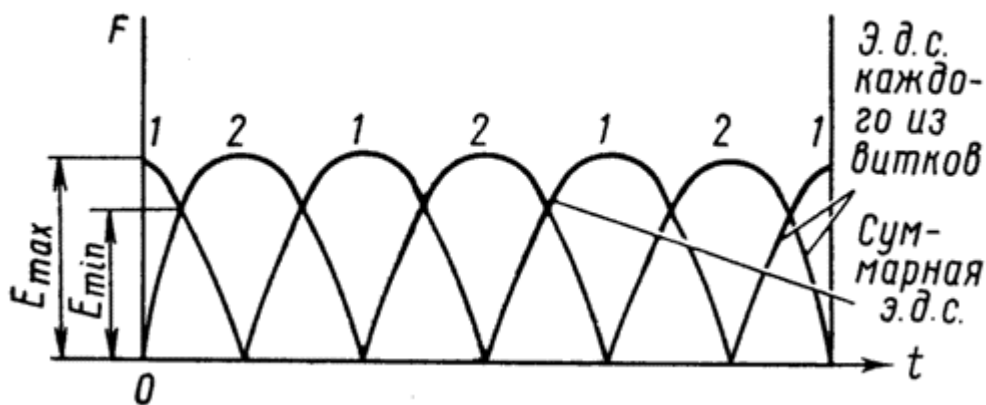


Рис.5. Кривые пульсации электродвижущей силы двухвиткового генератора

Ток во внешней цепи генератора возникает в результате действия суммарной э.д.с. Поэтому он протекает непрерывно и только в одном направлении. Ток, как и прежде, будет пульсирующим, однако пульсация получается значительно меньше, чем при одном витке, так как э.д.с. генератора не снижается до нуля.

Увеличивая число проводников (витков) генератора и соответственно число коллекторных пластин, можно сделать пульсации тока очень малыми, т. е. ток по величине станет практически постоянным. Например, уже при 20 коллекторных пластинах колебания э.д.с. генератора не превысят 1 % среднего значения. Во внешней цепи получим ток, практически постоянный по величине.

Вместе с тем легко видеть, что генератор, изображенный на рис.4, имеет и очень существенный недостаток. В каждый определенный момент времени внешняя цепь присоединена посредством щеток лишь к одному витку генератора. Второй виток в этот же момент времени совершенно не используется. Электродвижущая сила, индуцируемая в одном витке, весьма мала, а значит и мощность генератора будет небольшой.

Для непрерывного использования всех витков их соединяют между собой последовательно. С этой же целью число коллекторных пластин уменьшают до количества витков обмотки. К каждой коллекторной пластине присоединяют конец одного и начало следующего витка обмотки. Витки в этом случае представляют собой последовательно соединенные источники электрического тока и образуют обмотку якоря генератора. Теперь электродвижущая сила генератора равна сумме э.д.с, индуцируемых в витках, включенных между щетками. Кроме последовательной, существуют и другие схемы соединения витков обмотки. Число витков берется достаточно большим, чтобы получить необходимую величину э.д.с. генератора. Поэтому и коллекторы тепловозных электрических машин получают с большим количеством пластин.

Таким образом, благодаря большому числу витков обмотки удастся не только сгладить пульсации напряжения и тока, но и повысить значение индуцируемой генератором э.д.с. Выше был рассмотрен электрический генератор, состоящий из постоянных магнитов и одного или нескольких витков, в которых возникает ток. Для практических целей такие генераторы непригодны, так как от них невозможно получить большую мощность.

Объясняется это тем, что создаваемый постоянным магнитом магнитный поток очень мал. Кроме того, пространство между полюсами создает для магнитного потока значительное сопротивление. Магнитный поток еще более ослабляется. Поэтому в мощных генераторах, к которым относятся и тепловозные, применяются электромагниты, создающие сильный магнитный поток возбуждения (рис.6). Для уменьшения магнитного сопротивления магнитопровода генератора витки обмотки размещают на стальном цилиндре, который заполняет почти все пространство между полюсами.

Этот цилиндр с помещенной на нем обмоткой и коллектором называется якорем генератора.

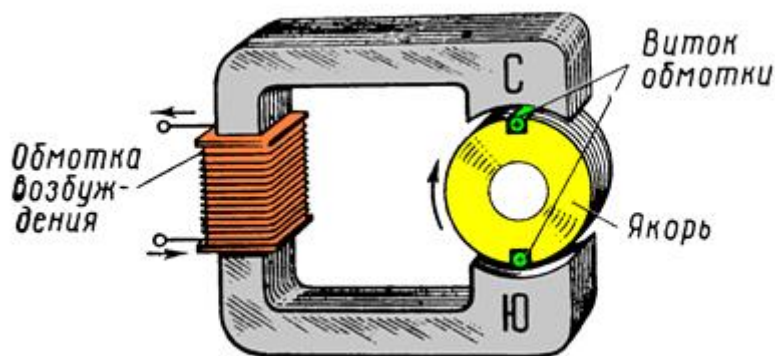


Рис. 6. Схема генератора с электромагнитной системой возбуждения и стальным массивным якорем

Обмотка возбуждения генератора расположена на сердечниках главных полюсов. При прохождении по ней тока создается магнитное поле, называемое полем главных полюсов. При разомкнутой внешней цепи генератора магнитные силовые линии располагаются в полюсах и якоре симметрично вертикальной оси (рис.7, а). Для уяснения особенностей работы электрической машины введем понятия о геометрической и физической нейтральных. Геометрической нейтралью называется линия, проведенная через центр якоря перпендикулярно оси противоположных полюсов (горизонтальная линия 01—01). Физическая нейтраль представляет собой условную линию, которая разделяет зоны влияния северного и южного полюсов на обмотку якоря и проходит перпендикулярно направлению магнитного потока электромашины.

В проводнике обмотки, который при вращении якоря проходит физическую нейтраль, э.д.с. не индуцируется, так как такой проводник скользит вдоль магнитных силовых линий, не пересекая их. В случае отсутствия тока в якоре (см. рис.7, а) физическая нейтраль $n-n$ совпадает с геометрической нейтралью.

Электротехническая промышленность в настоящее время выпускает электрические машины постоянного тока для работы в различных условиях. Корабельные машины имеют особенности конструкции отдельных узлов, но общая конструктивная схема этих машин одинакова. На рисунке (1.4) приведены продольный и поперечный разрез машины нормального исполнения. Машина постоянного тока состоит из 2-х основных частей: неподвижной – статора и вращающейся – якоря. Между ними всегда имеется воздушный зазор.

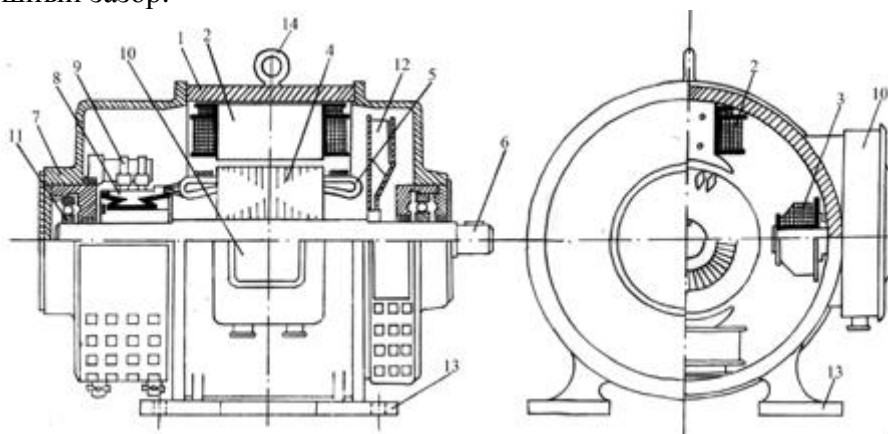


Рис. 1.4 — ДПТ в разрезе

Статор, являющийся индуктором, т.е. такой частью машины, в котором наводится магнитное поле, состоит из станины 1, главных 2 и добавочных 3 полюсов. К статору относятся также подшипниковые щиты 7 с подшипниками 11. На статоре крепятся щеточный аппарат 9 и коробка выводов 10.

Якорь состоит из сердечника якоря 4 и коллектора 8, насаженных на вал 6. В машинах с самовентиляцией на валу крепится вентилятор 12.

Станина – служит в качестве магнитопровода и одновременно является конструктивной основой, к которой крепятся главные и добавочные полюсы и подшипниковые щиты. Она представляет собой полый цилиндр, отлитый или сваренный из чугуна или стали. У крупных машин станина делается разъемной. На кораблях для удобства обслуживания и ремонта применяются также машины с поворотной станиной. Часть станины, по которой замыкаются магнитные потоки главных и добавочных полюсов, называется ярмом 1. Вместе со станиной отливаются лапы 13 для крепления машины к фундаменту. На станине устанавливается один или несколько рымов 14 для подъема машины.

Главные полюсы предназначены для создания в машине магнитного потока необходимой величины. Главный полюс (рисунок 1.5) состоит из сердечника 1 и катушек обмоток возбуждения 2,3. Со стороны, обращенной к якорю, сердечник заканчивается полюсным наконечником 4, с помощью которого обеспечивается требуемое распределение магнитной индукции в воздушном зазоре.

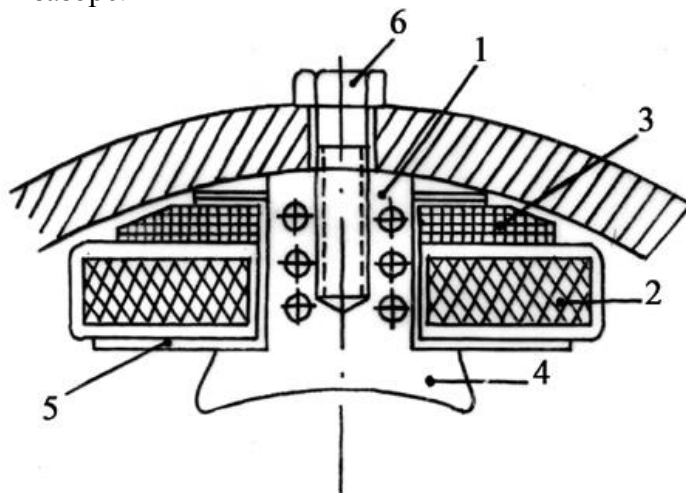


Рисунок 1.5

Сердечник полюсов набирается из листов электротехнической стали толщиной $0,5 \div 1,0$ мм., покрытых изоляционным лаком для уменьшения потерь от вихревых токов, вызванных пульсацией магнитного потока из-за зубчатости якоря. Листы стали спрессовывают и скрепляют шпильками. Катушки обмоток возбуждения наматываются на изолирующий каркас 5, а затем надеваются на сердечник. По отношению к обмотке якоря обмотки возбуждения могут включаться параллельно или последовательно. Катушки параллельной обмотки 2 состоят из большого числа витков провода малого сечения. Катушки последовательной обмотки 3 состоят из малого числа витков провода большого сечения, по которым проходит большой ток якоря. Для улучшения изоляции катушки компаундируют, т.е. пропитывают изоляционными лаками (компаундами) в вакууме при повышенной температуре, а затем сушат в специальных печах. Полюс в собранном виде крепится к станине болтами 6.

Добавочные полюсы служат для улучшения коммутации машины, т.е. обеспечивают безыскровую работу щеток и коллектора. Они состоят из сердечника 1 и полюсной катушки 5 (рисунок 1.6) и устанавливаются между главными полюсами по линии геометрической нейтрали. Сердечник имеет наконечник 2 определенной формы. Катушка изготавливается из полосовой меди большого сечения, так как она включается последовательно в цепь якоря и по ней проходит большой ток. Величина зазора δ между полюсом и якорем регулируется при наладке работы машины с помощью магнитных и немагнитных прокладок 4 между полюсом и станиной. Добавочные полюсы крепятся к станине болтами 3.

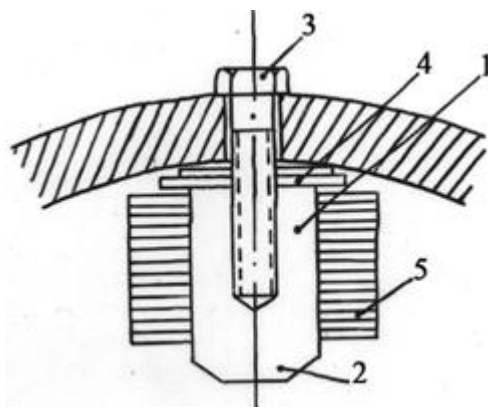


Рисунок 1.6

Якорь состоит из сердечника магнитопровода, обмотки 5, вала 6 и конструктивных деталей для их крепления.

Сердечник якоря представляет собой стальной цилиндр, набранный из штампованных листов 1 (рисунок 1.7) электротехнической стали толщиной 0,5 мм, которые изолируются друг от друга лаком для уменьшения потерь от вихревых токов.

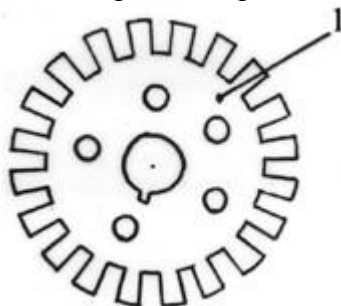


Рисунок 1.7

В листах штампуются пазы для размещения в них обмотки якоря и отверстия для насаживания сердечника на вал якоря, для стяжных шпилек и осевой вентиляции. Пакет железа якоря крепится на валу шпонкой, а с торцов стягивается нажимными кольцами. В больших машинах якорь состоит из нескольких пакетов штампованных листов, между которыми делаются промежутки для лучшего охлаждения машины (радиальная вентиляция). Часть сердечника якоря, занятая пазами, называется зубцовой зоной.

Обмотка якоря выполняется из изолированного провода круглого или прямоугольного сечения. Она состоит из отдельных элементов – секций (рисунок 1.8), образованных из одного или нескольких витков.

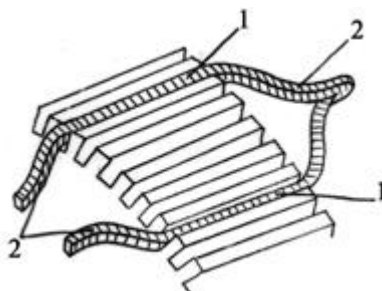


Рисунок 1.8

Секции изготавливаются по шаблонам. Часть секции 1, заложённая в пазы сердечника якоря, называется пазовой или активной частью. Часть секции 2, расположенная вне сердечника – в воздухе и соединяющая активные части, называется лобовой частью (лобовые соединения). Концы секций припаиваются к коллекторным пластинам. Для крепления секций в пазах применяются деревянные, гетинаксовые или текстолитовые клинья. Кроме витковой изоляции обмотка имеет пазовую изоляцию от сердечника. Лобовые части закрепляются с помощью проволочного бандажа.

Электроизоляционные материалы, применяемые для изоляции обмоток, по степени термостойкости делятся на классы, которые допускают определенную температуру нагрева. В машинах постоянного тока применяются в основном классы А, В, С и Н. Коллектор (рисунок 1.9) набирается из медных пластин 1, изолированных друг от друга и от вала, на котором он крепится, с помощью миканитовых прокладок 8 и манжет 5,7. Состороны, обращенной к валу, пластины имеют форму ласточкиного хвоста 2. В два конусообразных углубления коллектора вставляются изолированные нажимные конусы 3,4, которые стягивают коллекторные пластины в осевом направлении. В собранном виде коллектор спрессовывают в горячем состоянии, после чего обтачивают для придания ему строго цилиндрической формы. В зависимости от размера якоря и коллектора концы секций обмотки впаиваются в коллекторные пластины непосредственно или через спецы

Коллектор (рисунок 1.9) набирается из медных пластин 1, изолированных друг от друга и от вала, на котором он крепится, с помощью миканитовых прокладок 8 и манжет 5,7. Состороны, обращенной к валу, пластины имеют форму ласточкиного хвоста 2.

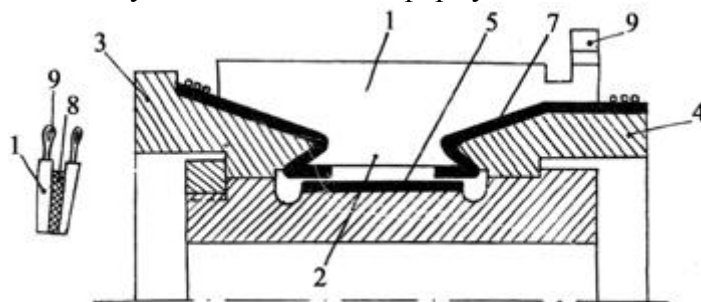


Рисунок 1.9

В два конусообразных углубления коллектора вставляются изолированные нажимные конусы 3,4, которые стягивают коллекторные пластины в осевом направлении. В собранном виде коллектор спрессовывают в горячем состоянии, после чего обтачивают для придания ему строго цилиндрической формы. В зависимости от размера якоря и коллектора концы секций обмотки впаиваются в коллекторные пластины непосредственно или через специальные медные соединения – петушки 9. Коллектор жестко крепится на валу ротора рядом с сердечником якоря.

Щеточное устройство– предназначено для обеспечения электрической связи между неподвижными зажимами, соединенными с внешней цепью, и вращающейся обмоткой якоря (через коллектор) (рисунок 1.10).

