

Лекция 5

1. Системы возбуждения тяговых генераторов. Требования к характеристикам генераторов.
2. Системы возбуждения при выпуклых характеристиках генератора.
3. Системы возбуждения при гиперболических характеристиках генератора.
4. Совместная работа теплового двигателя и генератора.

1

Для обеспечения изменения силы тяги и скорости локомотива, требуется регулирование тока нагрузки и напряжения генератора. Максимальные возможные значения тока и напряжения зависят от тяговых параметров локомотива — сцепного веса, мощности теплового двигателя, максимальной скорости движения и от параметров тяговых электродвигателей. Зависимость между мощностью, напряжением и током генератора определяется равенством

$$P_2 = \eta_g P_d = U_2 I_2,$$

где P_2 — полезная мощность генератора; $P_d = P_e - P_{вн}$ — мощность на валу генератора, называемая далее «свободной» мощностью теплового двигателя; P_e — эффективная мощность на валу теплового двигателя; $P_{вн} = (0,05 \div 0,07) P_e$ — мощность, расходуемая на вспомогательные нужды; $\eta_g = 0,92 \div 0,95$ — КПД генератора.

Если пренебречь изменением вспомогательной нагрузки и КПД генератора, которые относительно мало меняются при постоянной мощности теплового двигателя, то предельная по мощности теплового двигателя зависимость $U_2(I_2)$ изображается равнобокой гиперболой BC (рис. 5.1а). Она соответствует свободной мощности теплового двигателя при номинальном режиме, который, как правило, является предельным.

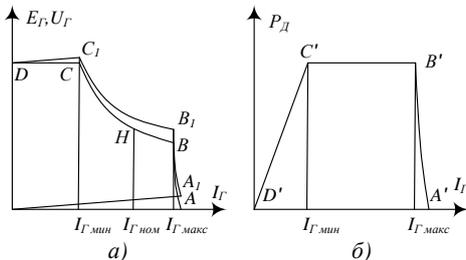


Рис. 5.1

Максимальное значение тока генератора определяется максимальным током тяговых двигателей, который в свою очередь зависит от предельной по сцеплению колес с рельсами силы тяги. Так как коэффициент сцепления немного снижается при увеличении скорости движения, предельный по условиям сцепления ток генератора уменьшается при повышении напряжения и может быть изображен линией AB (см. рис. 5.1а).

Максимальное значение напряжения генератора должно быть достаточным для обеспечения максимальной скорости движения поезда. Для наибольшего использования мощности теплового двигателя желательно, чтобы максимальная рабочая скорость могла быть реализована при полной мощности теплового двигателя, что соответствует некоторой точке C линии ограничения по мощности. Тогда ограничение по максимальному напряжению генератора может быть изображено горизонтальной линией CD , так как напряжение большее, чем в точке C , не требуется.

Линия $ABCD$ представляет собой предельную внешнюю характеристику генератора, которую можно использовать при заданных тяговых параметрах локомотива. Зависимость $P_d(I_2)$ свободной мощности теплового двигателя от тока генератора, соответствующая предельной внешней характеристике генератора, изображена на рис. 5.1 б. Полная мощность теплового двигателя может быть использована в диапазоне изменения тока от $I_{г\text{ мин}}$ (при максимальной скорости движения) до $I_{г\text{ макс}}$ (при наибольшей силе тяги).

Практически возможны также ограничения характеристики по режиму работы электропередачи. Как известно, в условиях эксплуатации коэффициент сцепления колеблется в широких пределах. Режим максимального тока при полной мощности является для генератора наиболее тяжелым по коммутации. Следует добиваться, чтобы ограничение по коммутации не препятствовало полному использованию сцепного веса локомотива при любых условиях сцепления.

Максимальные значения тока по линии BA реализуются при трогании поезда в течение короткого времени. Длительный ток, допустимый по нагреванию тяговых двигателей и генератора в течение неограниченного времени, меньше максимального и соответствует некоторой точке H на характеристике (см. рис. 5.1а).

В современном теплоэлектрическом подвижном составе, как правило, электропередача выполняется так, чтобы возможность полного использования тяговых параметров была обеспечена и ограничения по режиму ее работы были за пределами ограничений по тяговым параметрам. В некоторых локомотивах вследствие напряженных нагрузок электропередачи или для снижения веса последней максимальное напряжение ограничивается режимами электропередачи. При этом полная мощность теплового двигателя не может быть использована при больших скоростях.

При построении характеристик генератора иногда удобно пользоваться не напряжением генератора, а его ЭДС:

$$E_2 = U_2 - I_2 R_2,$$

где R_2 — сопротивление последовательных обмоток генератора.

В этом случае можно пользоваться также величиной электромагнитной мощности

$$P_{э} = \eta_{мг} P_{д} = E_{г} I_{г}, \quad (5.1)$$

где $\eta_{мг} = 0,97 \dots 0,98$ – коэффициент, учитывающий магнитные и механические потери в генераторе.

Предельная внутренняя характеристика $E_{г}(I_{г})$ генератора представлена на рис. 5.1а линией $B_1A_1C_1D_1$ и отличается от предельной внешней характеристики на величину ординат линии OA_1 падения напряжения в цепи якоря генератора.

Разделив все члены равенства (5.1) на угловую скорость $\omega_{д}$, получим

$$M_{э} = \eta_{мг} M_{д} = c_{м} \Phi_{г} I_{г},$$

где $M_{э}$ – электромагнитный момент генератора; $M_{д}$ – крутящий момент, передаваемый от дизеля генератору; $\Phi_{г}$ – магнитный поток генератора; $c_{м}$ – постоянная генератора.

Отсюда следует, что при постоянной мощности теплового двигателя зависимость магнитного потока генератора от тока нагрузки является также приблизительно гиперболической. Если между тепловым двигателем и генератором имеется зубчатая передача, передаточное отношение входит в коэффициент $c_{м}$, момент и скорость приводятся к валу теплового двигателя.

Важнейшим требованием к электропередаче является обеспечение работы генератора по предельной характеристике $ABCD$. Для этого прежде всего необходимо, чтобы элементы ее были рассчитаны на работу по этой характеристике. Возможность практической реализации предельной характеристики зависит также от характеристик и системы регулирования электропередачи и, в частности, от системы возбуждения генератора.