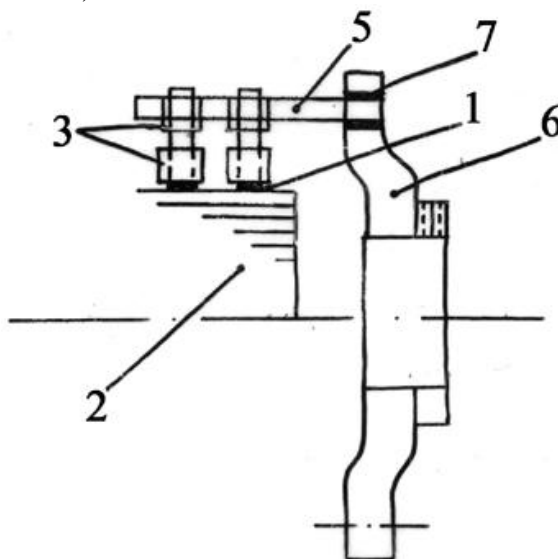


Рисунок 1.10

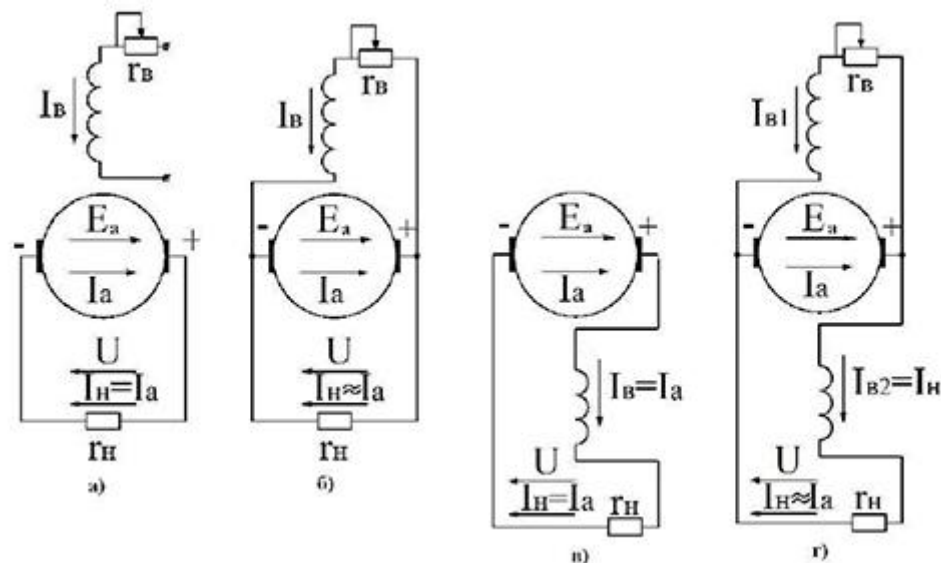
Оно состоит из щеток 1, щеткодержателей 3, пальцев 5, траверсы 6 и соединительных шин. Непосредственный контакт с коллектором 2 имеет щетка. Она выполняется обычно из специальным образом обработанной смеси угля, графита и других компонентов в виде

прямоугольной призмы и помещается в обойму щеткодержателя 4. Щетка может перемещаться в обойме в радиальном по отношению к коллектору направлении и для плотного прилегания прижимается к нему пружиной через нажимной рычаг. Щеткодержатели крепятся к пальцам 5, которые заделываются в траверсу 6 через изоляционные втулки 7. На одном пальце может быть от 2 до 10 щеток, которые для равномерного износа коллектора располагаются на его поверхности в шахматном порядке и соединяются с пальцами медными гибкими тросиками. Число пальцев всегда равно числу главных полюсов. Пальцы, имеющие одинаковую полярность, соединяются посредством соединительной шины, от которой делается отвод в клемную коробку машины или к обмотке дополнительного полюса.

Траверса может крепиться к подшипниковым щитам, станине или фундаментной плите. Крепление позволяет поворачивать всю систему щеток относительно станины.

Клемная коробка. В клемной коробке устанавливается изоляционная панель с клеммами, к которым подсоединяются выводы обмоток машины для соединения с внешней электрической сетью.

Генератор смешанного возбуждения имеет параллельную и последовательную обмотки возбуждения, поэтому он совмещает в себе свойства генераторов обоих типов (рисунок 1г). Обмотки возбуждения могут включаться согласно или встречно. При согласном включении обмоток возбуждения МДС обеих обмоток направлены в одну сторону и при увеличении нагрузки магнитный поток увеличивается. При встречном включении МДС обмоток направлены встречно и результирующий магнитный поток при увеличении нагрузки уменьшается. Как правило, применяется согласное включение обмоток возбуждения, при этом главную роль играет параллельная обмотка возбуждения. Последовательная обмотка предназначена для компенсации МДС реакции якоря и падения напряжения в цепи якоря при определенной нагрузке. Этим достигается практически постоянное по величине напряжение генератора в определенных пределах изменения тока



нагрузки.

Характеристика холостого хода генератора смешанного возбуждения ничем не отличается от характеристики генератора параллельного возбуждения т.к. на холостом ходу ток в последовательной обмотке равен нулю и генератор работает как параллельный.

Нагрузочные характеристики $U=f(I_в)$ при $I=const$ и $n=const$ (рис. 1) имеют аналогичный вид, что и у генератора независимого возбуждения. Однако при согласном включении последовательной обмотки нагрузочная характеристика генератора смешанного возбуждения (кривая 2) пойдет выше, чем такая же характеристика генератора независимого или параллельного возбуждения (кривая 3).

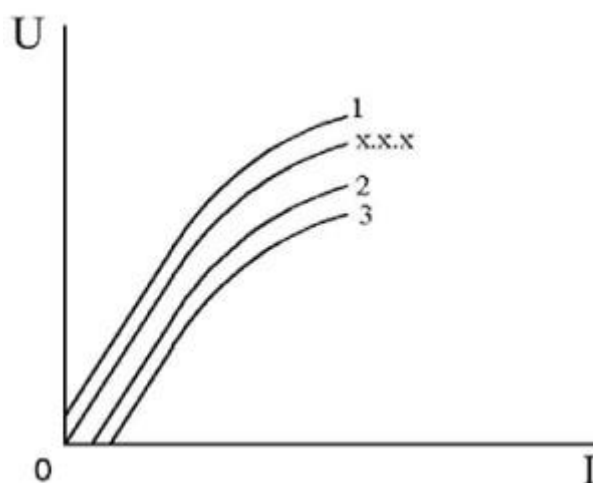


Рис. 1 – Нагрузочные характеристики генератора смешанного возбуждения

При достаточно сильной последовательной обмотке возбуждения нагрузочная характеристика может располагаться выше характеристики холостого хода (кривая 1). В последнем случае действие последовательной обмотки возбуждения можно рассматривать как подмагничивающую реакцию якоря.

Внешняя характеристика $U=f(I)$ при $r_b=\text{const}$ и $n=\text{const}$ (рис. 2). Вид характеристики зависит от числа ампер-витков последовательной обмотки возбуждения.

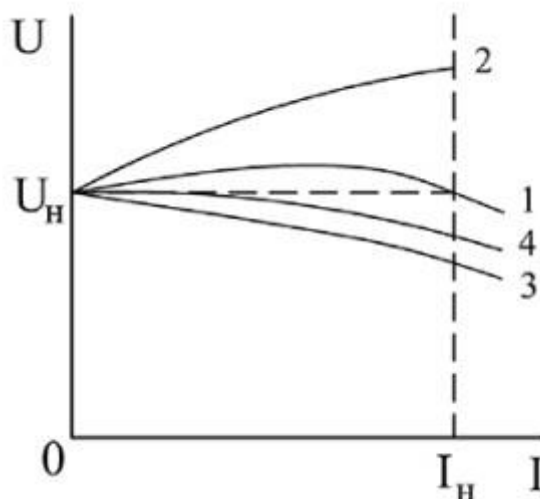


Рис. 2 – Внешние характеристики генератора смешанного возбуждения

При согласном включении можно рассчитать последовательную обмотку так, чтобы напряжение генератора U при токе I_b было равно номинальному напряжению U_n , т.е. в этом режиме МДС последовательной обмотки полностью компенсирует размагничивающее действие реакции якоря и падение напряжения в цепи якоря. Поэтому у такого генератора по мере увеличения тока нагрузки напряжение на зажимах изменяется незначительно (кривая 1).

Для поддержания постоянного напряжения на зажимах приемников электроэнергии необходимо скомпенсировать еще и падение напряжения в линии электропередачи, действие реакции якоря и падение напряжения в цепи якоря. В этом случае усиливают последовательную обмотку и внешняя характеристика такого перекомпаундированного генератора будет иметь вид кривой 2. Если обмотки возбуждения включены встречно, то напряжение генератора при росте нагрузки будет резко падать (кривая 3). Генератор называют в этом случае противокомпаундным. Такое включение используют в сварочных генераторах. Для сравнения на рисунке 2.12 дана характеристика генератора параллельного возбуждения (кривая 4).

Регулировочная характеристика $I_b = f(I)$ при $U = \text{const}$ и $n = \text{const}$ (рис. 3). Для нормально-компаундированного генератора (кривая 1) ток возбуждения в параллельной обмотке при изменении нагрузки от $I=0$ до $I=I_n$ должен изменяться незначительно, т.к. размагничивающее действие реакции якоря и падение напряжения в цепи якоря компенсируется последовательной обмоткой.

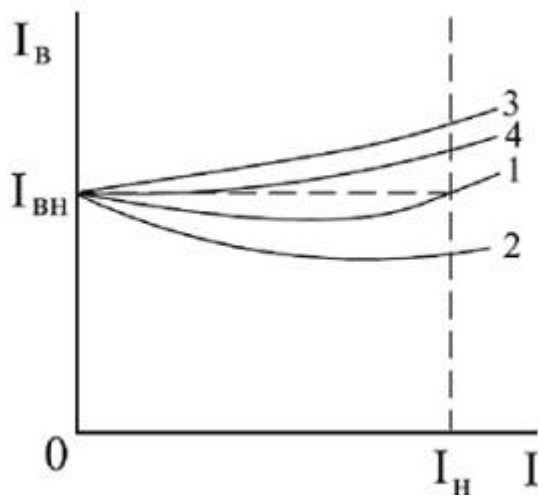


Рис. 3 – Регулировочные характеристики генератора смешанного возбуждения

В перекомпаундированном генераторе (кривая 2) при росте нагрузки необходимо даже снижать ток возбуждения, т.к. в таком генераторе с ростом нагрузки поток будет увеличиваться за счет увеличения МДС последовательной обмотки.

В противокомпаундном генераторе для поддержания $U = \text{const}$ с ростом нагрузки необходимо резко увеличивать ток возбуждения I_b в параллельной обмотке (кривая 3). Для сравнения на рис.3, показана регулировочная характеристика генератора параллельного возбуждения (кривая 4).

Характеристика короткого замыкания. Эта характеристика может быть снята только при питании параллельной обмотки возбуждения от постороннего источника питания и при встречном включении последовательной обмотки, т.к. при согласном включении возникает недопустимо большой ток короткого замыкания. Если затем снять характеристику короткого замыкания с отключенной последовательной обмоткой, то можно определить МДС этой обмотки и теоретически построить характеристику короткого замыкания для случая согласного включения обмоток.

5. Параллельная работа генераторов компаундов.

Случается так, что возникает необходимость подключения второго генератора на параллельную работу. К примеру в судовых электроэнергетических системах с целью увеличения живучести устанавливаются два или более генераторов. Суммарная мощность генераторов всегда несколько больше суммарной мощности всех потребителей. Установка нескольких генераторов повышает живучесть и экономичность установки, дает возможность проводить плановые осмотры и ремонты генераторов, выводя их поочередно из действия.

Судовые генераторы могут работать раздельно, без электрической связи между собой, или совместно, при параллельном соединении. Различают кратковременную и длительную параллельную работу генераторов. Кратковременная параллельная работа предназначена для плавного перевода нагрузки с одного генератора на другой с последующим отключением первого генератора или раздельной их работы. Совместная параллельная работа генераторов имеет ряд преимуществ:

1) перевод нагрузки с одного генератора на другой осуществляется плавно, без перерыва питания;

- 2) обеспечивается бесперебойность питания потребителей при выходе из строя одного из генераторов;
- 3) обеспечивается более высокое качество электроэнергии (меньше колебания напряжения);
- 4) возможность поочередного проведения технических осмотров и ремонтов генераторов.

К недостаткам параллельной работы генераторов следует отнести:

- 1) усложнение схемы включения и управления генераторами;
- 2) значительное увеличение тока при коротких замыканиях в электроэнергетической системе.

Рассмотрим параллельную работу генераторов постоянного тока параллельного и смешанного возбуждения, т.к. генераторы последовательного возбуждения в таком режиме обычно не применяются, а в параллельной работе генераторов параллельного и независимого возбуждения практически различий нет.

Условия включения генераторов параллельного возбуждения на параллельную работу можно сформулировать так:

1. Полярность зажимов работающего и подключаемого генератора должна быть одинаковой.
2. ЭДС подключаемого генератора должна быть равна напряжению сети, к которой он подключается.

При выполнении этих условий ток генератора Γ_2 будет равен нулю, а режим генератора Γ_1 не изменится, так как

$$I_{a2} = \frac{E_{a2} - U}{r_{a2}} = 0.$$

Если включить генератор Γ_2 с неправильной полярностью, то в замкнутой цепи, образованной якорями обоих генераторов и шинами, их ЭДС будут складываться и так как сопротивление этой цепи очень мало, то возникает очень большой ток, что может привести к аварии генераторов.

Особенности параллельной работы генераторов смешанного возбуждения. Принципиальная схема включения генераторов смешанного возбуждения при параллельной работе представлена на рис. 3.

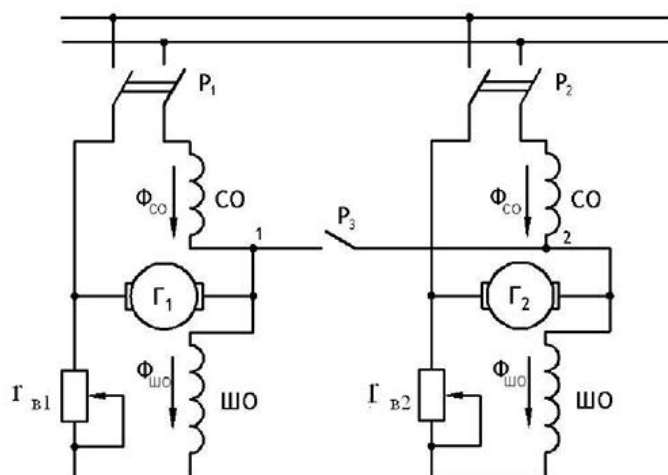


Рис. 3 — Схема параллельной работы генераторов смешанного возбуждения

Ее отличительная особенность состоит в том, что точки (1) и (2), в которых последовательные обмотки возбуждения подключены к одноименным зажимам якоря, соединены между собой уравнительным проводом.

Уравнильный провод позволяет обеспечить устойчивую параллельную работу генераторов. Чтобы уяснить необходимость уравнильного провода, рассмотрим параллельную работу генераторов смешанного возбуждения без уравнильного провода. Допустим, что работают два генератора одинаковой мощности, с одинаковой частотой вращения, одинаковым внутренним сопротивлением $r_{a1} = r_{a2}$, нагрузки, ЭДС и магнитные потоки их также равны.

Если по какой-либо причине скорость одного, например, первого генератора, возрастает, то это вызовет увеличение его ЭДС E_{a1} , а следовательно и увеличение тока нагрузки на этот генератор. Благодаря наличию последовательной обмотки, рост нагрузки влечет за собой увеличение результирующего магнитного потока этого генератора, что приводит к еще большему возрастанию ЭДС, а соответственно и тока и т.д. В результате нагрузка данного генератора будет возрастать, а у второго генератора уменьшаться, вплоть до его перехода в двигательный режим, что опасно для обоих генераторов.

В дальнейшем чрезмерное увеличение нагрузки на первом генераторе вызывает снижение его частоты вращения, а следовательно и ЭДС. Нагрузка начинает переходить на второй генератор, т.е. его обороты будут стремиться к увеличению. Таким образом возникает колебательный процесс перехода нагрузки с одного генератора на другой и параллельная работа получается неустойчивой.

При наличии уравнильного провода 1-2 (рис. 3), последовательные обмотки оказываются включенными параллельно. Следовательно, их токи всегда находятся в одном и том же отношении, определяемом сопротивлениями этих обмоток.

Если теперь почему-либо ЭДС E_{a1} генератора G_1 станет больше ЭДС E_{a2} генератора G_2 , то в цепи между якорями возникает уравнильный ток, величина которого определяется выражением

$$I_{\text{уп}} = \frac{E_{a1} - E_{a2}}{r_{a1} + r_{a2}}$$

Таким образом, при увеличении ЭДС, а следовательно и тока в последовательной обмотке одного генератора в том же отношении увеличится ток и в последовательной обмотке другого генератора. В соответствии с этим одновременно увеличатся ЭДС и нагрузочные токи обоих генераторов и колебательный процесс происходить не будет. Это равенство токов в последовательных обмотках будет сохраняться при любой нагрузке. Если параллельно работают генераторы разной мощности, то сопротивления их последовательных обмоток будут не равны, поэтому токи в этих обмотках будут распределяться обратно пропорционально их сопротивлениям. Однако в любом случае изменение тока в одном генераторе приведет к изменению тока в другом и колебательный процесс происходить не будет. В этих условиях параллельная работа генераторов смешанного возбуждения становится вполне устойчивой.

Прием и распределение нагрузки в генераторах смешанного возбуждения производится как в генераторах параллельного возбуждения путем изменения тока в параллельных обмотках возбуждения.

6. Распределение нагрузки генераторов постоянного тока, что работают параллельно.

После подключения генератора G_2 к сети, можно принимать на него нагрузку. Для двух работающих параллельно генераторов уравнения равновесия напряжений цепи якоря можно представить в виде

$$E_{a1} - I_{a1} r_{a1} = U = E_{a2} - I_{a2} r_{a2}$$

откуда получаются соотношения для токов нагрузки

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E_{a1} - U}{r_{a1}} = \frac{c_{e1} n_1 \Phi_1 - U}{r_{a1}} \\ I_2 &= \frac{E_{a2} - U}{r_{a2}} = \frac{c_{e2} n_2 \Phi_2 - U}{r_{a2}} \end{aligned} \right\}$$

Из системы уравнений видно, что для принятия нагрузки на генераторы нужно увеличивать ЭДС, которые можно изменять либо изменением числа оборотов генератора, либо изменением тока возбуждения. Обычно частота вращения генераторов поддерживается постоянной с помощью автоматического регулятора скорости (АРС) и на практике **ЭДС генераторов регулируют изменением тока возбуждения.**

Для принятия нагрузки на генератор Γ_2 нужно увеличить ток $I_{в2}$ путем уменьшения сопротивления $r_{в2}$ в цепи возбуждения. ЭДС E_{a2} становится больше напряжения U , в результате чего в якоре генератора Γ_2 возникает ток I_2 . Если ток нагрузки не изменяется, то с появлением тока I_2 ток I_1 уменьшается. Если E_{a1} при этом не изменять, то $E_{a1} - I_1 r_{a1}$ становится больше и напряжение на шинах начинает расти. Поэтому для поддержания $U = \text{const}$ одновременно с увеличением E_{a2} нужно уменьшать E_{a1} путем уменьшения тока возбуждения $I_{в1}$ в цепи возбуждения генератора Γ_1 . Таким образом можно перевести часть или всю нагрузку с генератора Γ_1 на генератор Γ_2 . Следует отметить, что при переводе нагрузки изменяются токи генераторов, а следовательно, изменяются и их мощности. При этом нарушается баланс мощностей генераторов и их первичных двигателей, в результате чего изменяются частоты вращения генераторов. Для поддержания числа оборотов постоянными включаются в работу АРС, которые изменяют подачу топлива, пара и т.д. в первичный двигатель и восстанавливают прежнюю частоту вращения.

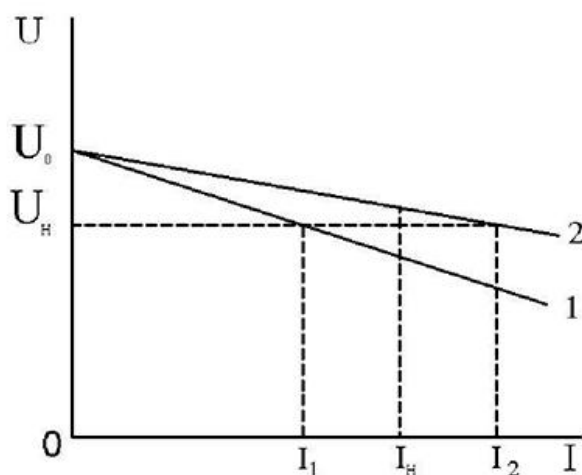


Рис. 2 — Внешние характеристики генераторов

Как правило, в качестве генераторов для параллельной работы выбираются машины равной мощности, внешние характеристики которых совпадают. Тогда можно нагружать генераторы равномерно при одинаковом токе возбуждения. Если внешние характеристики не совпадают, то генераторы при параллельной работе нагружаются разными токами. На рис.2 показаны внешние характеристики двух генераторов, имеющие разный наклон. Допустим, что оба генератора включены параллельно и работают на холостом ходу с напряжением U_0 . При включении на них номинальной нагрузки равной $2I_H$ на шинах устанавливается номинальное напряжение U_H .

Этому напряжению по внешним характеристикам соответствуют токи нагрузки генераторов I_1 и I_2 , причем $I_1 + I_2 = 2I_n$. Как видим, генератор, имеющий более «мягкую» характеристику (1), оказывается недогруженным, а с более «жесткой» характеристикой (2) перегружен. В этом случае для равномерной нагрузки обоих генераторов необходимо увеличивать ток возбуждения первого генератора и уменьшать его у второго генератора до уравнивания токов I_1 и I_2 .

Если генераторы имеют различные мощности и предназначены для параллельной работы, то для пропорционального распределения нагрузки соответственно их мощностям без регулирования тока возбуждения, необходимо, чтобы совпадали их относительные характеристики. В этом случае нагрузка будет распределяться пропорционально номинальным мощностям генераторов.

7. Защиты генераторов постоянного тока.

Для генераторов, предназначенных для параллельной работы, должны быть установлены по крайней мере следующие устройства защиты:

- . 1 от перегрузок;
- . 2 от короткого замыкания;
- . 3 от обратного тока или от обратной мощности;
- . 4 от минимального напряжения.

Следует применять такие устройства защиты генераторов от перегрузок, которые имеют световую и звуковую сигнализацию о перегрузке, действующую с выдержкой до 15 мин для нагрузок от 100 до 110 % номинального тока, и выключение генераторов с выдержкой времени, соответствующей термической постоянной времени защищаемого генератора для нагрузок в пределах от 110 до 150 % номинального тока. Следует, чтобы для уставки защиты на 150 % номинального тока генератора выдержка не превышала 2 мин для генератора переменного тока и 15 с для генератора постоянного тока. Перегрузка свыше 150 % номинального тока генератора может быть допущена там, где это требуется условиями эксплуатации и допускается конструкцией генератора.

Уставки защиты от перегрузки и выдержки времени должны быть подобраны к перегрузочным характеристикам приводного двигателя генератора таким образом, чтобы двигатель мог в течение принятой выдержки времени развивать необходимую мощность. Для защиты генератора от перегрузки не должны применяться защитные устройства, которые исключают немедленное повторное включение генератора.

Должно быть предусмотрено автоматическое и избирательное отключение ответственных устройств при перегрузке генераторов. Отключение этих устройств может быть выполнено в одну или несколько ступеней соответственно перегрузочной способности генератора.

При этом:

- . 1 не допускается автоматическое отключение ответственных устройств первой категории;
- . 2 допускается автоматическое отключение отдельных ответственных устройств второй категории при условии, что при восстановлении нормального электроснабжения после перегрузки сохраняется работоспособность устройств, обеспечивающих безопасность судна;
- . 3 допускается автоматическое отключение устройств, предназначенных для поддержания минимальных комфортных условий обитаемости на судне для экипажа и пассажиров.

Примером таких устройств являются: устройства для приготовления пищи, устройства для обогрева, провизионная холодильная установка, приводы бытовой вентиляции,

устройства систем водоснабжения и санитарных систем, ит. п.

Это требование может не применяться для судов с электрической установкой малой мощности.

8.2.4 Защита генераторов, предназначенных для параллельной работы, от обратного тока или от обратной мощности должна быть подобрана к характеристикам приводного двигателя.

Пределы уставок указанных видов защиты должны соответствовать приведенным в табл. 8 . 2 .

4. Время срабатывания данных видов защиты при уставках, указанных в таблице, не должно превышать 1 0 с.

Защита генераторов постоянного тока от обратного тока должна устанавливаться в полюсе, противоположном тому, в котором находится уравнильный провод. При снижении приложенного напряжения на 5 0 % защита от обратной мощности или от обратного тока должна быть еще способна к действию, хотя значение обратного тока или обратной мощности могут быть другими. Защита от обратного тока и от обратной мощности должна обеспечивать возможность передачи мощности, отдаваемой из судовой сети (например, от грузовых лебедок).

8.2.5 Защита от минимального напряжения должна обеспечивать возможность надежного подключения генераторов к шинам при напряжении 8 5 % и более номинального и исключить возможность подключения генераторов к шинам при напряжении менее 35 % номинального, а также отключать генераторы при снижении напряжения на их зажимах в пределах от 7 0 до 3 5 % номинального. Защита от минимального напряжения должна действовать с выдержкой времени на отключение генераторов от шин при снижении напряжения и должна действовать без выдержки времени при попытке подключения к шинам генератора до достижения указанного выше минимального напряжения.

8.2.6 Для генераторов мощностью 1000 кВ·А и более рекомендуется устанавливать защиту от внутренних повреждений и защиту токопровода между генератором и его щитом с выключателем. Если генератор и его щит установлены в разных помещениях, такая защита обязательна.

8.2.7 Если генератор постоянного тока с приводом от турбины предназначен для параллельной работы, должно быть предусмотрено отключение автоматического выключателя генератора при срабатывании автомата безопасности турбины.

Род тока	Пределы уставок защиты от обратного тока или от обратной мощности в зависимости от привода генератора	
	Турбина	Двигатель внутреннего сгорания
Переменный	2 — 6 % номинальной мощности генератора, кВт	8 — 15 % номинальной мощности генератора, кВт
Постоянный	2 — 6 % номинального тока генератора, А	8 — 15 % номинального тока генератора, А

8. Особенности работы коллектора и щеточного аппарата генераторов постоянного тока.

1. Механические, приводят к искрению из-за нарушения или ухудшения скользящего контакта. Они связаны с неисправностью коллектора и щеточного аппарата. К ним относятся: неровность поверхности коллектора, его эксцентричность, выступание изоляции между пластинами, плохая балансировка, плохое крепление траверсы или щеткодержателей, неправильный выбор марки щеток, слабое нажатие щеток, плохая притирка щеток к коллектору и пр.

2. Потенциальные, вызываемые неравномерным распределением напряжения на коллекторе. Если напряжение между соседними коллекторными пластинами превысит определенное значение, то может возникнуть искрение из-за электрического пробоя изоляционных промежутков между пластинами. При нагрузке машины, из-за поперечной реакции якоря, распределение магнитной индукции, а, следовательно, и распределения напряжения между коллекторными пластинами приобретает резко неравномерный характер. Вследствие этого напряжение между соседними пластинами может достигнуть больших значений. Эти значительные напряжения могут привести к проскакиванию искр между соседними пластинами и даже к перекрытию их другой. Максимально допустимое напряжение между соседними коллекторными пластинами в зависимости от мощности машины 25–60 В.

3. Коммутационные, определяются соотношением ЭДС в коммутирующей секции. При значительном преобладании неактивной ЭДС коммутирующая секция имеет значительный запас электромагнитной энергии

$$L_k \frac{i_k^2}{2}$$

В момент сбегающей щетки с коллекторной пластины происходит разрыв коммутирующей цепи. Разряд электромагнитной энергии секции и является причиной искрения. Искрению способствует также нагрев краев щетки в результате неравномерного распределения плотности тока под щеткой.

При выявлении причин искрения полезным может оказаться наблюдение за цветом искр и характером их образования (таблица 1)

Таблица 1 – Признаки искрообразования

Электромагнитного характера	Механического характера
Цвет искр бело-голубой или желтоватый. Искры располагаются под сбегающим краем щетки.	Цвет искр зеленоватый. Искры располагаются под контактной поверхностью щетки.
Интенсивность искрообразования зависит от нагрузки и возрастает с ее увеличением.	Интенсивность искрообразования не зависит от нагрузки.
Искрообразование возрастает с увеличением нажатия на электрощетку.	Искрообразование ослабевает с увеличением нажатия на электрощетку.
С увеличением окружной скорости якоря искрообразование изменяется незначительно.	С увеличением окружной скорости якоря искрообразование резко возрастает.
Нагар (почернение) на коллекторе по всей его поверхности, подгорают отдельные пластины, причем в расположении подгоревших пластин наблюдается определенная закономерность.	Нагар (почернение) происходит на отдельных участках поверхности коллектора; в расположении подгоревших пластин закономерности не наблюдается.
Интенсивность искрообразования зависит от температуры; с повышением температуры оно возрастает	Интенсивность искрообразования от температуры не зависит.

Степень искрения (класс коммутации) проверяют в номинальных условиях работы при практически установившейся температуре, но не ранее чем через 2 часа для машин мощностью до 100 кВт 4 часа – для машин мощностью более 100 кВт.

9. Методы определения положения щеточного аппарата на геометрическом нейтрале.

Установка щеточной траверсы относительно геометрической нейтрали машины, или установка щеток на нейтраль, не входит в перечень часто выполняемых операций. Правильность этой установки чаще всего проверяется по заводской метке, нанесенной на корпус машины при ее изготовлении.

Однако бывают случаи, когда указанная метка отсутствует вследствие повреждений машины или во время предыдущего ремонта были изменены обмоточные данные, и новое положение метки неясно.

В то же время известно, что при смещении щеточной траверсы относительно геометрической нейтрали даже у полностью исправной машины при работе будут наблюдаться внешние признаки дефектов и неисправностей. Поэтому проверка и установка щеточной траверсы машины относительно ее геометрической нейтрали, т. е. линии, проходящей посередине между соседними главными полюсами, имеют важное значение при оценке состояния электрических машин.

При этом необходимо учитывать, что в машинах, снабженных для устранения вредного действия реакции якоря добавочными полюсами или компенсационными обмотками, при правильной установке траверсы щетки находятся действительно на геометрической нейтрали. В машинах, не имеющих указанных полюсов и обмоток, при правильном положении траверсы щетки оказываются несколько смещенными с геометрической нейтрали: для генераторов — по направлению вращения якоря, для двигателей — в противоположную сторону.

На наличие смещения щеточной траверсы указывают такие признаки: при ее сдвиге по направлению вращения якоря напряжение генератора снижается; если сдвиг траверсы против направления вращения, то напряжение генератора повышается, частота вращения электродвигателя возрастает.

Судовые электрические машины постоянного тока обычно выполняются с добавочными полюсами. Для этих машин известны следующие способы установки щеточной траверсы на нейтраль. Индуктивный метод, метод наибольшего напряжения для генераторов, метод измерения частоты вращения для двигателей.

При индуктивном методе, применимом как для генераторов, так и для двигателей, положение щеточной траверсы определяется при неподвижном якоре машины.

При этом методе траверсу предварительно устанавливают в такое положение, при котором линия щеток приходится примерно против середины главных полюсов. К щеткам отсоединенной от сети машины подключают вольтметр магнитоэлектрической системы с нулем по середине шкалы и пределами измерения до 3 ... 5В.

К отсоединенной от якоря обмотке возбуждения от аккумуляторной батареи через рубильник и реостат подают пониженное напряжение, обеспечивающее ток в обмотке возбуждения, равный 10...15% номинального. На рис. 1 слева показана схема для двигателя параллельного возбуждения (сплошными линиями показана штатная схема двигателя, пунктирными — элементы схемы настройки).

Быстро замыкая и размыкая рубильник в цепи питания обмотки возбуждения, вызывают появление в якоре индуктированной ЭДС и наблюдают положение стрелки вольтметра.

Проверка и установка щеточной траверсы по схеме, приведенной на рис.1 слева, обеспечивает ориентацию щеток относительно главных полюсов машины. В электрических машинах с добавочными полюсами щетки могут быть ориентированы как относительно главных полюсов, так и относительно добавочных. Для машин с точным размещением главных и добавочных полюсов проверка и установка щеточной траверсы относительно тех или других полюсов из указанных дает одинаковые результаты.

Если же указанные полюсы в какой-то степени смещены относительно друг друга, то положения щеточной траверсы, определенные относительно главных или добавочных полюсов, не совпадают.

Практическое значение данное обстоятельство имеет для электрических машин реверсивных приводов. Реверсирование машины, щеточная траверса которой установлена на нейтраль, определенной относительно главных полюсов, обеспечивает лучшие скоростные характеристики (обеспечивается уменьшение отклонений этих характеристик при реверсе). Реверс этих же машин, но со щеточной траверсой, установленной на нейтраль, которая определена относительно добавочных полюсов, сопровождается отклонением скоростных характеристик. В то же время во втором случае допускаются лучшие условия коммутации. Потому определение нейтрали может зависеть от особенностей привода, для которого предназначен электродвигатель.

Проверка и установка щеточной траверсы относительно добавочных полюсов может выполняться по методу, применяемому для тяговых машин.

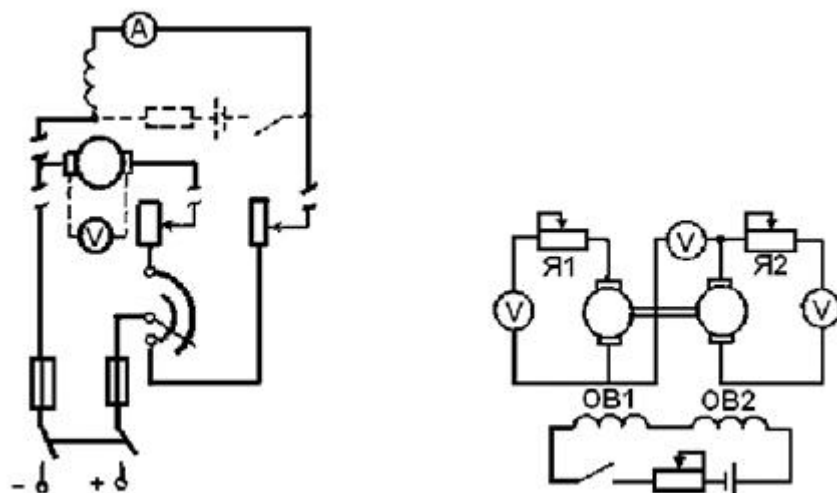


Рис. 1 — Схемы установки щеток на нейтраль двигателя параллельного возбуждения (а) и на нейтраль двухякорной машины (б)

При этом методе на обмотку добавочных полюсов электродвигателя с петлевой обмоткой при неподвижном якоре от сварочного трансформатора или другого источника подают переменное напряжение 30 ... 80В. Вольтметром переменного тока, оснащенным щупом, контролируют напряжение между соседними пластинами, коллектора в зоне коммутации. Скачкообразное изменение напряжения между соседними пластинами указывает на подключение щупа к пластинам, соединенным с секциями другой катушки. Затем вольтметр подключают к пластинам коллектора, относящимся к средней секции катушки и, поворачивая якорь, находят такое его положение, при котором вольтметр показывает отсутствие напряжения. В этом положении якоря нейтраль машины проходит точно посередине между указанными пластинами коллектора. Щеточную траверсу поворачивают так, чтобы середина щетки приходилась на паз между этими пластинами. Таким же образом производится установка всех щеткодержателей.