При движении поезда на участке с переменным профилем пути предельная характеристика не всегда может быть реализована. На уклонах реализуемая мощность уменьшается вследствие ограничений по скорости, в ряде случаев (проезд раздельных пунктов, в кривых участках пути малого радиуса и т. п.) мощность необходимо уменьшать для снижения скорости. Полная мощность не может быть реализована в начале разгона поезда после остановки и при движении локомотива с малым числом вагонов.

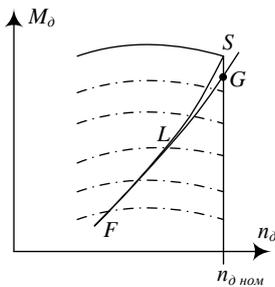


Рис. 5.2

(см. рис. 5.2), то крутящий момент следует изменять по линии SGF или хотя бы по линии SLF .

Если в двигателе, работающем в номинальном режиме, уменьшить подачу топлива, угловая скорость двигатель-генератора начнет снижаться согласно уравнению движения

$$M_{д} - M_{г} = J \frac{d\omega_{д}}{dt}.$$

Равновесный режим наступит, когда момент сопротивления генератора станет равным моменту теплового двигателя при новой подаче топлива. Для этого, очевидно, необходимо, чтобы момент сопротивления генератора уменьшался при снижении скорости. Для того чтобы двигатель работал в режиме наибольшей экономичности, зависимость момента сопротивления генератора от угловой скорости должна соответствовать линии FS или FG . Линии наибольшей экономичности различны для разных тепловых двигателей. Следовательно, для экономичной работы необходимо для каждого двигателя подбирать требуемую зависимость $M_{г}(\omega_{д})$.

Пониженная мощность двигатель-генератора может быть реализована при малых токах нагрузки генератора (например, при движении на уклоне с малой силой тяги) и при больших токах (трогание поезда большого веса). Для соответствия момента сопротивления генератора режиму наибольшей экономичности при любых возможных нагрузках нужно, чтобы при любой угловой скорости магнитный поток генератора изменялся приблизительно обратно пропорционально току. Высокая точность поддержания постоянного момента при этом не обязательна, поскольку в зоне наибольшей экономичности КПД теплового двигателя сравнительно мало меняется при некоторых отклонениях момента или скорости. Величина тока нагрузки определяет силу тяги, развиваемую тяговыми электродвигателями. При установившемся движении сила тяги равна силе сопротивления движению и, следовательно, зависит от скорости движения, профиля пути и других внешних для двигатель-генератора условия работы. Кроме того, как указывалось, при каждой угловой скорости двигатель-генератора требуется реализация различных величин тока. Поэтому принудительное регулирование тока в зависимости от угловой скорости двигатель-генератора нецелесообразно, за исключением режима трогания поезда, рассмотренного ниже.

Отсюда вытекает, что при движении поезда на участке необходимо изменять магнитный поток генератора в зависимости от угловой скорости. При некотором заданном токе нагрузки момент сопротивления пропорционален магнитному потоку, и, следовательно график зависимости $\Phi_z(n_d)$ при $I_z = const$ должен быть близким по форме к линии наибольшей экономичности теплового двигателя (например, кривая FS на рис. 5.2). При изменении тока нагрузки масштаб ординат графика меняется. Диапазон изменения тока зависит от тяговых параметров. Следовательно, требуемые характеристики зависимости $\Phi_z(n_d)$ имеют вид сетки кривых (рис. 5.3).

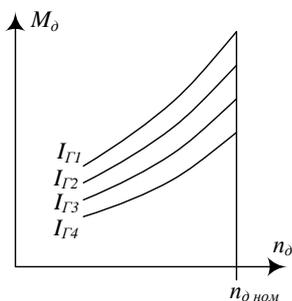


Рис. 5.3

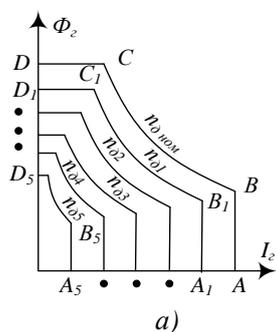
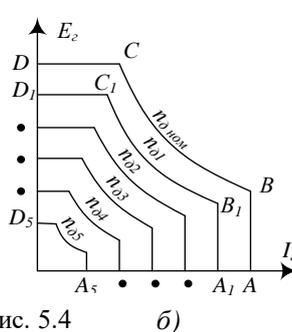


Рис. 5.4 а)



б)

Для разных тепловых двигателей форма и наклон характеристики существенно различны, однако во всех случаях магнитный поток должен увеличиваться при возрастании угловой скорости.

Как будет показано ниже, от наклона кривой $M_z(n_d)$ зависит степень использования полной мощности и стабильность

режима работы теплового двигателя при саморегулировании.

Таким образом, требуемые зависимости $\Phi_z(n_d)$ должны быть определены при проектировании с учетом особенностей характеристик и параметров теплового двигателя и электропередачи. По этим характеристикам может быть построена сетка кривых $\Phi_z(I_z)$ (рис. 5.4а) и $E_z(I_z)$ (рис. 5.4б) при различных угловых скоростях.

Сила тяги локомотива при трогании поезда с места должна устанавливаться в зависимости от желательного ускорения последнего, его веса и условий сцепления. Минимальная пусковая сила тяги не должна превышать величины, определяемой допустимым ускорением (0,4...0,6 м/сек²) при трогании локомотива без поезда на горизонтальном пути. Максимальная сила тяги ограничивается условиями сцепления его колес с рельсами. Должна быть также обеспечена возможность реализации промежуточных значений пусковой силы тяги путем плавного или ступенчатого изменения ее. Количество ступеней в последнем случае должно быть достаточным, чтобы при переключении ступеней толчки силы тяги и тока не были слишком велики. Величина пусковой силы тяги выбирается машинистом (или автомашинистом) в зависимости от указанных выше условий.

Если тяговые электродвигатели работают по своим естественным характеристикам, потребляемый ими ток снижается по мере увеличения скорости движения и машинист для обеспечения требуемого ускорения должен переводить рукоятку контроллера для увеличения силы тяги. При этом возникают толчки тока, которые при недостаточно умелом управлении могут привести к потере сцепления колес с рельсами. Наиболее совершенный способ управления пуском заключается в сочетании возможности выбора пусковой силы тяги по условиям пуска с автоматическим поддержанием приблизительно постоянной величины ее в процессе пуска. При этом упрощается управление, обеспечивается плавный пуск и уменьшается опасность потери сцепления колес с рельсами.

Сила тяги определяется токами электродвигателей, пропорциональными току генератора. Следовательно, указанный способ пуска может быть обеспечен, если ток генератора при пуске поддерживается приблизительно постоянным для заданного положения рукоятки контроллера и меняется при изменении ее положения, как показано линиями $A_1B_1, A_2B_2...$ (см. рис. 5.4). В принципе возможно раздельное управление изменением мощности дизеля (линии B_1C_1, B_2C_2) и пускового тока. Преимуществом раздельного управления является возможность выбора любой силы тяги при пуске и любой мощности в конце пуска, что делает управление более гибким. Практически наиболее часто применяется управление одной рукояткой таким образом, что каждому положению ее соответствуют определенные пусковой ток и режим теплового двигателя, т. е. определенная характеристика $A_1B_1C_1, A_2B_2C_2, ...$

При уменьшении угловой скорости и мощности целесообразно также снижать максимальную величину магнитного потока генератора, чтобы уменьшить мощность возбудителя. Для получения наибольшей мощности при пониженной скорости пришлось бы увеличивать размеры возбудителя.

Таким образом, серия характеристик вида $A_1B_1C_1D_1, A_2B_2C_2D_2$ (рис. 5.4) в сочетании с характеристиками (см. рис. 5.3) является наиболее желательной, причем распределение характеристик должно быть по возможности равномерным в диапазоне частот вращения вала дизеля от $n_{d ном}$ до $n_{d 5}$

Характеристики (рис. 5.4а и 5.4б) можно получить, изменяя магнитный поток или н. с. генератора по двум параметрам: току нагрузки и угловой скорости. Магнитный поток должен увеличиваться при возрастании угловой скорости. При увеличении тока нагрузки от нуля магнитный поток (или напряжение) должен сохраняться приблизительно постоянным, затем уменьшаться приблизительно обратно пропорционально току, после чего снижаться при сравнительно постоянном токе. Следует отметить, что во второй зоне важно не получение определенной формы характеристики генератора, а обеспечение использования той мощности, которую может развить тепловой двигатель при номинальной скорости и наибольшей допустимой подаче топлива.

Указанные задачи могут быть решены наиболее полно и точно с помощью специальных систем автоматического регулирования. Такие системы получили широкое распространение в различных видах теплоэлектрического подвижного состава, и в настоящее время ведутся интенсивные работы по созданию и исследованию новых, совершенных систем автоматического регулирования.

Нередко применяются системы возбуждения генератора, при которых без использования специальных регулирующих устройств могут быть характеристики генератора, в большей или меньшей степени приближающиеся к требуемым. Такие системы в отличие от систем автоматического регулирования называются системами саморегулирования двигатель-генератора. Уступая первым по точности регулирования, они являются более простыми по схеме и более надежными в работе. Находят применение также системы, являющиеся сочетанием систем саморегулирования с системами автоматического регулирования. В этих системах регуляторы служат для повышения использования мощности и улучшения пусковых характеристик.

В данном курсе рассматриваются наиболее характерные примеры систем возбуждения генератора без регуляторов, т. е. систем саморегулирования, и характеристики, создаваемые ими. В зависимости от формы внешних характеристик $U_2(I_2)$ или соответствующих им кривых $\Phi_2(I_2)$ эти системы можно разделить на две группы. При использовании схем одной группы указанные характеристики при неизменной угловой скорости имеют вид кривых, выпуклых относительно осей координат. Эти характеристики в дальнейшем называются кратко выпуклыми. В системах другой группы получаются характеристики, близкие по форме к кривым BC, B_1C_1, \dots (см. рис. 5.4), которые условно называются в дальнейшем гиперболическими.

2

Трехобмоточный генератор

Трехобмоточным называют генератор, имеющий три обмотки возбуждения: независимую, параллельную и последовательную, действующую навстречу двум первым (см. рис. 5.5). Якоря тягового генератора $G1$ и возбудителя $G2$ приводятся во вращение от дизеля, а обмотка возбуждения $L4$ получает питание от независимого источника (аккумуляторной батареи). Независимая обмотка возбуждения $L3$ тягового генератора может получать питание и от источника с постоянным напряжением, например, от аккумулятора.

Результирующая н. с. обмоток генератора

$$F_2 = F_{нез} + F_{нар} - F_{посл} - F_{р я},$$

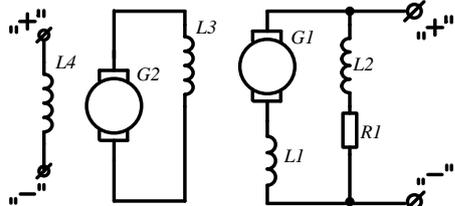


Рис. 5.5

где $F_{нез} = W_{нез} i_{нез}$ – н.с. обмотки независимого возбуждения с числом витков $W_{нез}$ на полюс; $F_{нар} = W_{нар} i_{нар}$ – н.с. обмотки параллельного возбуждения с числом витков $W_{нар}$ на полюс; $F_{посл} = W_{посл} I_2$ – н.с. последовательной обмотки с числом витков $W_{посл}$ на полюс; $F_{р я} = K_{р я} I_2$ – н.с., эквивалентная размагничивающему действию реакции якоря, которая может быть сведена к нулю при повороте щёток от нейтрали против направления вращения якоря.

Н. с. параллельной обмотки

$$F_{нар} = W_{нар} i_{нар} = W_{нар} \frac{U_2}{R_{нар}} = \frac{W_{нар}}{R_{нар}} E_2 - \frac{W_{нар} R_2}{R_{нар}} I_2,$$

где $W_{нар}$ и $R_{нар}$ – количество витков на полюс и сопротивление цепи (вместе с добавочным сопротивлением) параллельной обмотки возбуждения соответственно; R_2 – сопротивление цепи якоря генератора.