Для двигателей с волновой обмоткой якоря все действия выполняют аналогично, за исключением нахождения пластин коллектора. Измеряя напряжение между соседними пластинами, находят три пластины, между которыми оно имеет одинаковое значение. Пластины, к которым подключают вольтметр, находятся рядом с тремя указанными.

При использовании индуктивного метода для двухякорных машин с общим валом (на судах применяются в гребных электрических установках) применяют схему, приведенную на рис.1 справа. Правильная установка щеточных траверс относительно общей нейтрали таких машин будет иметь место при минимальных показаниях трех вольтметров.

Индуктивный метод применяется и для электромашинных усилителей (ЭМУ). Для этих машин при установке щеточной траверсы вначале удаляют перемычку, соединяющую короткозамкнутые щетки, и включают между этими щетками вольтметр с нулем посередине. В одну из обмоток управления при перемещении якоря подают напряжение от постороннего источника постоянного тока. Далее выполняются действия, как и описанные выше. После нахождения таким образом нейтрали для ЭМУ обычно требуется сместить щетки дополнительно на 1,5 ... 2 мм по направлению вращения якоря. Это связано с тем, что при установке щеток на нейтраль, иногда наблюдается, так же как при сдвиге щеток против направления вращения, самовозбуждение и потеря управления ЭМУ.

Метод наибольшего напряжения применяется для генераторов параллельного и смешанного возбуждения, не работающих параллельно, и реализуется в режиме холостого хода этих машин. При этом методе генератор запускают в режим холостого хода и посредством реостата возбуждения доводят напряжение на его зажимах до нормального (напряжение

контролируют вольтметром, подключенным к зажимам генератора). При неизменном положении реостата возбуждения смещают в одну и другую сторону щеточную траверсу, наблюдая по вольтметру за изменением напряжения на зажимах генератора. Положение щеточной траверсы, при которой наблюдается наибольшее напряжение, является точным. Данный метод менее точен, чем индуктивный, но для генераторов, не работающих параллельно, обеспечивает приемлемые для практики результаты. Для генераторов, работающих в параллель, даже небольшое смещение траверсы от точного положения может вызвать их перемagnичивание, поэтому для этих генераторов метод наибольшего напряжения не рекомендуется.

Методом измерения частоты вращения определяется правильность положения щеточной траверсы электродвигателей. При этом методе, также реализуемом в режиме холостого хода машины, измеряют ее частоту вращения в обоих направлениях при некотором положении щеточной траверсы. Изменение направления вращения обеспечивается переключением параллельной обмотки возбуждения.

Смещением щеточной траверсы в обе стороны добиваются такого положения, при котором частота вращения якоря одинакова для обоих направлений вращения. Это положение траверсы и есть точное.

При установке щеточной траверсы методом наибольшего напряжения или методом измерения частоты вращения следует помнить, что перемещать траверсу можно только после отключения машины от сети и полной остановки якоря.

Наиболее точным и безопасным методом является индуктивный.

10. Генераторы переменного тока - классификация.

По конструкции можно выделить

- генераторы с неподвижными магнитными полюсами и вращающимся якорем;
- генераторы с вращающимися магнитными полюсами и неподвижным статором.

Получили наибольшее распространение, так как благодаря неподвижности статорной обмотки отпадает необходимость снимать с ротора большой ток высокого напряжения с использованием скользящих контактов (щёток) и контактных колец.

По способу возбуждения генераторы переменного тока делятся на

- генераторы, обмотки возбуждения которых питаются постоянным током от постороннего источника электрической энергии, например от аккумуляторной батареи (**генераторы с независимым возбуждением**).
- генераторы, обмотки возбуждения которых питаются от постороннего генератора постоянного тока малой мощности (**возбудителя**), сидящего на одном валу с обслуживаемым им генератором.
- генераторы, обмотки возбуждения которых питаются выпрямленным током самих же генераторов (**генераторы с самовозбуждением**).
- генераторы с возбуждением от постоянных магнитов.

Конструктивно можно выделить

- генераторы с явно выраженными полюсами;
- генераторы с неявно выраженными полюсами.

По количеству фаз можно выделить

- Однофазные генераторы.
- Двухфазные генераторы.
- Трёхфазные генераторы.

По соединению фазных обмоток трёхфазного генератора

- Соединение «звездой»
- Соединение «треугольником».

11. Синхронные генераторы переменного 3-х фазного тока, с самовозбуждением, щеточные: устройство, принцип действия,

эксплуатация, техника безопасности в процессе эксплуатации.

Синхронными называются электрические машины, частота вращения которых связана постоянным соотношением с частотой сети переменного тока, в которую эта машина включена. Синхронные машины служат генераторами переменного тока на электрических станциях, а двигатели применяются в тех случаях, когда нужен двигатель, работающий с постоянной частотой вращения. Синхронные машины обратимы, т. е. они могут работать и как генераторы, и как двигатели, хотя в конструкциях современных синхронных генераторов и двигателей имеются небольшие, но весьма существенные отличия. Синхронная машина переходит от режима генератора к режиму двигателя в зависимости от того, действует ли на ее вал вращающая или тормозящая механическая сила. В первом случае она получает на валу механическую, а отдает в сеть электрическую энергию, а во втором — она потребляет из сети электрическую энергию, а отдает на валу механическую.

Синхронная машина (рис. 17) имеет две основные части — статор 1 и ротор 2, причем статор (рис. 18) не отличается от статора асинхронной машины. В пазы статора укладывают трехфазную обмотку, концы которой выводят на клеммовую панель.

Ротор синхронных машин вращается синхронно с вращающимся магнитным полем (отсюда их название). Поскольку частоты вращения ротора и магнитного поля одинаковы, в обмотке ротора не индуцируются токи. Поэтому обмотка ротора получает питание от источника постоянного тока. Ротор синхронной машины представляет собой систему вращающихся электромагнитов, которые питаются постоянным током, поступающим в ротор через контактные кольца и щетки от внешнего источника. Ротор в некоторых случаях изготовляют в виде постоянного магнита.

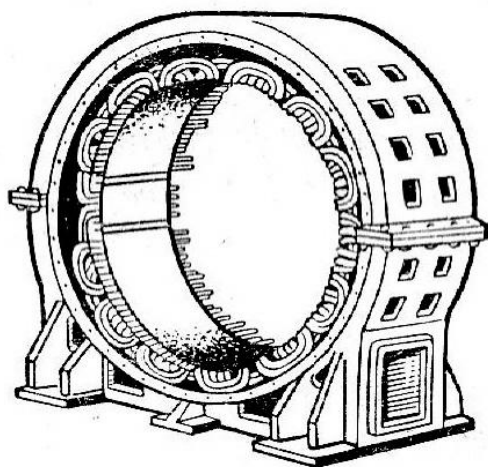


Рис. 18. Статор синхронной машины

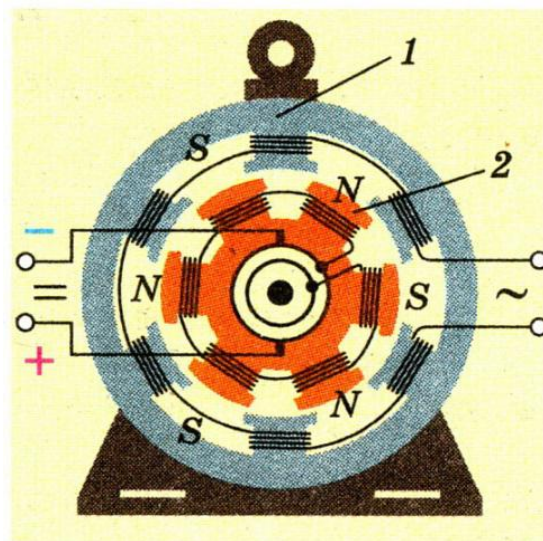


Рис. 17. Синхронная машина

В обмотках статора под действием вращающегося магнитного поля ротора наводится ЭДС, которая подается на внешнюю цепь генератора. Такая конструкция генератора позволяет устранить скользящие контакты в цепи нагрузки генератора (обмотки статора непосредственно соединяются с нагрузкой) и надежно изолировать обмотки статора от корпуса машины, что существенно для мощных генераторов, работающих при высоких напряжениях.

Основной магнитный поток синхронного генератора, создаваемый вращающимся ротором, возбуждается посторонним источником-возбудителем, которым обычно является генератор постоянного тока небольшой мощности, установленный на общем валу с синхронным генератором. Постоянный ток от возбудителя подается на ротор через щетки и контактные кольца, установленные на валу ротора.

По своей конструкции роторы бывают явнополюсными (рис. 19) и неявнополюсными (рис. 20). Число пар полюсов ротора обусловлено скоростью его вращения. В первом случае

синхронные генераторы приводятся в действие тихоходными турбинами гидроэлектростанций, во втором — паровыми или газовыми турбинами теплоэлектростанций.

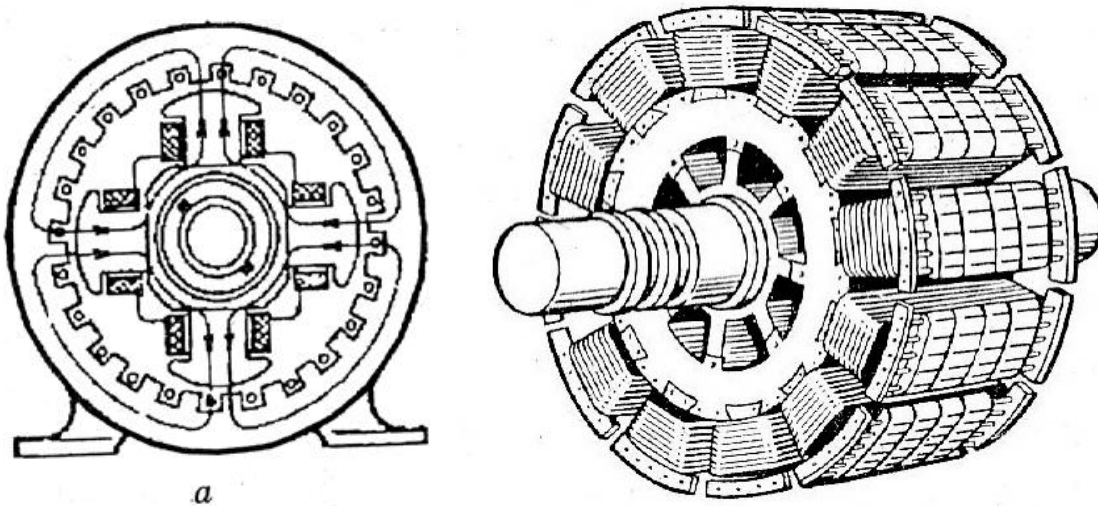


Рис. 19. Явнополюсный ротор синхронной машины

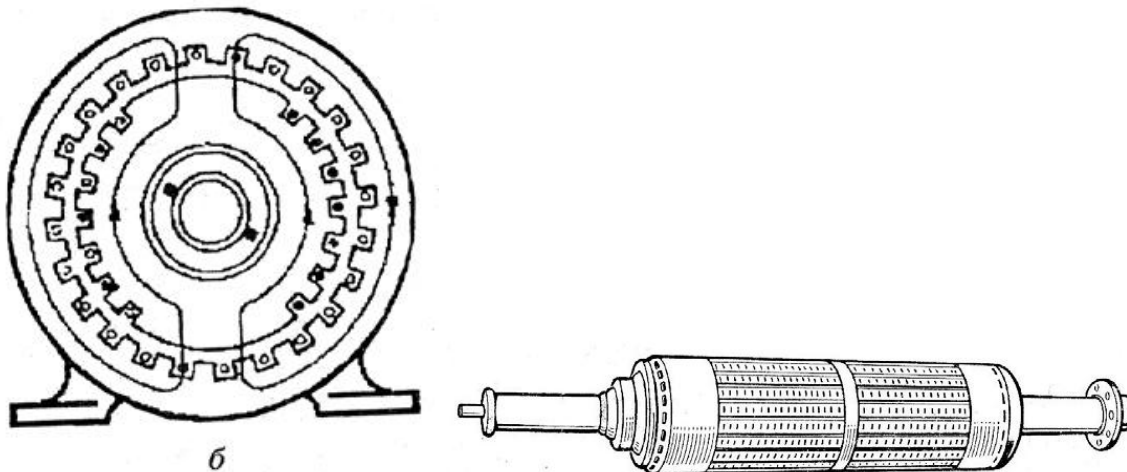


Рис. 20. Неявнополюсный ротор синхронной машины

Питание к обмотке ротора подводится через скользящие контакты, состоящие из медных колец и графитовых щеток. При вращении ротора его магнитное поле пересекает витки обмотки статора, индуцируя в них ЭДС. Чтобы получить синусоидальную форму ЭДС, зазор между поверхностью ротора и статором увеличивают от середины полюсного наконечника к его краям (рис. 21).

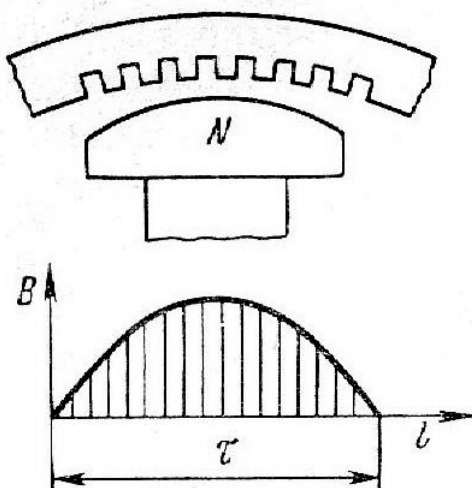


Рис. 21. Форма воздушного зазора и распределение магнитной индукции по поверхности ротора в синхронном генераторе

Частота индуцированной ЭДС (напряжения, тока) синхронного генератора

$$f = pn/60,$$

где n - число пар полюсов ротора генератора. p

Отношение $n/60$ выражает число оборотов ротора в секунду; при $p = 1$ каждый оборот ротора соответствует полному циклу изменений индуцированного переменного тока (одному периоду); при увеличении соответственно увеличивается и число периодов тока, индуцируемого за один оборот ротора.

При стандартной частоте переменного тока 50 Гц частота вращения двухполюсной машины ($p = 1$) 3000 об/мин. С такой частотой вращаются современные турбогенераторы, состоящие из паровой турбины и синхронного генератора большой мощности с неявнополюсным ротором, который имеет одну пару полюсов.

У гидрогенераторов первичным двигателем служит гидравлическая турбина, скорость вращения которой невелика (от 50 до 750 об/мин) и определяется высотой напора воды. В этом случае используются синхронные генераторы с явнополюсным ротором, имеющим от 4 до 60 пар полюсов.

Частота вращения дизель-генераторов, соединенных с первичным двигателем — дизелем, находится в пределах от 500 до 1500 об/мин. Обычно это явнополюсные машины небольшой мощности.

Как и у любого генератора, работающего по закону электромагнитной индукции, индуцированная ЭДС пропорциональна магнитному потоку машины и частоте вращения ротора. Среднее значение ЭДС, наводимое в каждой фазе обмотки статора,

$$E_{\text{ср}} = c n \Phi$$

Где n — скорость вращения ротора;

Φ — максимальный магнитный поток, возбуждаемый в синхронной машине;

c — постоянный коэффициент, учитывающий конструктивные особенности данной машины.

Используют различные способы возбуждения синхронных генераторов. Широкое распространение получил синхронный генератор с машинным возбудителем, представляющим собой генератор постоянного тока, расположенный на одном валу с синхронным генератором. Машинный возбудитель приводится в действие от того же первичного двигателя, что и синхронный генератор. Выходные зажимы возбудителя через щетки и кольца подсоединены к обмотке ротора синхронного генератора. Напряжение синхронного генератора можно регулировать реостатом в цепи обмотки возбуждения возбудителя, что удобно и энергетически выгодно, так как в этой обмотке протекают сравнительно небольшие токи.

Находят также применение генераторы с самовозбуждением через полупроводниковые или механические выпрямители.

Самовозбуждение генератора происходит следующим образом. В момент пуска генератора благодаря остаточной индукции в магнитной системе появляются слабые ЭДС и токи в рабочей обмотке генератора. Это приводит к появлению ЭДС на выходе и небольшого тока в цепи возбуждения, усиливающего индукцию магнитного поля машины. ЭДС генератора возрастает до тех пор, пока магнитная система машины полностью не возбудится.

12. Синхронные генераторы переменного 3-х фазного тока с самовозбуждением бесщёточные: устройство, принцип действия, эксплуатация.