Следовательно н. с. генератора

$$F_2 = F_{нез} + \frac{W_{нар}}{R_{нар}} E_2 - w'_{посл} I_2 = F_{нез} + \frac{W_{нар}}{R_{нар}} c_e \Phi_2 \omega_D - w'_{посл} I_2, \quad (5.2)$$

где $w'_{посл} = W_{посл} + \frac{W_{нар} R_2}{R_{нар}} + K_{р я}$.

Обозначив через λ_Γ магнитную проводимость магнитной цепи генератора, получим

$$\Phi_2 = \lambda_\Gamma F_2 = \lambda_\Gamma F_{нез} + \frac{\lambda_\Gamma W_{нар} c_e}{R_{нар}} \Phi_2 \omega_D - \lambda_\Gamma w'_{посл} I_2$$

или
$$\Phi_2 = \frac{\lambda_\Gamma F_{нез} - \lambda_\Gamma w'_{посл} I_2}{1 - \frac{\lambda_\Gamma W_{нар} c_e}{R_{нар}} \omega_D}. \quad (5.3)$$

Из равенства (5.3) следует, что трехобмоточный генератор удовлетворяет основным требованиям саморегулирования двигатель-генератора, так как магнитный поток уменьшается с увеличением тока нагрузки и возрастает с повышением угловой скорости.

Если магнитная цепь генератора при всех значениях магнитного потока является ненасыщенной, то магнитную проводимость и коэффициент реакции якоря можно приближенно принять постоянными.

На рис. 5.6 приведены кривые, показывающие характер зависимости магнитного потока от тока нагрузки и частоты вращения вала дизеля при ненасыщенной магнитной цепи генератора. Зависимость магнитного потока от тока является линейной.

Максимальное значение тока по равенству (5.2) получается из условия $\Phi_2=0$, чему соответствует ток

$$I_{z0} = \frac{w_{нез} i_{нез}}{w'_{посл}}$$

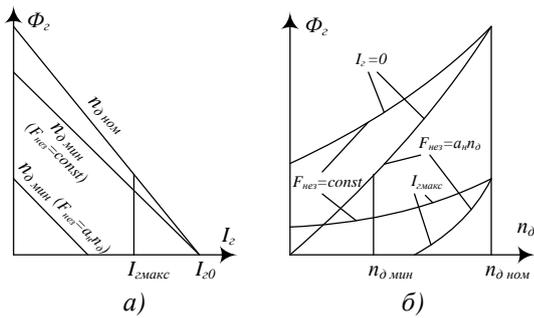


Рис. 5.6

Из равенства (5.2) следует, что при холостом ходе ($I_z = 0$) н. с. генератора равна сумме н. с. независимой и параллельной обмоток. Отложив по оси абсцисс отрезки (рис. 5.7) $0a = F_{нез}$ и $ac = F_{нар}$, получим э. д. с. холостого хода генератора $E_z = \epsilon c$.

Угловым коэффициентом прямой $ав$ (отношение ординаты к абсциссе) определяется из равенства

$$\kappa_{нар} = \frac{\epsilon c}{ac} = \frac{E_z}{F_{нар}} = \frac{E_z}{\frac{w_{нар}}{R_{нар}} E_z} = \frac{R_{нар}}{w_{нар}}$$

Нетрудно убедиться, что прямая $ав$ является линией зависимости падения напряжения в цепи параллельной обмотки от н. с., так как для любого значения н. с. параллельной обмотки $F_{нар} = af$

$$\epsilon f = af \frac{\epsilon c}{ac} = \kappa_{нар} F_{нар1} = w_{нар} i_{нар1} \frac{R_{нар}}{w_{нар}} = R_{нар} i_{нар1},$$

где $i_{нар1}$ – ток параллельной обмотки для точки e .

При холостом ходе падение напряжения в цепи параллельной обмотки равно ЭДС генератора. Следовательно, ЭДС определяется точкой пересечения характеристики холостого хода с линией падения напряжения в параллельной обмотке, проведенной из точки a под углом β с угловым коэффициентом $\kappa_{нар}$, зависящим только от параметров цепи параллельной обмотки.

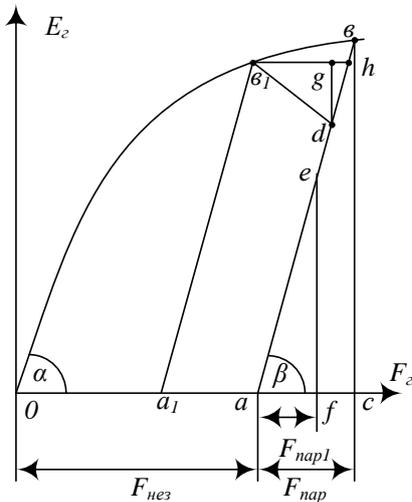


Рис. 5.7

При некотором токе нагрузки $I_{Г1}$ ЭДС генератора снижается вследствие размагничивающего влияния последовательной обмотки и реакции якоря, а также из-за уменьшения н. с. параллельной обмотки в результате снижения напряжения в ее цепи. Для определения ЭДС и напряжения генератора необходимо построить треугольник v_1gd (см. рис. 5.7) с катетами $v_1g = (\kappa_{ря} + w_{посл}) I_{z1}$ и $gd = R_z I_{z1}$ и расположить его так, чтобы вершина d находилась на линии $ав$, так как напряжение генератора равно падению напряжения в цепи параллельной обмотки. При этом ордината точки d определяет напряжение генератора и ордината точки v_1 – его ЭДС при токе I_{z1} .

Если провести прямую a_1v_1 , параллельную $ав$, то

$$aa_1 = v_1g + gh = v_1g + \kappa_{нар} gd = (\kappa_{ря} + w_{посл}) I_{u1} = w'_{посл} I_{u1}.$$

Следовательно, для определения ЭДС генератора при любом токе следует отложить от точки a влево отрезок aa_1 , равный произведению $w_{посл}$ на заданный ток, и из точки a_1 провести прямую, параллельную линии $ав$ до пересечения с характеристикой холостого хода.