Одним из основных недостатков при обслуживании судовых синхронных генераторов является наличие щёточно-кольцевого аппарата. Этот узел наиболее изнашивается в процессе работы. Большое количество пыли от угольных щёток загрязняет обмотки, создавая проводниковые мосты между токоведущими частями синхронного генератора и корпусом:

ухудшается изоляция **генератора**, уменьшая срок их службы, требуется внеочередной ремонт с полной разборкой.

Всё это отсутствует у **бесщёточных синхронных генераторов**. Возбуждение СГ осуществляется небольшим по размерам возбудителем переменного тока, состоящим из трёхфазной обмотки, расположенной на роторе генератора и электромагнитных полюсов, находящихся на статоре рядом со статорной обмоткой основной машины. Обмотка возбуждения возбудителя питается постоянным током от автоматического регулятора напряжения. Трёхфазный переменный ток, генерируемый в роторной обмотке, выпрямляется трёхфазным выпрямителем, расположенным на роторной обмотке возбудителя и поступает на роторную обмотку возбуждения генератора. Выпрямительное устройство бесщёточного генератора состоит из кремниевых диодов, соединённых по трёхфазной мостовой схеме, регулируемого балластного резистора и сглаживающего конденсатора.

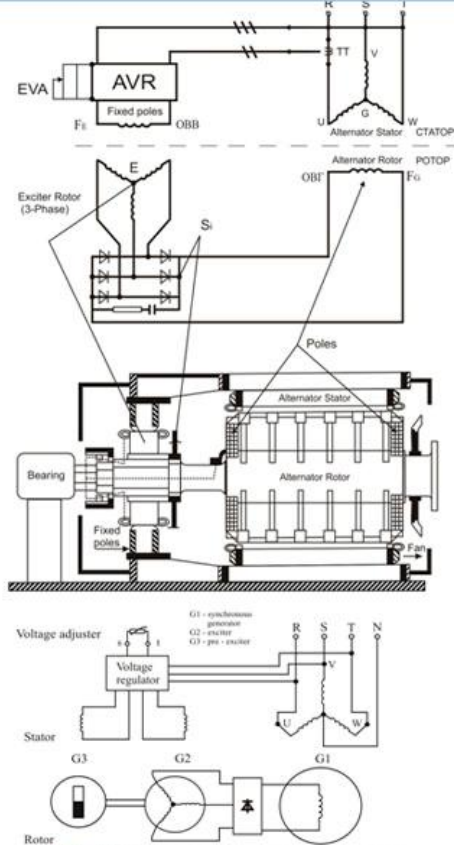


Рис. 1.1. Бесщёточный синхронный генератор

Бесщёточный синхронный генератор (рис. 1.1) состоит из следующих компонентов, где:

G — статорная обмотка, выходная;

F_G — роторная обмотка возбуждения генератора;

Si — блок вращающихся кремниевых выпрямителей;

E — роторная обмотка возбудителя, выходная;

F_E — статорная обмотка возбуждения;

EVA — внешний реостат задающего напряжения;

AVR — автоматический регулятор напряжения (АРН).

Статорная обмотка синхронного генератора уложена в пазы железа статора и представляет собой три обмотки, соединенные звездой.

Конструктивно БСГ объединён с возбудителем переменного тока и вращающимся выпрямительным устройством в один агрегат. Отличительной особенностью БСГ является отсутствие контактных колец и щёток.

Возбудитель представляет собой обращённый

трёхфазный синхронный генератор, у которого обмотка возбуждения является неподвижной и питается непосредственно от автоматического регулятора напряжения. В некоторых рассматриваемых далее системах возбуждения и регулирования напряжения генераторов (например, "TAIYO", "MITSUBISHI") обмотка возбуждения возбудителя состоит из двух частей: основной и управляемой от АРН, что обеспечивает более надёжное начальное возбуждение. Трёхфазная роторная обмотка возбудителя, соединённая звездой подключена к роторной обмотке генератора через трёхфазный блок вращающихся кремниевых выпрямителей, который находится между этими двумя обмотками, ближе к возбудителю, на специально смонтированном изоляционном кольце. Кольцо и вентили вращаются вместе с роторами генератора и возбудителя и размещены на общем валу.

Трёхфазный переменный ток, генерируемый при вращении в роторной обмотке возбудителя, выпрямляется трёхфазным кремниевым выпрямителем, расположенным на роторной обмотке возбудителя, и постоянное напряжение поступает на роторную обмотку генератора. Расположение вращающихся выпрямителей на роторной обмотке возбудителя удобно как для воздушного охлаждения, так и проведения обслуживания и ремонтных работ при проверке и замене вентиля.

В дополнение к кремниевому выпрямителю параллельно выходному напряжению подключается сглаживающий конденсатор и разрядный резистор для предотвращения обмотки возбуждения и конденсатора от пробоя.

Благодаря такой конструкции, исчезает необходимость в контактных кольцах и щётках для подвода тока к обмотке возбуждения генератора. Таким образом, возбудитель совместно с АРН позволяет поддерживать напряжение генератора с заданным отклонением при малых и больших нагрузках и обеспечивает защиту от короткого замыкания. Отсутствие щёточной аппаратуры значительно повышает надёжность БСГ, сокращает трудозатраты на обслуживание ввиду отсутствия угольной пыли на обмотках. Они также могут применяться и на высоких частотах вращения первичных двигателей, чем обеспечивается более надёжное возбуждение.

У БСГ, также как и у обычных синхронных генераторов, имеется демпферная обмотка. Она находится на явных полюсах ротора и имеет вид широких медных шин, соединенных в беличью клетку. Назначением демпферной обмотки является предотвращение колебаний напряжения ввиду резкого изменения нагрузки при параллельной работе генераторов, а также ограничение повышения третьей гармоники напряжения с увеличением нагрузки.

В результате совместных усилий обмоток статора генератора и возбудителя создаётся результирующая магнитодвижущая сила а, следовательно, и поток возбуждения, обеспечивая реакцию ротора и падение напряжения в обмотке статора генератора во всех режимах работы – от холостого хода до номинальной нагрузки.

Возбудитель переменного тока представляет собой обращённый синхронный генератор роторного типа. Ротор установлен на том же валу, что и ротор генератора и представляет собой трехфазную обмотку переменного тока. Нагрузкой возбудителя является обмотка возбуждения статора, поэтому необходим возбудитель переменного тока высокой частоты: чем выше частота, тем больше возбуждение. Однако высокая частота стремится увеличить потери в железе. Так как увеличение числа полюсов пропорционально увеличению частоты, то частота особенно ограничивается при использовании на низкой частоте вращения с точки зрения экономичности конструкции. В основном, для возбудителя переменного тока принята частота 60 Гц.

Кремниевый выпрямитель возбудителя переменного тока. Учитывая электрические и механические свойства, кремниевый выпрямитель для бесщёточного синхронного генератора должен быть высоконадёжным, небольших габаритов и массы.

Он состоит из кремниевой части, которая закреплена вертикально на тонкой пластине основания, для надёжного контакта пластины, основания и элемента, и питающего провода. Этот силовой тип контакта кремниевых элементов выпрямителя использует свою огромную силу, когда она приложена вертикально вместе с давлением по направлению к пластине основания и проявляет великолепные характеристики, учитывая такие механические недостатки как внешнее давление, центробежная сила, вибрация системы в действии. Все главные части кремниевых элементов типа Р-Н перехода помещены в кожух, в котором находится инертный газ, на работу которого не влияют окружающие атмосферные условия.

В дополнение к кремниевому выпрямителю параллельно подключены конденсатор и резистор для предотвращения от чрезмерного напряжения обмоток, предохраняя их от

пробоя. При сборке вышеупомянутых компонентов FUJI E1. произвел тщательную проверку их механической силы и местоположения, минимизируя пространство для установки, добиваясь однородной и эффективной вентиляции.

По габаритам БСГ сохранил те же размеры что и обычные СГ.

В настоящее время бесщёточные синхронные генераторы успешно используются на судах в

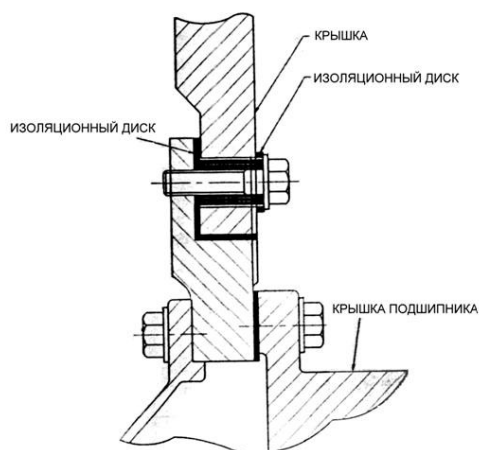


Рис. 1.2. Изоляция вала БСГ от наводящих токов

качестве основных и аварийных источников электроэнергии.

Для предотвращения возникновения токов на валу генератора, появляющихся благодаря разбалансу магнитного сопротивления магнитных цепей, используются изоляторы на боковых крышках, как показано на рис. 1.2. Напряжение на валу для генераторов повышенных напряжений и частот обычно составляет 1 В и менее, и реже несколько вольт. Значение сопротивления изолятора должно быть 1-3 кΩ. Если масляная пленка с принудительной смазкой местами исчезает, это может привести к поломке подшипника или аварии генератора в целом.

В основном БСГ не требует особых трудозатрат на обслуживание. Достаточно почаще менять фильтры на воздухозаборах.

Таким образом, БСГ обеспечивает максимум надежности при минимуме трудозатрат на обслуживание.

13. Защиты синхронных генераторов.

Для генераторов, предназначенных для параллельной работы, должны быть установлены по крайней мере следующие устройства защиты:

- . 1 от перегрузок;
- . 2 от короткого замыкания;
- . 3 от обратного тока или от обратной мощности;
- . 4 от минимального напряжения.

Следует применять такие устройства защиты генераторов от перегрузок, которые имеют световую и звуковую сигнализацию о перегрузке, действующую с выдержкой до 15 мин для нагрузок от 100 до 110 % номинального тока, и выключение генераторов с выдержкой времени, соответствующей термической постоянной времени защищаемого генератора для нагрузок в пределах от 110 до 150 % номинального тока. Следует, чтобы для уставки защиты на 150 % номинального тока генератора выдержка не превышала 2 мин для генератора переменного тока и 15 с для генератора постоянного тока. Перегрузка свыше 150 % номинального тока генератора может быть допущена там, где это требуется условиями эксплуатации и допускается конструкцией генератора.

Уставки защиты от перегрузки и выдержки времени должны быть подобраны к перегрузочным характеристикам приводного двигателя генератора таким образом, чтобы двигатель мог в течение принятой выдержки времени развивать необходимую мощность. Для защиты генератора от перегрузки не должны применяться защитные устройства, которые исключают немедленное повторное включение генератора.

Должно быть предусмотрено автоматическое и избирательное отключение неответственных устройств при перегрузке генераторов. Отключение этих устройств может быть выполнено в одну или несколько ступеней соответственно перегрузочной способности генератора.

При этом:

- 1 не допускается автоматическое отключение ответственных устройств первой категории;
- 2 допускается автоматическое отключение отдельных ответственных устройств второй категории при условии, что при восстановлении нормального электроснабжения после перегрузки сохраняется работоспособность устройств, обеспечивающих безопасность судна;
- 3 допускается автоматическое отключение устройств, предназначенных для поддержания минимальных комфортных условий обитаемости на судне для экипажа и пассажиров.

Примером таких устройств являются: устройства для приготовления пищи, устройства для обогрева, провизионная холодильная установка, приводы бытовой вентиляции,

устройства систем водоснабжения и санитарных систем, ит. п.

Это требование может не применяться для судов с электрической установкой малой мощности.

8.2.4 Защита генераторов, предназначенных для параллельной работы, от обратного тока или от обратной мощности должна быть подобрана к характеристикам приводного двигателя.

Пределы уставок указанных видов защиты должны соответствовать приведенным в табл. 8.2.

4. Время срабатывания данных видов защиты при уставках, указанных в таблице, не должно превышать 10 с.

Защита генераторов постоянного тока от обратного тока должна устанавливаться в полюсе, противоположном тому, в котором находится уравнильный провод. При снижении приложенного напряжения на 50 % защита от обратной мощности или от обратного тока должна быть еще способна к действию, хотя значение обратного тока или обратной мощности могут быть другими. Защита от обратного тока и от обратной мощности должна обеспечивать возможность передачи мощности, отдаваемой из судовой сети (например, от грузовых лебедок).

8.2.5 Защита от минимального напряжения должна обеспечивать возможность надежного подключения генераторов к шинам при напряжении 85 % и более номинального и исключить возможность подключения генераторов к шинам при напряжении менее 35 % номинального, а также отключать генераторы при снижении напряжения на их зажимах в пределах от 70 до 35 % номинального. Защита от минимального напряжения должна действовать с выдержкой времени на отключение генераторов от шин при снижении напряжения и должна действовать без выдержки времени при попытке подключения к шинам генератора до достижения указанного выше минимального напряжения.

8.2.6 Для генераторов мощностью 1000 кВ·А и более рекомендуется устанавливать защиту от внутренних повреждений и защиту токопровода между генератором и его щитом с выключателем. Если генератор и его щит установлены в разных помещениях, такая защита обязательна.

8.2.7 Если генератор постоянного тока с приводом от турбины предназначен для параллельной работы, должно быть предусмотрено отключение автоматического выключателя генератора при срабатывании автомата безопасности турбины.

Род тока	Пределы уставок защиты от обратного тока или от обратной мощности в зависимости от привода генератора	
	Турбина	Двигатель внутреннего сгорания
Переменный	2 — 6 % номинальной мощности генератора, кВт	8 — 15 % номинальной мощности генератора, кВт
Постоянный	2 — 6 % номинального тока генератора, А	8 — 15 % номинального тока генератора, А

14. Параллельная работа синхронных генераторов переменного 3-х фазного тока: условия введения в параллель, распределение нагрузки между параллельно работающими генераторами.

Включение генераторов переменного тока на параллельную работу требует обеспечить:

равенство э. д. с. включаемого генератора и напряжения цепи;

равенство частот включаемого генератора и цепи;

совпадение фаз э. д. с. включаемого генератора и напряжения цепи.

Так как указанные условия должны выполняться для всех трех фаз, то необходимо, чтобы генераторы были присоединены один к другому одноименными фазами, т. е. должен соблюдаться одинаковый порядок чередования фаз. Это условие выполняется при монтаже электростанции.

Если генератор включен на параллельную работу с уже работающими генераторами, то при точном выполнении указанных требований он будет работать в холостую. Чтобы перевести на вновь включенный генератор часть активной мощности, отдаваемой электростанцией или энергетической системой потребителям, **увеличивают вращающийся момент**, прикладываемый к валу генератора со стороны первичного двигателя. Для загрузки генератора реактивной мощностью изменяют **ток возбуждения генератора**.

15. Обеспечение устойчивой параллельной работы генераторов переменного 3-х фазного тока.

$$P_{эм} = \frac{3EU}{x} \sin \theta \equiv \sin \theta$$

Как видно из соотношения , активная нагрузка генератора и его электромагнитная мощность пропорциональны синусу угла θ между осями магнитного потока в роторе и статоре, а на векторной диаграмме – между векторами U и E . Отсюда очевидно, что пределом активной нагрузки синхронного генератора при постепенном ее увеличении будет такое ее значение, при котором $\theta = 90^\circ$.

При дальнейшем возрастании вращающего момента первичного двигателя и угла θ магнитные связи между ротором и статором нарушаются, генератор выпадает из синхронной параллельной работы с другими генераторами на общую сеть.

Предел возможной активной нагрузки синхронного генератора при постепенном ее возрастании без нарушения синхронной связи с системой называется его статической устойчивостью. Практически этот предел лежит значительно ниже значений, соответствующих $\theta = 90^\circ$. После каждого изменения активной нагрузки ротор не устанавливается сразу в новом устойчивом положении, а некоторое время колеблется около этого положения. При попытке нагрузить генератор до $\theta \approx 90^\circ$ эти колебания вывели бы генератор из синхронизма. Поэтому номинальные мощности синхронных генераторов соответствуют значениям угла θ , не превышающим 25° . При этом условии синхронный генератор обладает некоторой перегрузочной способностью, обеспечивающей устойчивую синхронную работу его при колебаниях нагрузки.

Наибольшая опасность нарушения устойчивой синхронной работы генератора возникает при коротких замыканиях в той или другой точке системы. При этом на генераторах, близких к месту короткого замыкания, понижается напряжение и, следовательно, уменьшается их электромагнитная мощность.

Способность синхронного генератора сохранять синхронную связь с системой в таких внезапных аварийных условиях называется их динамической устойчивостью. Повышение динамической устойчивости достигается, возможно, более быстрым (при наступлении аварии) увеличением э. д. с. E , что обеспечивается специальными автоматическими устройствами.

Условия статической устойчивости. Угловая характеристика синхронной машины имеет важное значение для оценки *статической устойчивости* и степени перегружаемости. Под *статической устойчивостью синхронной машины*, работающей параллельно с сетью, понимают ее способность сохранять синхронное вращение (т. е. условие $n_2 = n_1$) при изменении внешнего вращающего или тормозного момента $M_{вн}$, приложенного к ее валу. *Статическая устойчивость обеспечивается только при углах θ , соответствующих $M < M_{\max}$.*

Допустим, что синхронный генератор работает при некотором внешнем моменте $M_{вн}$, передаваемом его ротору от первичного двигателя. При этом ось полюсов ротора сдвинута на некоторый угол в относительно оси суммарного потока $\Sigma\Phi$ и машина развивает электромагнитный момент M , который можно считать равным $M_{вн}$ (точки A и C на рис. 6.40,а). Если момент $M_{вн}$ возрастает, то ротор генератора ускоряется, что приводит к увеличению угла θ до значения $\theta + \Delta\theta$. При работе машины в точке A возрастание угла вызывает увеличение электромагнитного момента до значения $M + \Delta M$ (точка B); в результате равновесие моментов, действующих на вал ротора, восстанавливается и машина после некоторого колебательного процесса продолжает работать с синхронной частотой вращения.