На рис. 5.8 изображено построение внутренней характеристики генератора $E_z(I_z)$ (левый квадрант) по двум характеристикам холостого хода при различных насыщениях магнитной цепи (правый квадрант). Из построения видно, что форма внутренней характеристики определяется формой характеристики холостого хода

Коэффициент $\kappa_{ря}$, учитывающий размагничивающее влияние реакции якоря, можно принимать постоянным только при ориентировочных предварительных расчетах. Практически для расчета характеристик необходимо пользоваться нагрузочными характеристиками, представляющими собой зависимость E_z или магнитного потока E_z/n_d от намагничивающей силы F_z при различных токах нагрузки (см. рис. 5.9).

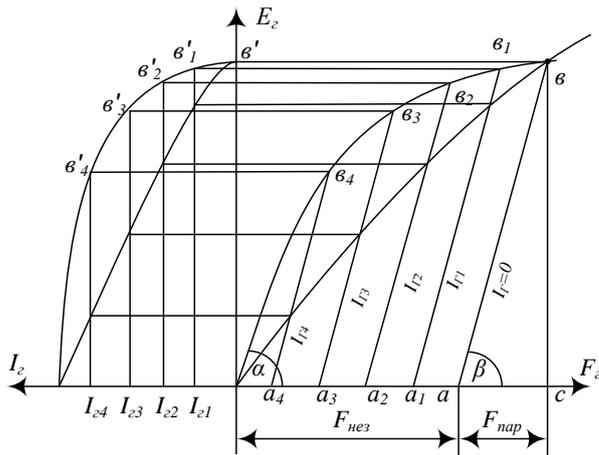


Рис. 5.8

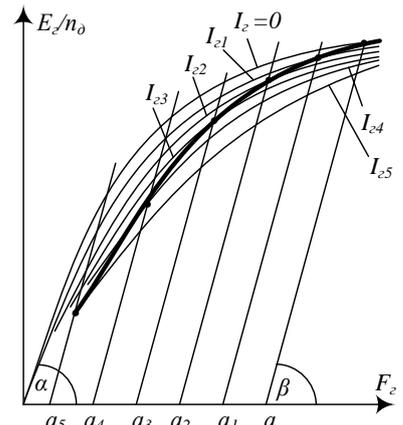


Рис. 5.9

Параметры обмоток возбуждения выбирают по режимам ($E_{2\max}$, $I_{2\min}$) и ($E_{2\min}$, $I_{2\max}$) при номинальной мощности. При этом

$$F_{2\max} = F_{\text{нез}} + \frac{I}{K_{\text{пар}}} E_{2\max} - w''_{\text{посл}} I_{2\min}$$

и

$$F_{2\min} = F_{\text{нез}} + \frac{I}{K_{\text{пар}}} E_{2\min} - w''_{\text{посл}} I_{2\max}$$

где $w''_{\text{посл}} = w_{\text{посл}} + \frac{w_{\text{пар}} R_2}{R_{\text{пар}}}$. Так как число неизвестных больше числа уравнений, одна из величин предварительно

задается. Удобно выбрать коэффициент $K_{\text{пар}}$ так, чтобы угол β был немного больше угла α . Затем полученное число витков последовательной обмотки округляют до целого числа. Возможно использование двух параллельных цепей в последовательной обмотке. При этом эффективное число витков, может быть кратным 0,5.

Генератор со встречной обмоткой (противокомпаундный)

Наличие отдельного возбуждателя обеспечивает зависимость магнитного потока от угловой скорости, и параллельная обмотка генератора не является в этом случае обязательной. Поэтому нередко применяют генератор с двумя обмотками: независимого возбуждения, питающейся от возбуждателя, и последовательной, действующей навстречу первой (рис. 5.10). Такой генератор иногда называют противокомпаундным. Результирующая н. с. обмоток генератора

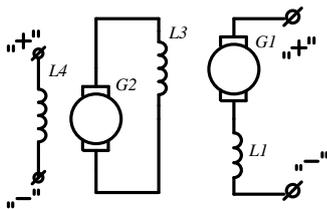


Рис. 5.10

$$F_2 = F_{\text{нез}} - w_{\text{посл}} I_2 - F_{\text{ря}}$$

Практически характеристики генератора $E_2/n_0 = f(I_2)$ рассчитываются по нагрузочным характеристикам (см. рис. 5.11), причем $aa_1 = w_{\text{посл}} I_{21}$, $aa_2 = w_{\text{посл}} I_{22}$ и т.д.

Параметры обмоток определяют однозначно уравнениями:

$$F_{2\max} = F_{\text{нез}} - w_{\text{посл}} I_{2\min}$$

$$F_{2\min} = F_{\text{нез}} - w_{\text{посл}} I_{2\max}$$

Однако, как указывалось, число витков последовательной обмотки должно быть округлено с соответствующей корректировкой $F_{\text{нез}}$.

В сравнении с трехобмоточным генератором конструкция противокомпаундного генератора упрощается вследствие исключения высоковольтной параллельной обмотки, требующей усиленной изоляции и имеющей в результате относительно низкий коэффициент заполнения обмоточного пространства. С другой стороны, число витков последовательной обмотки, необходимое для ограничения пускового тока, в противокомпаундном генераторе должно быть больше, чем в трехобмоточном. При максимальном напряжении н. с. независимой обмотки противокомпаундного генератора примерно одинакова с суммой н. с. независимой и параллельной обмоток трехобмоточного генератора, но в трехобмоточном генераторе н. с. параллельной обмотки при пуске мала, и соответственно требуется меньшая размагничивающая н. с. В противокомпаундном генераторе н. с. последовательной обмотки близка по

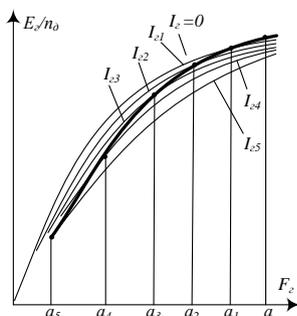


Рис. 5.11

величине к полной н. с. независимой обмотки. В свою очередь повышение $w_{носл}$ требует увеличения $F_{нез}$ для получения максимальной ЭДС. Мощность возбудителя для противокомпаундного генератора больше, чем для трехобмоточного.

Кроме того, как указывалось, добавление параллельной обмотки увеличивает изменение магнитного потока при отклонении угловой скорости. Степень влияния всех указанных факторов зависит от диапазона регулирования напряжения и тока, насыщения магнитной цепи и т. д. Поэтому при проектировании конкретных видов подвижного состава следует проводить сопоставление вариантов.

Генератор с самовозбуждением

Вторым частным случаем трехобмоточного генератора можно считать генератор, у которого исключена обмотка независимого возбуждения (см. рис 5.12). При этом, как известно из теории электрических машин, генератор может возбудиться только в том случае, если при отсутствии возбуждения в магнитной цепи имеется остаточный магнитный поток.

Результатирующая н. с. генератора равняется

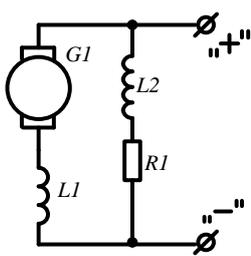


Рис. 5.12

$$F_z = \frac{w_{nap}}{R_{nap}} E_z - \frac{w_{nap}}{R_{nap}} I_z + w_c I_z = \frac{w_{nap}}{R_{nap}} E_z + w_{cl} I_z,$$

где

$$w_{cl} = w_c - \frac{w_{nap} R_z}{R_{nap}}$$

(5.4)

В этом случае можно получить характеристики $E_{Г}/n_{Д} = f(I_{Г})$ (рис. 5.13), близкие к характеристикам предыдущих вариантов систем. Число витков последовательной обмотки должно быть больше второго члена правой части равенства (5.4) и вместе с тем

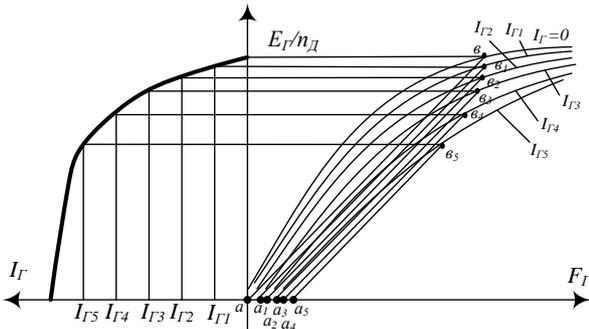


Рис. 5.13

достаточно малым, чтобы ее н. с. не полностью компенсировала размагничивающее действие реакции якоря, так как требуемое снижение напряжения при увеличении тока является следствием реакции якоря. Параметры обмоток определяют из равенств:

$$F_{z\max} = \frac{w_{nap}}{R_{nap}} E_{z\max} + w_{cl} I_{z\min}$$

$$F_{z\min} = \frac{w_{nap}}{R_{nap}} E_{z\min} + w_{cl} I_{z\max}$$

Если при токе $I_{z\max}$ нагрузочная характеристика, например, проходящая через точку b_3 , пересекается с соответствующей прямой $a_3 b_3$ дважды, то

это означает, что ток при напряжениях, близких к нулю, меньше максимального, что нежелательно. Это условие накладывает дополнительное ограничение на выбор числа витков последовательной обмотки. Так как размагничивающее влияние реакции якоря, от которого в основном зависит форма характеристики генератора, трудно рассчитать предварительно с достаточной точностью, целесообразно при проектировании генератора предусмотреть возможность поворота щеток с тем, чтобы при настройке характеристики генератора было возможно изменять влияние реакции якоря на магнитный поток путем поворота щеток в пределах, допустимых по коммутации

Основные преимущества генератора с самовозбуждением заключаются в устранении необходимости внешнего источника энергии для питания цепи возбуждения и в отсутствии размагничивающей обмотки, что позволяет уменьшить размеры катушек полюсов.

К недостаткам системы следует отнести ограниченные возможности подбора оптимальной характеристики. Число витков последовательной обмотки мало и посредством его изменения выбрать оптимальную (по условиям использования мощности, пуска, экономичности работы теплового двигателя) характеристику трудно. Сравнительно легко можно лишь изменить сопротивление в цепи параллельной обмотки. Степень компаундирования при настройке двигатель-генератора можно осуществлять практически сдвигом щёток. Однако это может привести к ухудшению коммутации. Целесообразно комбинировать применение последовательной обмотки со сдвигом щетки. В этом случае угол сдвига уменьшается и опасность ухудшения коммутации снижается.

Генератор с самовозбуждением может возбудиться лишь при наличии остаточного магнитного потока. Если остаточный магнитный поток в результате тряски, нагревания или переходных процессов при переключениях в схеме исчезнет или станет очень малым, генератор может не возбудиться или время самовозбуждения будет очень велико. Поэтому рекомендуется либо применять в магнитной цепи материалы с большой коэрцитивной силой, либо предусматривать кратковременное независимое возбуждение при пуске (подвозбуждение).

Саморегулирование генератора по току нагрузки в рассмотренных выше системах осуществлялось за счет размещения на его полюсах нескольких обмоток и алгебраического сложения их н. с. Недостатком такого метода

является увеличение размеров катушек полюсов генератора, что повышает размеры и вес генератора. Этот недостаток можно устранить путем использования аналогичных обмоток возбуждения не на тяговом генераторе, а на его возбудителе.

Преимуществом такой схемы является выполнение генератора с одной независимой обмоткой возбуждения, которая может быть рассчитана на малое напряжение возбудителя, что упрощает конструкцию, уменьшает размеры и несколько повышает надежность работы генератора. Однако при этом в качестве возбудителя нельзя использовать стандартную машину постоянного тока, а требуется специально спроектированный для этой цели возбудитель.

Подобные схемы не нашли широкого применения в связи с тем, что при использовании специальных возбудителей можно получить характеристики, более близкие к линии постоянной мощности, как показано ниже



Схема с двумя возбудителями.