Аналогичный процесс происходит и при уменьшении $M_{вн}$; при этом соответственно уменьшаются угол θ и момент M , а следовательно, равновесие моментов также восстанавливается. Однако если машина работает при $\pi/2 < \theta < \pi$ (точка C), то увеличение угла θ вызывает уменьшение электромагнитного момента до значения $M - \Delta M$ (точка D). В результате равновесие моментов, действующих на вал ротора, нарушается, ротор продолжает ускоряться, а угол θ возрастает. Возрастание угла θ может привести к двум результатам: 1) машина переходит в точку устойчивой работы (аналогичную точке A) на последующих

положительных полуволнах; 2) ротор по инерции проскакивает устойчивые положения, при этом происходит выпадение из синхронизма, т. е. ротор начинает вращаться с частотой, отличающейся от частоты вращения магнитного поля статора.

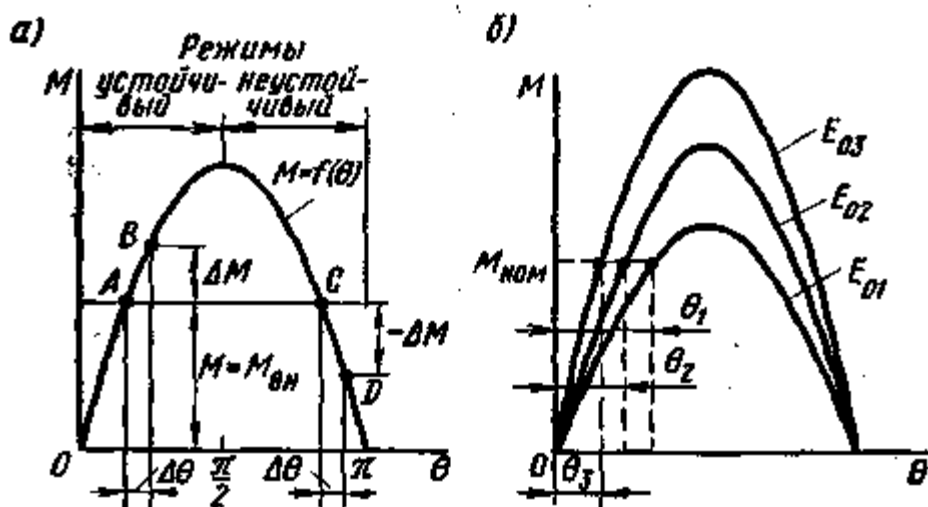


Рис. 6.40. Угловые характеристики при различных значениях E_0

Выпадение из синхронизма является аварийным режимом, так как оно сопровождается прохождением по обмотке якоря больших токов. Это объясняется тем, что ЭДС генератора E и напряжение сети U_c при указанном режиме могут складываться по контуру «генератор — сеть», а не вычитаться, как при нормальной работе. Если внешний момент по какой-либо причине снижается, то при работе машины в точке C угол θ уменьшается, электромагнитный момент возрастает, что приводит к дальнейшему уменьшению угла θ и переходу к работе в устойчивой точке A . Из рассмотрения рис. 6.40, а следует, что синхронная машина работает устойчиво, если $dM/d\theta > 0$, и неустойчиво, если $dM/d\theta < 0$; чем меньше угол θ , тем больший запас по устойчивости имеет машина. Если машина работает в установившемся режиме при некотором угле θ , то малое отклонение $\Delta\theta$ от этого угла сопровождается возникновением момента

$$(6.38)$$

$$\Delta M = (dM/d\theta) \Delta \theta,$$

который стремится восстановить исходный угол θ . Этот момент называют синхронизирующим. Ему соответствует понятие синхронизирующей мощности

$$(6.39)$$

$$\Delta P_{эм} = (dP_{эм}/d\theta) \Delta \theta.$$

Производные $dM/d\theta$ и $dP_{эм}/d\theta$ называют соответственно удельным синхронизирующим моментом и удельной синхронизирующей мощностью (иногда их называют коэффициентами синхронизирующего момента и синхронизирующей мощности). При неявнополюсной машине $dM/d\theta = M_{max} \cos \theta$; $dP_{эм}/d\theta = P_{эм max} \cos \theta$. Удельный синхронизирующий момент имеет максимальное значение при $\theta = 0$ — с возрастанием θ он уменьшается; при $\theta = \pi/2$ он равняется нулю, поэтому синхронные машины обычно работают с $\theta = 20 \div 35^\circ$, что соответствует двукратному или несколько большему запасу по моменту. Статическая перегружаемость синхронной машины оценивается отношением

$$(6.40)$$

$$k_{ст} = M_{max}/M_{ном} = P_{max}/P_{ном}.$$

Согласно ГОСТу это отношение для мощных генераторов должно быть не менее 1,6—1,7, а для синхронных двигателей большой и средней мощности — не менее 1,65.

Влияние тока возбуждения на устойчивость. Устойчивость генератора при заданном значении активной мощности, отдаваемой в сеть, зависит от тока возбуждения. При увеличении тока возбуждения возрастает ЭДС E_0 , а следовательно, и момент M_{max} ; при этом увеличивается устойчивость машины.

На рис. 6.40, б изображены угловые характеристики при различных токах возбуждения (при различных E_0), откуда следует, что чем больше ток возбуждения, тем меньше угол в при заданной нагрузке, а следовательно, тем больше отношение $M_{\max}/M_{\text{ном}}$ и перегрузочная способность генератора.

Обычно электрическая сеть, на которую работают синхронные генераторы, является для них активноиндуктивной нагрузкой (генераторы отдают как активную P , так и реактивную Q мощности). При этом синхронные генераторы должны работать с некоторым перевозбуждением, обеспечивающим повышение перегрузочной способности. Так, например, согласно ГОСТу в синхронных генераторах при номинальном режиме ток I_a должен опережать напряжение сети \dot{U}_c (т. е. отставать от напряжения \dot{U} и иметь $\cos \varphi = 0,8$). Однако если сеть создает активно-емкостную нагрузку (например, из-за подключения к ней большого числа статических или вращающихся компенсаторов), то генератор для поддержания стабильного напряжения работает с недовозбуждением, т. е. при токе I_a , опережающем напряжение U . Такой режим неблагоприятен для него, так как с уменьшением тока возбуждения при заданной активной мощности P возрастает угол θ и снижается перегрузочная способность $M_{\max}/M_{\text{ном}}$, определяющая устойчивость машины.

Согласно Правилам Регистра частота ГА в статических и динамических режимах должна поддерживаться соответственно с точностью ± 5 и $\pm 10\%$ номинального значения. Время переходного процесса не должно превышать 5с.

Напряжение генераторов переменного тока должно поддерживаться в статических режимах с точностью $\pm 2,5\%$ номинального значения при изменениях нагрузки от холостого хода до номинальной. В динамических режимах при набросе 100% нагрузки и сбросе 50% наибольшее изменение напряжения не должно превышать 20% номинального значения, а время переходного процесса – 1,5 с.

16. Способы синхронизации генераторов переменного 3-х фазного тока - порядок действия.

Процесс включения генераторов на параллельную работу называется *синхронизацией* и может выполняться вручную, полуавтоматически и автоматически.

Различают три способа синхронизации генераторов: **точная синхронизация**, **самосинхронизация** и **грубая синхронизация** (через реактор).

17. Описать последовательность операций в процессе введения в параллель синхронных генераторов переменного 3-х фазного тока методом: точной синхронизации, грубой синхронизации.

Способ точной синхронизации (рис. 11): генератор включается на параллельную работу после выполнения условий синхронизации. Порядок выполнения операций при этом (считаем, что генератор Г1 работает) может быть следующий:

добиваются равенства частот включаемого генератора и цепи, изменяя частоту вращения первичного двигателя генератора Г2

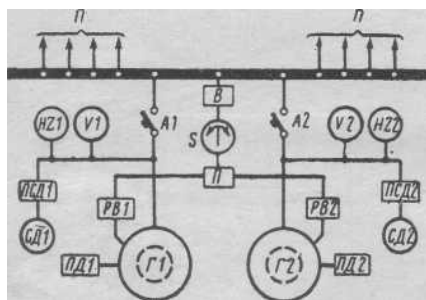


Рис. 11. Схема включения синхронных генераторов на параллельную работу методом точной синхронизации: П — потребители

посредством переключателя ПСД2 серводвигателя СД2 (частоту контролируют по частотомеру H_z2)\

уравнивают при помощи регулятора возбуждения РВ2, по вольтметрам В2 и В1, э. д. с. включаемого генератора и напряжения цепи;

используя синхроноскоп S путем изменения частоты вращения генератора Г2, добиваются совпадения фаз напряжений и замыкают автомат А2 синхронизируемого генератора.

После включения генератора на параллельную работу перераспределяют нагрузки между параллельно работающими генераторами.

При синхронизации для определения момента совпадения фаз используют лампы накаливания, нулевые вольтметры и стрелочные синхроноскопы. Лампы накаливания могут включаться «на

погасание» и «на вращение огня». При включении ламп на разность напряжений одноименных фаз (рис. 12, а) в момент совпадения напряжений по фазе (момент синхронизации) лампы гаснут, а при расхождении векторов напряжения на 180° они будут гореть, находясь под двойным напряжением. При включении ламп на вращение огня одна лампа включена на погасание (в момент синхронизации гаснет), а две других лампы включены на горение и в момент синхронизации находятся под линейным напряжением. Если лампы расположить по вершинам равностороннего треугольника, то при разной частоте вращения генераторов они будут зажигаться и гаснуть в определенном порядке. При этом будет создаваться впечатление вращающегося огня. **Включение генератора должно производиться, когда вращение огня прекращается.**

Способ Точной синхронизации обеспечивает наилучшие условия включения генераторов переменного тока на параллельную работу.

Действительно, при выполнении всех условий точной синхронизации геометрическая разность напряжений включаемого и работающего генераторов равна нулю и уравнивающий ток в момент включения генератора $\Gamma 2$ равен нулю. Однако включение генераторов с помощью этого способа вручную требует от обслуживающего персонала достаточного опыта. При неправильном включении генератора могут возникнуть большие броски тока и колебания напряжения.

Уравнивающий реактивный ток может иметь достаточно большую величину, наибольшее его значение будет при $\sigma = 180^\circ$.

Броски тока и колебания напряжения при неправильном включении генератора представляют опасность для генераторных агрегатов и ГРЩ, а также могут привести к нарушению устойчивости (выпадению из синхронизма) генераторов.

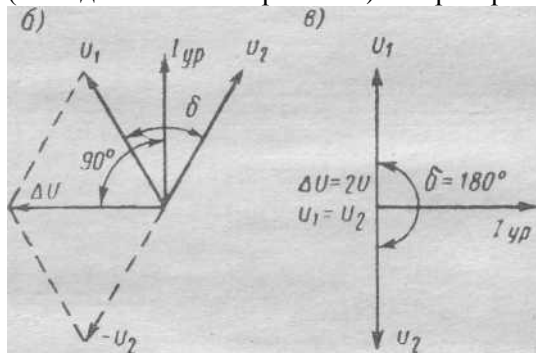


Рис. 13. Диаграммы напряжений и токов при синхронизации генераторов для различных углов: а) $\delta=0$; б) $0<\delta<90^\circ$; в) $\delta=180^\circ$

Способ грубой синхронизации (через реактор) в последние годы получил широкое распространение на судах. Сущность этого способа заключается в том, что для уменьшения уравнивающего тока в момент синхронизации между включаемым генератором и цепью (рис. 15) включается реактор (индуктивное сопротивление). Величина сопротивления реактора значительно больше суммы индуктивных сопротивлений обмоток статоров ге-

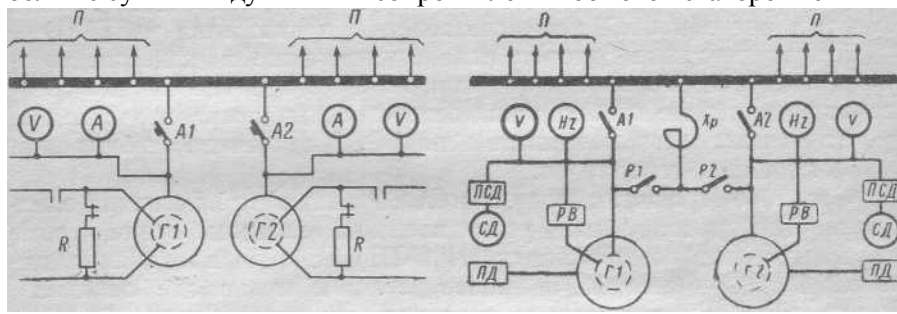


Рис. 14. Схема включения синхронных генераторов на параллельную работу методом самосинхронизации. Рис. 15. Схема включения синхронных генераторов на параллельную работу методом грубой синхронизации: П — потребители

При включении генераторов на параллельную работу этим способом не стремятся получить точного совпадения напряжений по фазе.

Если считать, что генератор $\Gamma 1$ работает и автомат $A 1$ включен, то для включения генератора $\Gamma 2$ на параллельную работу нужно выполнить следующие операции:

пользуясь вольтметрами и частотомерами, уравнивают напряжения и частоты генераторов;

включают генератор $\Gamma 2$ на шины через реактор χ_p с помощью рубильника $P 2$;

после уменьшения броска тока и колебаний напряжения включают автомат $A 2$ и

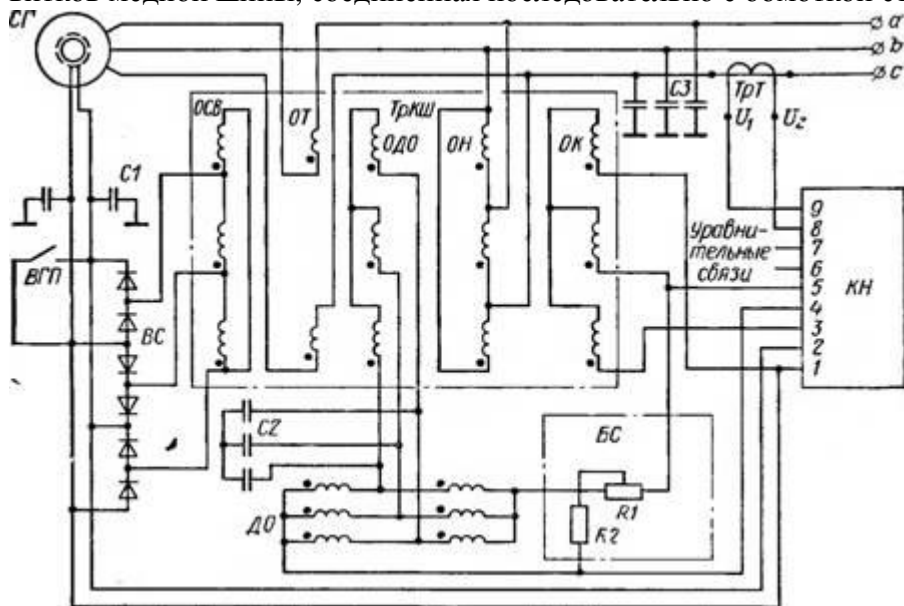
размыкают рубильник $P2$.

Таким образом, метод грубой синхронизации требует приблизительного равенства напряжений и частот, а в совпадении фаз вообще нет необходимости. Этот способ не требует большой квалификации обслуживающего персонала, синхронизация выполняется за короткое время и возможна при значительных колебаниях напряжения и частоты. Автоматизация грубой синхронизации может быть осуществлена проще, чем точной

18. Системы автоматической регулировки напряжения - · работа системы амплитудно-фазного компаунда,

Устройство и принцип действия. Система стабилизации напряжения СГ, основанная на принципе ПФК с корректором напряжения, обеспечивает (при изменении нагрузки СГ от 0 до 100%, частоты вращения — до $\pm 2\%$ номинальной, $\cos \phi$ — от 0,6 до 1) поддержание напряжения СГ в пределах $\pm 1\%$ номинального значения.

Система, примененная для синхронных генераторов типа МСК (рис. 24), состоит из компаундирующего трансформатора с магнитным шунтом ТрКШ, силовых выпрямителей ВС, дросселя отбора ДО, блока конденсаторов С2, блока сопротивлений БС и корректора напряжения КН. Трансформатор ТрКШ — основной элемент ССН — состоит из магнитопровода на трех стержнях с магнитным шунтом, на стержнях трансформатора расположены обмотки. По одну сторону магнитного шунта расположены обмотки напряжения ОН и питания цепей корректора напряжения ОК, по другую сторону — обмотки О ДО для питания дросселя и блока конденсаторов С2. В трансформаторе расположена вторичная обмотка ОСВ, которая подключена к силовым выпрямителям ВС. В двух фазах трансформатора сверху вторичной обмотки расположена токовая обмотка ОТ из нескольких витков медной шины, соединенная последовательно с обмоткой статора СГ.