В рассмотренных выше системах возбуждения генератора снижение магнитного потока с увеличением тока нагрузки осуществляется вычитанием н. с., пропорциональной току, из основной положительной н. с. возбуждения генератора. При этом магнитный поток изменяется по магнитной характеристике, которая всегда обращена выпуклостью вверх и только при полностью ненасыщенной цепи представляет собой прямую линию. Вследствие этого и характеристики генератора $\Phi_c(I_c)$ и $E_c(I_c)$ выпуклые или прямолинейные. Получить характеристики гиперболического вида посредством комбинации различных н. с. в машине не представляется возможным.

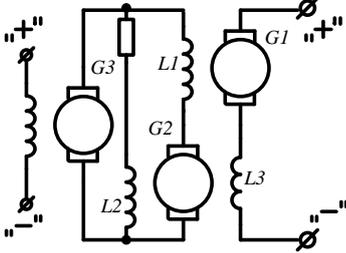


Рис. 5.14

Однако нелинейность магнитной характеристики может быть использована для создания характеристики, близкой к гиперболе, если складывать алгебраически не н. с., а ЭДС или магнитные потоки. Например, характеристику, близкую по форме к кривой BCD (см. рис. 1.58), можно получить, если последовательно с генератором, имеющим постоянное напряжение, соответствующее линии CD , включить второй генератор, ЭДС которого направлена навстречу э. д. с. первого генератора и возрастает с увеличением тока нагрузки, начиная с тока $I_{c\text{мин}}$ (точка C). В этом случае можно так рассчитать насыщение магнитной цепи, чтобы разность ЭДС обоих генераторов была близка к линии BC . Такое решение однако неприемлемо вследствие необходимости добавления второго мощного генератора.

Решение становится технически приемлемым, если сложение ЭДС осуществить в цепи возбуждения генератора, как это показано на рис. 5.14. Генератор имеет лишь одну обмотку $L1$ независимого возбуждения, в цепь которой включены два возбудителя $G3$ и $G2$, приводимые от теплового двигателя. Ток возбуждения возбудителя $G1$ поддерживается постоянным. Возбудитель $G2$ имеет две обмотки возбуждения: независимую $L2$, включенную на напряжение $G3$, и дифференциальную $L3$, включенную в цепь тока нагрузки тягового генератора. Потоки независимой $L2$ и дифференциальной $L3$ обмоток возбудителя $G2$ действуют навстречу друг другу.

Ток возбуждения генератора

$$i = \frac{E + E_2}{R}$$

где E_1 E_2 – ЭДС. возбудителей $G3$ и $G2$ соответственно; R – сопротивление цепи возбуждения генератора.

Результирующая н. с. возбуждения возбудителя $G2$

$$F_2 = F_{\text{нез}} - w_{\text{диф}} I_c - F_{\text{ря}2} \quad (5.5)$$

где $F_{\text{нез}}$ – н. с. независимой обмотки $L2$; $w_{\text{диф}}$ – количество витков дифференциальной обмотки $L3$; $F_{\text{ря}2}$ – н. с., эквивалентная реакции якоря $G2$.

Когда ток генератора равен нулю, н. с. возбудителя $G2$ и его ЭДС имеют наибольшие положительные значения (точка a на рис. 5.15а). При увеличении тока генератора результирующая н. с. и э. д. с. возбудителя уменьшаются. При некотором значении тока I_{c0} н. с. и ЭДС возбудителя становятся равными нулю. При дальнейшем увеличении тока генератора результирующая н. с. становится отрицательной и направление ЭДС изменяется, причем абсолютная величина ЭДС увеличивается при возрастании тока в соответствии с магнитной характеристикой возбудителя.

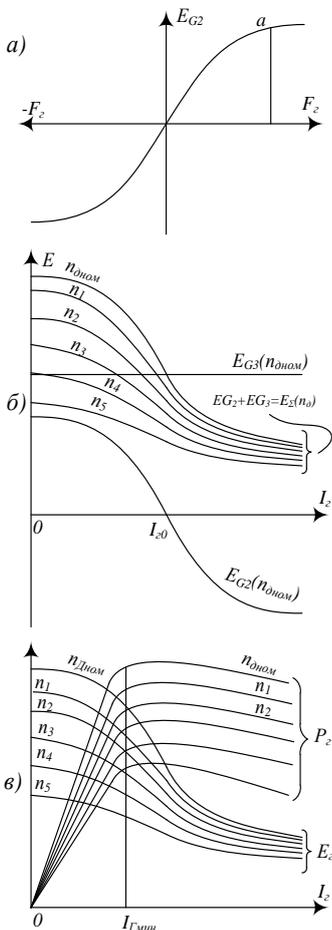


Рис. 5.15

Для того чтобы магнитный поток генератора уменьшался при увеличении тока нагрузки, очевидно, целесообразно при малых токах суммировать ЭДС обоих возбудителей, т. е. чтобы положительное направление ЭДС E_2 совпадало с направлением ЭДС E_1 . На рис. 5.15б представлены зависимости ЭДС возбудителей от тока генератора при различных частотах вращения вала генератора $n_{\partial 1}, \dots, n_{\partial \text{ном}}$. ЭДС E_1 , если пренебречь влиянием реакции якоря, не зависит от тока и изображается горизонтальной линией. Форма кривой $E_2(I_2)$ зависит от формы магнитной характеристики возбудителя $G2$ (см. рис. 5.15а) и соотношения н. с. его обмоток. Сумма ординат обеих кривых дает зависимость результирующей ЭДС в цепи возбуждения и в некотором масштабе изображает зависимость тока возбуждения генератора от тока нагрузки.

Внутренняя характеристика $E_2(I_2)$ генератора (рис. 5.15в) повторяет эту кривую в измененном масштабе при ненасыщенной магнитной цепи генератора с некоторым искажением формы при больших напряжениях вследствие магнитного насыщения. Путем подбора формы магнитной характеристики возбудителя $G2$ можно добиться, чтобы при токах генератора более $I_{2\text{мин}}$ мощность теплового двигателя поддерживалась приблизительно постоянной. Так как потери в генераторе, как правило, растут с увеличением тока нагрузки, кривая мощности генератора $P_2(I_2)$ (см. рис. 5.15в) должна при этом несколько снижаться.