Для стабилизации напряжения СГ при изменении нагрузки и $\cos \phi$ необходимо регулировать ток возбуждения. В данной ССН это осуществляется с помощью ПФК и корректора напряжения, где применяется комбинированное регулирование напряжения СГ. Трансформатор ТрКШ содержит все необходимые элементы для ПФК. Компаундирующим сопротивлением является магнитный шунт трансформатора.

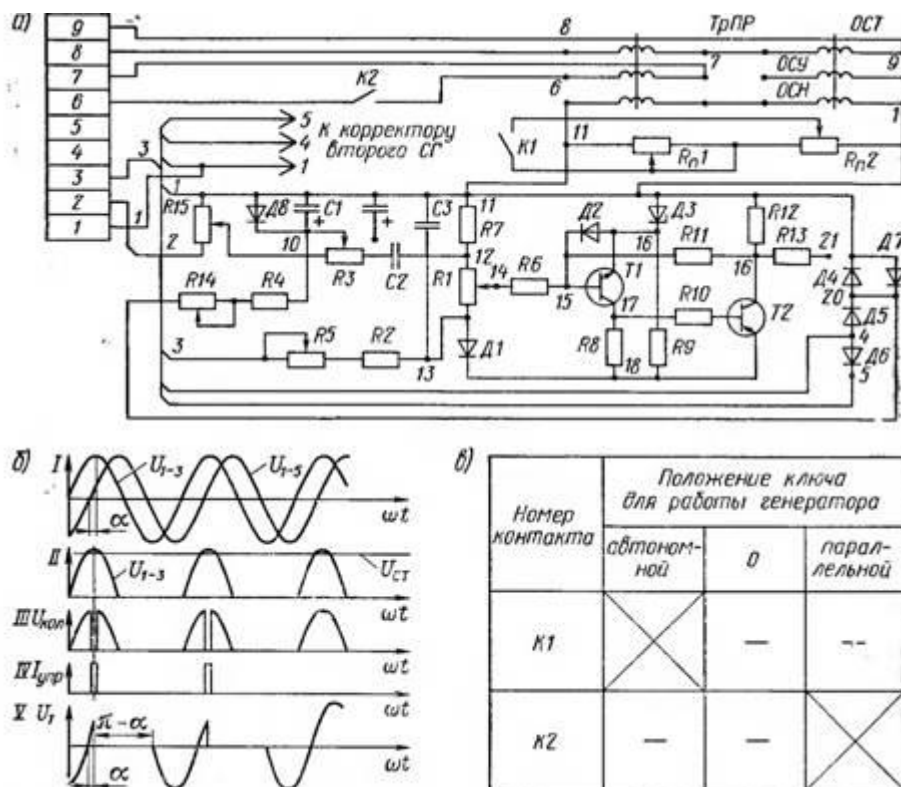


Рис. 26. Принципиальная схема корректора напряжения и диаграмма его работы
В ССН корректор напряжения предназначен для компенсации гистерезиса магнитной системы, магнитного насыщения, влияния температур обмоток генератора и его частоты вращения.

Корректор напряжения. Для точности поддержания постоянства напряжения СГ служит корректор напряжения. В комплекте с СГ типов МСК и ГМС применяют корректор напряжения типа БКН, представляющий собой релейно-импульсный регулятор с усилителем мощности на тиристоре (рис. 26, а). Корректор обеспечивает регулирование напряжения по отклонению напряжения СГ путем сравнения пропорционального напряжения СГ с эталонным и воздействует через тиристор на ток дросселя отбора.

Измерительный орган корректора служит для измерения каждой положительной полуволны напряжения генератора. Силовой тиристор Д4 работает в релейном режиме и регулирует ток дросселя отбора, что в свою очередь приводит к изменению тока возбуждения СГ.

Измерительный орган состоит из триггера, выполненного на транзисторах Т1 и Т2, и источника опорного напряжения на стабилитроне ДЗ.

На вход триггера и в цепь его питания (рис. 26, б, I) через диод Д1 подается однополупериодное напряжение U_{i-3} (рис. 26, б, II), пропорциональное напряжению генератора. Тиристор Д4 включен на напряжение (U_{-5} последовательно с цепью управления дросселя отбора. Вывод 1 является общим для тиристора Д4 и схемы управления. Если амплитуда измеряемого напряжения U_{i-3} на резисторе R1 превышает напряжение стабилизации /ст стабилитрона ДЗ, то триггер срабатывает — транзисторы Т1 и Т2 открываются (рис. 26, б, III). Сформированный импульс управления /упр (рис. 26, б, IV) подается в цепь управляющего электрода тиристора Д4, который будет открыт в течение времени $\pi - \alpha$, где α — угол регулирования (рис. 26, б, V).

При уменьшении напряжения генератора U_{i-3} транзисторы Т1 и Т2 триггера закрываются и отключают ток, протекающий через дроссель отбора. Уменьшение тока будет происходить с постоянной времени, определяемой значениями индуктивного и активного сопротивлений этой обмотки и обратным сопротивлением диода Д6.

Резисторы R6 и R11 определяют диапазон срабатывания триггера. Диод Д2 ограничивает обратное напряжение между эмиттером и базой транзистора Т1. Резистор R10 ограничивает ток базы транзистора Т2, резистор R13 — ток управляющего электрода тиристора. Диоды Д5

и Д7 служат для уменьшения обратного напряжения между анодом и катодом тиристора Д4. Резистор R8 определяет максимальный коллекторный ток транзистора Тin совместно с резистором R10 обеспечивает запирающее напряжение транзистора Т2 в режимах, когда тиристор Д4 закрыт. Контролируемое напряжение обмотки корректора подается на измерительный орган через низкочастотный фильтр, состоящий из резисторов R5 (точной установки напряжения), R2 и конденсатора С3. Фильтр предназначен для выделения первой гармоники измеряемого напряжения.

Последовательно с потенциометром грубой уставки R1 включены резисторы R7, Rn1 и Rn2, на которые подается напряжение обратной связи по напряжению обмотки возбуждения генератора и по напряжению на аноде тиристора через низкочастотный фильтр (потенциометр R3 и конденсаторы C1, C2). Подключение цепи обратной связи к обмотке возбуждения генератора осуществляется через потенциометр R15, к аноду тиристора — через резистор R4 и потенциометр R14. Диод Д8 служит для защиты электролитического конденсатора C1 при неправильном подсоединении цепей обратной связи. Реактивная нагрузка СГ зависит от тока возбуждения, от изменения которого зависит статизм внешней характеристики СГ. Равномерное распределение реактивных нагрузок между параллельно работающими СГ возможно при близком положительном статизме их внешних характеристик. В данной ССН при параллельной работе СГ изменение статизма характеристик обеспечивается трансформатором параллельной работы ТрПР резисторами статизма Rn1 и Rn2. Переключатель k1 замкнут при автономной работе СГ и разомкнут при их параллельной работе, k2 замкнут при параллельной работе СГ. Увеличение реактивной нагрузки

СГ вызывает повышение напряжения обмотки управления дросселя отбора и соответственно его переменного тока, что приводит к уменьшению тока возбуждения и напряжения одного из СГ, у второго СГ, наоборот, увеличиваются ток возбуждения и соответственно напряжение. В результате достигается автоматическое равномерное распределение реактивных нагрузок параллельно работающих СГ. При параллельной работе СГ одинаковых типа и мощности без изменения статизма внешних характеристик требуется предусмотреть уравнивающие соединения между их обмотками возбуждения. При нарушении равномерного распределения реактивных нагрузок между СГ напряжения на обмотках возбуждения становятся неодинаковыми и в уравнивающих соединениях появляется уравнивающий ток.

В корректоре напряжения ССН (см. рис. 26, а) предусматривается устройство для параллельной работы, состоящее из трансформатора параллельной работы ТрПР и подключенных к нему резисторов Rn1 и Rn2. Посредством этого устройства обеспечиваются автономная параллельная работа СГ с требуемым статизмом внешних характеристик с работой других СГ, а также параллельная работа СГ, имеющего уравнивающие соединения обмоток, с другими генераторами с аналогичной системой возбуждения.

При загрузке СГ по обмотке ОСТ трансформатора ТрПР протекает ток, который создает намагничивающие силы в половинах обмотки ОСИ, равные между собой и направленные друг против друга. Поэтому при автономной работе СГ падения напряжения на резисторах Rn1 и Rn2 равны между собой. Намагничивающие силы, создаваемые в двух половинах вторичной обмотки ОСН, равны и противоположны. Они не влияют на изменение статизма внешней характеристики СГ и соответственно их выходного напряжения.

При равномерном распределении реактивных нагрузок между параллельно работающими СГ, имеющими уравнивающие соединения, благодаря равенству падений напряжений на резисторах и соответственно на обмотках ОСУ ток через уравнивающие соединения протекать не будет.

В случае нарушения равномерного распределения нагрузок напряжения на обмотках ОСУ становятся неодинаковыми, вследствие чего в уравнивающих соединениях появляется ток, нарушается равенство намагничивающих сил в двух полуобмотках ОСН трансформатора ТрПР. При этом на входе измерительного органа корректора нагрузки у СГ с большей

нагрузкой напряжение увеличивается, ток возбуждения уменьшается, а у СГ с меньшей нагрузкой напряжение уменьшается, а ток возбуждения увеличивается. В результате выравниваются реактивные нагрузки и ток в уравнивательных соединениях не протекает.

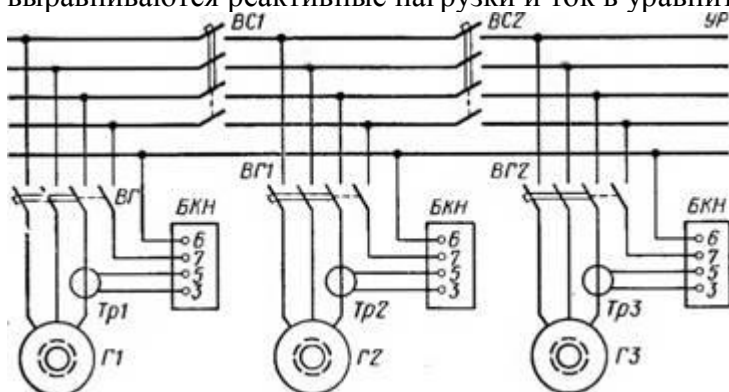


Рис. 27. Схема уравнивательных соединений при параллельной работе генераторов

Известно, что при изменении тока возбуждения СГ меняется статизм внешних характеристик СГ. При параллельной работе двух и более генераторов без уравнивательных соединений необходимо его изменить. В случае параллельной работы СГ без изменения статизма (рис. 27) следует соединить между собой уравнивательными проводами обмотки ОСУ, расположенные на одноступенчатых трансформаторах параллельно работающим СГ (см. рис. 26, а). При равномерном распределении реактивных нагрузок между СГ, как было показано, не будет протекать ток в уравнивательных проводах, а при нарушении распределения автоматически посредством трансформатора ТрПР и резисторов R_{n1} и R_{n2} нагрузки будут уравниваться.

Для равномерного распределения реактивных нагрузок в цепь возбуждения СГ с большим напряжением можно включить уравнивательный резистор. Он должен быть таким, чтобы в цепях возбуждения при автономной работе СГ (находящихся в одинаковом тепловом состоянии) напряжения были равны при номинальных нагрузке и напряжении. Тогда при параллельной работе СГ с одинаковой нагрузкой ток в уравнивательных соединениях отсутствует.

Начальное возбуждение СГ при холостом ходе обеспечивается наличием остаточного намагничивания в магнитной системе СГ. При вращении ротора с остаточным магнитным потоком в обмотке возбуждения возникает э.д.с., под действием которой появляется напряжение на обмотке ОС В трансформатора ТрКШ (см. рис. 24) и соответственно начальный ток возбуждения. Этот ток весьма мал из-за небольшого остаточного напряжения возбуждения и большого сопротивления силовых выпрямителей ВС в области малых напряжений. Для начального самовозбуждения СГ в схеме использован резонансный контур, состоящий из емкостного сопротивления конденсатора С2 и индуктивного сопротивления, обусловленного наличием магнитного шунта в ТрКШ. Индуктивное сопротивление можно изменить регулированием воздушного зазора магнитного шунта. Контур настраивается на резонанс при частоте, близкой к номинальной. Внешней нагрузкой резонансного контура является обмотка возбуждения СГ и силовых выпрямителей. При достижении СГ частоты вращения, близкой к номинальной, напряжение от остаточного намагничивания СГ вызывает появление в обмотке трансформатора ТрКШ резонансного тока, под влиянием которого напряжение в обмотке возбуждения достигает значения, достаточного для самовозбуждения СГ.

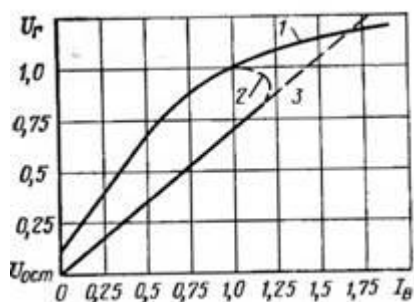


Рис. 28. Характеристики холостого хода СГ и самовозбуждения

На процесс самовозбуждения СГ (рис. 28) влияет взаимное расположение характеристики холостого хода генератора, определяемой его параметрами (кривая 1), и характеристики для самовозбуждения с корректором напряжения (кривая 2), определяемой параметрами как системы самовозбуждения, так и генератора. Кривая 3 — характеристика системы самовозбуждения без корректора напряжения. Угол наклона характеристики самовозбуждения пропорционален индуктивному сопротивлению магнитного шунта трансформатора. Напряжение генератора будет нарастать до значения, определяемого точкой пересечения характеристик холостого хода генератора и самовозбуждения. В точке пересечения характеристик 3 и 1 — высшее напряжение генератора, составляющее около 120—125% номинального.

При номинальном напряжении вступает в действие корректор напряжения. Процесс самовозбуждения заканчивается при напряжении генератора, определяемом заданным сопротивлением уставки.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ССН

Для стабилизации напряжения СГ при изменении нагрузки необходимо изменить намагничивающую силу и соответственно ток возбуждения таким образом, чтобы скомпенсировать падение напряжения СГ по продольной и поперечной осям. Характер изменения тока возбуждения при изменении нагрузки и $\cos\varphi$ должен соответствовать регулировочным характеристикам при постоянных напряжении и частоте вращения.

Регулировочные характеристики для нагрузок индуктивной смешанной и активной (см. рис. 7) показывают, что для одного и того же тока нагрузки при разных $\cos\varphi$ необходимы различные значения тока возбуждения I_B ; наибольшее — при чисто индуктивной нагрузке и наименьшее — при активной. Это обусловлено тем, что при индуктивной нагрузке намагничивающая сила реакции статора направлена по продольной оси против основной намагничивающей силы, а при активной нагрузке — поперек основного поля. В первом случае необходимо увеличить основную намагничивающую силу вследствие увеличения тока возбуждения, чтобы скомпенсировать намагничивающую силу реакции статора. Во втором случае практически не требуется компенсации реакции статора по продольной оси.

Таким образом, для стабилизации напряжения СГ при изменении нагрузки необходимо обеспечить регулирование тока возбуждения согласно регулировочным характеристикам СГ.

Из курса электрических машин известно, что ток возбуждения явнополюсного СГ при изменении нагрузки и $\cos\varphi$ изменяется по кривой, весьма близкой к окружности, — годографу (рис. 20). При этом намагничивающая сила и соответственно ток возбуждения СГ определяются геометрической суммой двух составляющих: тока возбуждения холостого хода и компаундирующей составляющей, соответствующей току нагрузки.

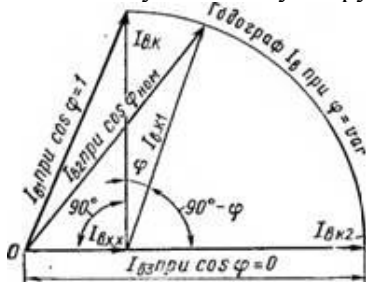


Рис. 20. Диаграмма изменения составляющих тока возбуждения СГ при изменении нагрузки и $\cos\varphi$

Стабилизация напряжения СГ при различных токе нагрузки и $\cos\varphi$ может быть достигнута геометрическим суммированием составляющих токов возбуждения, соответствующих напряжению и току нагрузки. При суммировании арифметически ток возбуждения не будет зависеть от $\cos\varphi$ и согласованной окажется одна пара регулировочных характеристик при определенном значении $\cos\varphi$.

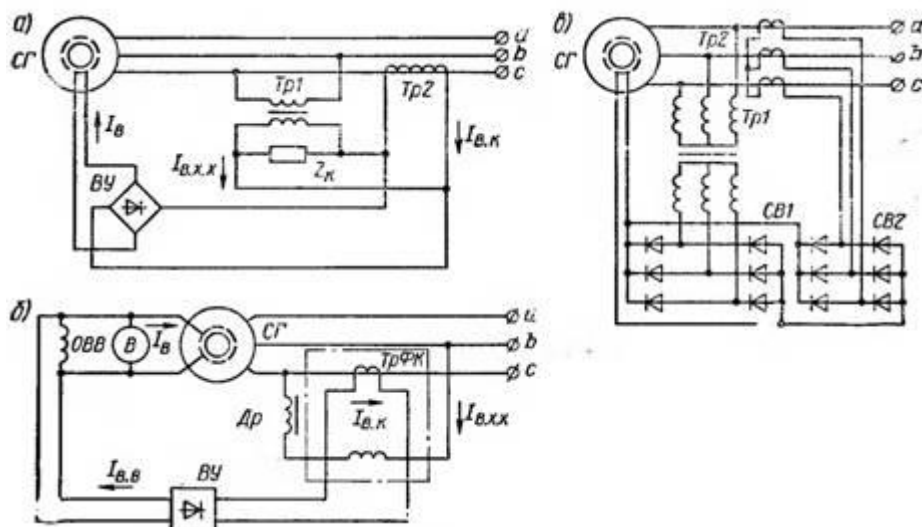
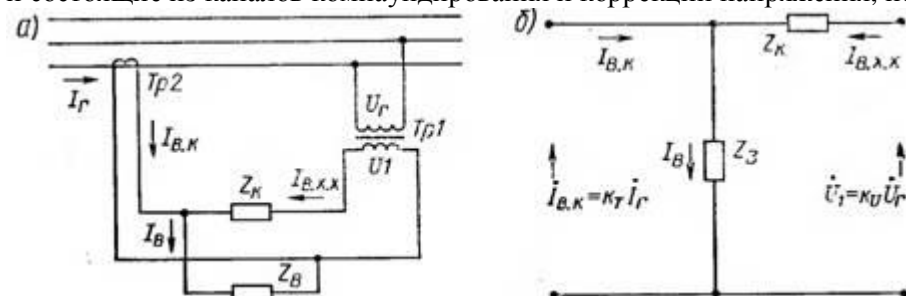


Рис. 21. Принципиальные схемы ССН с прямым и косвенным фазовым компаундированием и с токовым компаундированием СГ

В зависимости от суммирования составляющих тока возбуждения ССН могут быть построены по фазовому или по токовому компаундированию. В настоящее время на судах применяют ССН прямого и косвенного фазового компаундирования, встречаются отдельные ССН с прямым токовым компаундированием. Широко применяют комбинированные ССН, действующие по внешнему воздействию (изменением тока нагрузки и $\cos\varphi$) и отклонению регулируемой величины (напряжения) и состоящие из каналов компаундирования и коррекции напряжения, не зависящих один от другого.



На рис. 21, а представлена принципиальная схема ПФК генераторов. Она состоит из трансформаторов тока Тр2 и напряжения Тр1, вторичные обмотки которых соединены параллельно и подключены к выпрямительным устройствам ВУ, которые соединены с обмоткой возбуждения СГ. В схемах может быть применено последовательное соединение вторичных обмоток трансформаторов. Для геометрического суммирования составляющих в цепь обмотки трансформатора включают компаундирующий элемент ЗК, который может быть дросселем, конденсатором и магнитным шунтом в трансформаторе фазового компаундирования. Согласно приведенной схеме электромагнитное суммирование составляющих происходит на стороне переменного тока. Ток возбуждения генератора определяется геометрической суммой, соответствующей току нагрузки, току (напряжению) и зависит от $\cos\varphi$ нагрузки.

Принципиальную схему фазового компаундирования СГ (рис. 22, а) можно привести к эквивалентной, если в эквивалентной схеме (рис. 22, б) пренебречь рассеиванием, активным сопротивлением обмоток, намагничивающим током трансформаторов и активными потерями в магнитопроводах трансформатора. Из эквивалентной схемы следует, что ток возбуждения

$$\begin{aligned} \dot{I}_n &= \dot{I}_{n,к} + \dot{I}_{n,x,x}; \\ k_U \dot{U}_r &= \dot{U}_n + Z_k \dot{I}_n \end{aligned} \quad (10)$$

где k_U — коэффициент компаундирования по напряжению;

U_v — напряжение возбуждения СГ, В.

Ток компаундирования равен

$$\dot{I}_{в.к} = k_I \dot{I}_r,$$

где k_I — коэффициент компаундирования по току;

I_r — ток СГ, А.

Напряжение возбуждения СГ равно

$$\dot{U}_v = Z_B \dot{I}_{в.к},$$

где Z_B — эквивалентное сопротивление обмотки возбуждения СГ, Ом.

Подставляя в уравнения (9) и (10) приведенные выражения, получим выражение для тока возбуждения СГ:

$$I_v = \frac{1}{Z_K + Z_B} (k_I Z_K I_r + k_U \dot{U}_r). \quad (\text{и;})$$

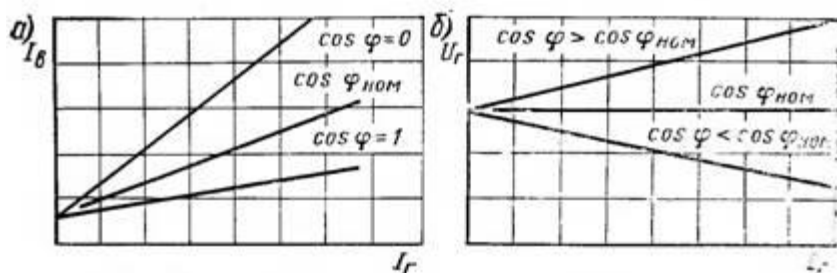


Рис. 23. Характеристики СГ при токовом компаундировании.

Из выражения (11) видно, что при отсутствии компаундирующего сопротивления ($Z_K=0$) ток возбуждения СГ будет определяться только составляющей тока напряжения и не будет обеспечена нормальная работа ССН при нагрузке. Ток возбуждения зависит от соотношения активной и реактивной составляющих Z_K . Если сопротивление Z_K — чисто индуктивное, то угол сдвига между векторами составляет около 90° (см. рис. 20). При этом происходит суммирование токов, что соответствует току возбуждения СГ. При чисто индуктивной нагрузке составляющие тока возбуждения суммируются (см. годограф на рис. 20). В ССН суммирование этих составляющих производится трансформатором фазового компаундирования с магнитным шунтом. Кроме систем ПФК, имеются ССН, построенные с косвенным фазовым компаундированием, где регулирующее воздействие осуществляется через возбудитель.

Схема ССН с косвенным фазовым компаундированием (рис. 21, б) состоит из трансформатора фазового компаундирования ТрФК, с включенным в обмотку напряжения дросселя ДрФ. В схеме ДрФ необходимо для обеспечения в ТрФК. геометрического суммирования токов соответствующих напряжению и току нагрузки с учетом $\cos \varphi$. Управляющее воздействие суммарного тока через выпрямительное устройство ВУ передается на возбудитель В и далее на обмотку возбуждения генератора. Эта система по сравнению с системой ПФК имеет меньшее быстродействие (из-за наличия промежуточного звена возбудителя) и соответственно меньшую надежность работы. В системах, построенных по прямому токовому компаундированию (рис. 21, в), ток возбуждения определяется током нагрузки при определенном значении $\cos \varphi$. Токи возбуждения, пропорциональные току и напряжению, арифметически суммируются. Вторичные обмотки трансформатора тока Тр2 и трансформатора напряжения Тр1 подсоединены на отдельные силовые выпрямители СВ1 и СВ2, включенные на обмотку возбуждения СГ.

Схема токового компаундирования обеспечивает суммирование составляющих тока возбуждения с номинальным значением $\cos \varphi$, при всех других значениях $\cos \varphi$ невозможна стабилизация напряжения СГ.

Из регулировочных (рис. 23, а) и внешних (рис. 23, б) характеристик СГ при токовом компаундировании видно, что стабилизация напряжения СГ достигается только при номинальном значении $\cos \varphi$. На большинстве судов имеются различные ССН с прямым и косвенным фазовым компаундированием, поэтому здесь деталь на рассматриваются наиболее характерные ССН, построенные на общих принципах.

Все ССН синхронных генераторов должны обеспечивать заданную точность стабилизации напряжения и устойчивую параллельную работу в установившихся и переходных режимах, начальное самовозбуждение, равномерное распределение реактивных нагрузок между параллельно работающими генераторами.

· работа системы распределения активных нагрузок - УРЦ.

Постоянство частоты тока — основное условие нормальной работы потребителей электроэнергии. Снижение частоты тока приводит к уменьшению частоты вращения электродвигателей электромеханизмов и к значительному понижению их производительности. Понижение частоты приводит к уменьшению к. п. д. первичных двигателей.

Повышение частоты тока сверх номинальной приводит к возрастанию мощности электродвигателей и к увеличению потребления электроэнергии судовыми механизмами; возрастает также температура нагрева, перегрев электродвигателей.

Регулирование частоты тесно связано с распределением активной мощности между агрегатами судовой электростанции, так как восстановление частоты в электроэнергетической системе достигается путем изменения активной мощности этих агрегатов.

Устройства автоматического регулирования должны поддерживать постоянство частоты в электроэнергетической системе при экономически наивыгоднейшем распределении нагрузки между агрегатами и обеспечивать высокую надежность работы системы как в нормальных, так и в аварийных режимах.

Причиной изменения частоты вращения является нарушение баланса между суммарной мощностью, вырабатываемой генераторами, и суммарной мощностью, потребляемой приемниками. Регулирование частоты тока осуществляется регуляторами частоты вращения первичных двигателей и регуляторами частоты тока. Первые непосредственно реагируют на изменение частоты вращения первичного двигателя, а вторые — на изменение тока генератора и его частоты.

Структурная схема системы автоматического регулирования частоты тока и распределения активной мощности (рис. 2-6) включает следующие элементы: измерительный элемент регулятора частоты вращения *ИЭРЧВ*, реагирующий на отклонение частоты вращения от заданного значения; исполнительный орган регулятора частоты вращения *ИОРЧВ*; измерительный орган частоты тока (датчик частоты) *ДЧ*; измерительный орган активного тока (датчик активного тока) *ДАТ*; усилитель *У*; серводвигатель *СД* — исполнительный орган устройства регулирования частоты тока и распределения активной мощности; первичный двигатель *ПД*, генератор *Г*.

При нарушении установившегося режима в системе приходят в действие регуляторы частоты вращения и частоты тока. В процессе регулирования устанавливается, новое значение частоты тока, определяемое статизмом характеристик регулирования. Регулирование частоты тока и активной мощности генераторов осуществляется воздействием на исполнительный орган регулятора частоты вращения первичного двигателя. Для регулирования частоты вращения и частоты тока применяются регуляторы с астатической 1 и статической 2 характеристиками (рис. 2-7) выражающими зависимость угловой скорости ω и частоты f от значения активной мощности P . При регулировании по астатической характеристике частота в системе остается постоянной независимо от величины нагрузки. Регулирование по статической характеристике дает возможность получить заданное распределение активной нагрузки между генераторами, но при этом с увеличением нагрузки частота уменьшается.

Коэффициент статизма характеристики регулирования определяется по формулам:

$$k_c = \frac{\omega_{x,x} - \omega_{ном}}{\omega_{x,x}} 100; \quad k_c = \frac{f_{x,x} - f_{ном}}{f_{x,x}} 100,$$

Где ω , f — угловая скорость и частота при холостом ходе;

($\omega_{ном.}$, $f_{ном}$ — угловая скорость и частота при номинальной активной нагрузке генератора.

Регуляторы частоты вращения характеризуются также степенью неравномерности

$$\delta = \frac{n_{x,x} - n_{ном}}{n_{ср}},$$

Статья I.

n — частота вращения при холостом ходе;

$n_{ном.}$ — частота вращения при номинальной нагрузке;

пер — частота вращения при половинной нагрузке.

Основной способ регулирования частоты вращения — по мгновенному отклонению регулируемого параметра. На этом принципе основаны центробежные регуляторы частоты вращения, широко используемые в судовых электроэнергетических системах.

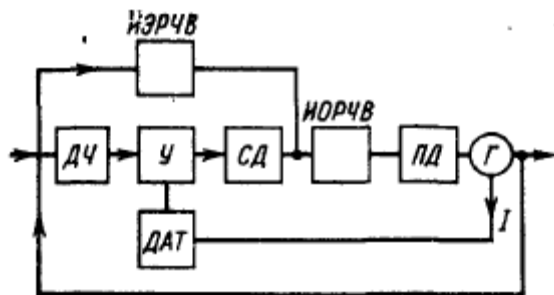


Рис. 2-6. Структурная схема системы автоматического регулирования частоты тока и распределения активной мощности

Устройство регулирования частоты и автоматического распределения активных нагрузок типа УРЧН.

На каждой из генераторных секций ГЭРЩ (рис. 2-8) установлены: датчик активного тока *ДАТ* и усилитель *У*; кроме того, на секции генератора *Г1* установлен прибор регулирования частоты *ПРЧ*. Каждый из датчиков активного тока *ДАТ* измеряет активную составляющую нагрузки своего генератора. Датчики активного тока через блокирующие контакты генераторных выключателей соединены по дифференциальной схеме. Разностный ток их выходов протекает по обмоткам управления всех магнитных усилителей устройства. Выбор базового агрегата (т. е. агрегата, регулировочная характеристика которого в процессе распределения остается фиксированной) осуществляется путем выключения питания, усилителя выбранного агрегата. Выход каждого усилителя включен на обмотку управления двигателя регулятора частоты вращения агрегата. Устройство типа УРЧН, включенное в систему, работает следующим образом. При равенстве значений активных нагрузок генераторов выходные токи датчиков активного тока равны, ток в цепи дифференциальной связи между датчиками отсутствует, напряжения на выходах усилителей равны нулю и двигатели регуляторов частоты вращения не работают.

При рассогласовании значений активных нагрузок агрегатов в цепи дифференциальной связи протекает ток, определяемый значением разности выходных токов датчиков *ДАТ*; на выходах усилителей появляется напряжение

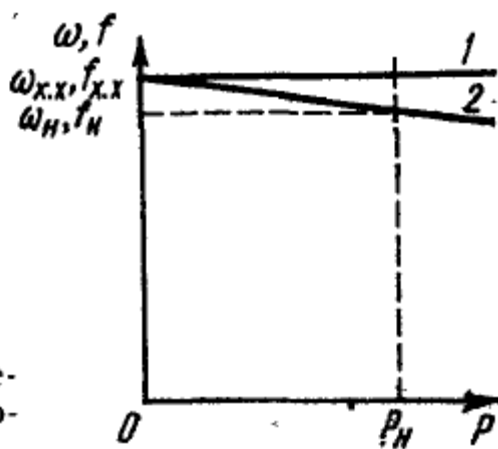


Рис. 2-7. Характеристики регулирования частоты

полярность которого определяется направлением тока в обмотке управления усилителя *У*. Включенные к выходам усилителей серводвигатели *СД* в зависимости от полярности сигналов воздействуют на настройки регуляторов частоты вращения *РЧВ*, которые соответственно перемещают регулировочные характеристики регуляторов частоты вращения

агрегатов в сторону уменьшения величины рассогласования активных нагрузок, чем достигается пропорциональное распределение активной мощности между генераторами.

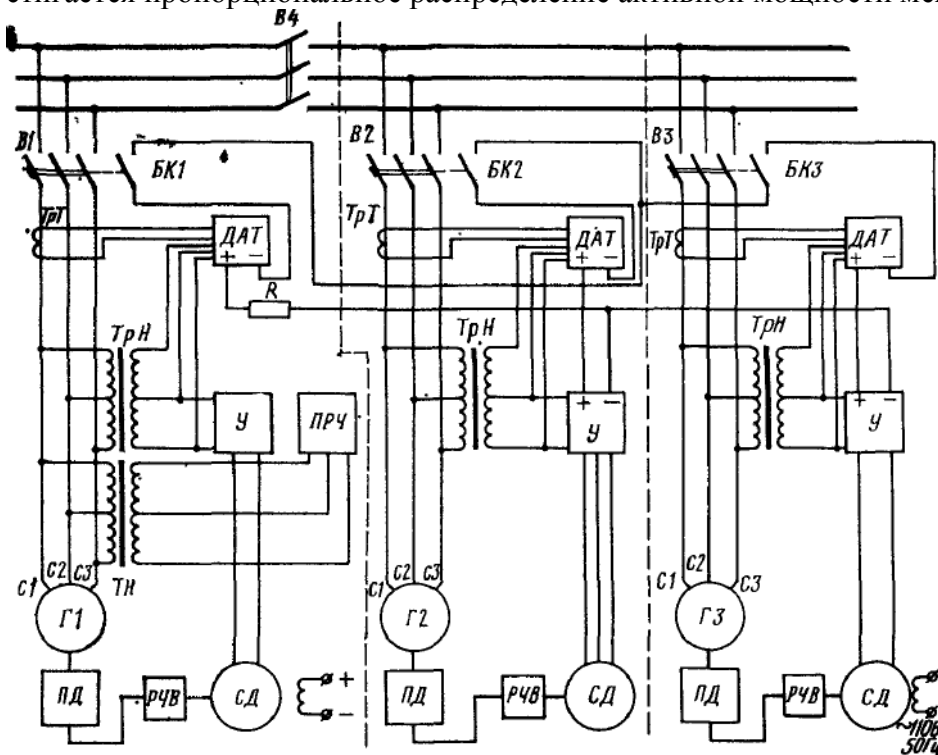


Рис. 2-8 Система автоматического регулирования частоты и распределения активной нагрузки

Схемы уравнивательных связей при параллельной работе синхронных генераторов.

Уравнивательные связи применяются для равномерного распределения реактивных нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами, имеющими автоматическую систему регулирования напряжения. Уравнивательные связи осуществляют на постоянном и на переменном токе. Принцип осуществления уравнивательных связей на постоянном токе является единым для всех систем регулирования. В этом случае силовые выпрямители параллельно работающих генераторов по существу в свою очередь работают параллельно на общие шины, от которых при одинаковом напряжении питаются обмотки возбуждения генераторов. Если генераторы разной мощности, то в обмотку возбуждения генератора меньшей мощности включается соответствующий уравнивательный резистор.

Схемы уравнивательных связей на переменном токе для различных систем регулирования имеют специфические особенности.