Э. д. с. обоих возбудителей, а, следовательно, и ток возбуждения генератора, изменяются пропорционально угловой скорости двигатель-генератора. Поэтому магнитный поток генератора также изменяется приблизительно пропорционально угловой скорости при ненасыщенной магнитной цепи и в меньшей степени при больших напряжениях, где становится заметным влияние магнитного насыщения. Мощность генератора при малых угловых скоростях снижается с увеличением тока в большей степени, чем при номинальной скорости, вследствие относительного большего влияния реакции якоря и падения напряжения в цепи якоря.

Преимуществами рассмотренной схемы являются возможность поддержания постоянной мощности теплового двигателя при изменении тока нагрузки и выполнение генератора с одной обмоткой возбуждения низкого напряжения. К недостаткам относится отсутствие ограничения максимального тока и неблагоприятные пусковые характеристики. Приближение характеристики генератора к гиперболической неизбежно связано с тем, что в зоне больших токов она становится полой. Вторым недостатком является установка двух возбудителей, из которых один ($G2$) является специальной машиной с двумя обмотками и магнитной характеристикой, рассчитанной применительно к заданному генератору. Суммарная мощность возбудителей определяется мощностью возбуждения при максимальном рабочем напряжении генератора, как и в случае одного возбудителя. Однако наличие двух машин с коллекторами и щетками усложняет монтаж и уход.

Практическое применение наши схемы, в которых оба возбудителя $G2$ и $G3$ (рис. 5.14) объединены в одну машину, получившую название возбудителя с расщепленными полюсами. Ниже рассмотрены принцип устройства и схема включения применяемых вариантов таких возбудителей.

Возбудитель с продольным расщеплением полюсов.

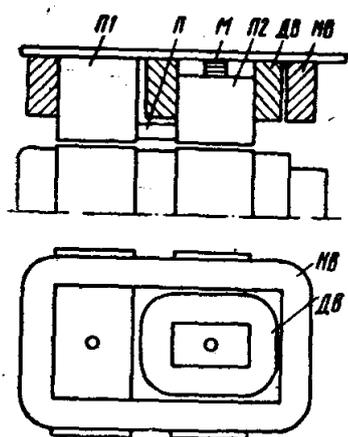


Рис. 5.16

Возбудитель (рис. 5.16) представляет собой четырехполюсную машину, причем каждый полюс разделен на две части П1 и П2, расположенные вдоль оси машины. Магнитная цепь частей полюсов П1 не насыщена, и они в дальнейшем называются ненасыщенными полюсами. В полюсах П2 сделаны магнитные мостики М, практически выполненные из стальных шайб и представляющие собой суженное сечение магнитопровода, которое сильно насыщается при увеличении магнитного потока. Эти части полюсов дальше условно называются насыщенными (хотя они насыщаются только при некоторых режимах работы).

Приближенно можно считать, что обе системы полюсов создают независимые магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Каждый проводник обмотки якоря при вращении пересекает оба магнитных потока. Следовательно, ЭДС возбудителя, подводимая к щеткам,

$$E_{G2} = c_e n_{\partial} (\Phi_1 + \Phi_2)$$

где c_e – постоянный коэффициент, зависящий от параметров возбудителя и передаточного отношения между ним и тепловым двигателем.

Хотя суммирование ЭДС происходит в каждом отдельном проводнике, можно считать условно, что полная ЭДС состоит из двух составляющих, каждая из которых определяется соответствующим потоком

$$E_{G2} = c_e n_{\partial} \Phi_1 + c_e n_{\partial} \Phi_2 = E_1 + E_2.$$

Таким образом, возбудитель по существу представляет собой два возбудителя $G2$ и $G3$ (см. рис. 5.14), которые объединены в одну конструкцию, имеют общую обмотку якоря и коллектор, но магнитные системы их отдельные. Ненасыщенные полюсы П1 охватываются только обмоткой независимого возбуждения $L2$. Магнитный поток полюсов П2 определяется результирующей н.с., создаваемой обмотками независимого возбуждения $L2$ и дифференциальной $L3$, из которых вторая действует навстречу первой, так что ее величина отвечает равенству (5.5).

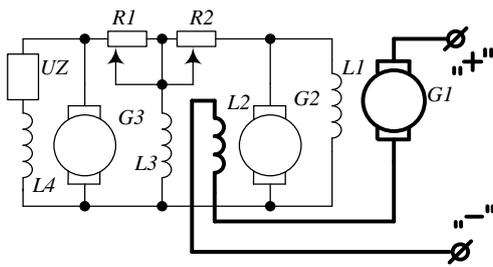


Рис. 5.17

При изменении угловой скорости двигатель-генератора характеристики возбудителя и генератора изменяются, как показано на рис. 5.15б и в.

Возбудители с радиальным расщеплением полюсов.

Возбудитель (рис. 5.18) представляет собой шестиполосный генератор постоянного тока. Магнитная цепь полюсов П1, П2, П4 и П5 выполнена слабонасыщенной, и они в дальнейшем называются ненасыщенными. В полюсах П3 и П6 сделаны суженные сечения (магнитные мостики), вследствие чего они при больших н. с. насыщаются и поэтому условно называются насыщенными. Из-за малого насыщения остальных участков магнитной цепи можно при рассмотрении принципа действия возбудителя приближенно принять, что магнитные потоки насыщенных и ненасыщенных полюсов независимы один от другого.

В схеме (рис. 5.19) показаны четыре обмотки возбуждения возбудителя: независимая НВ (L5), параллельная ШВ (L3), дифференциальная ДВ (L4) и последовательная СВ (L2). Первые три обмотки служат для создания гиперболической характеристики генератора, а четвертая – для компенсации размагничивающего влияния якоря.

Обмотки НВ и СВ расположены на ненасыщенных полюсах П1, П2, П4 и П5; обмотки ШВ и ДВ – на насыщенных полюсах П3 и П6.

Обмотка независимого возбуждения питается через сопротивление R1 от вспомогательного генератора G3, напряжение которого поддерживается постоянным с помощью регулятора напряжения. Поэтому в ней протекает неизменный ток, не зависящий от угловой скорости и тока генератора.

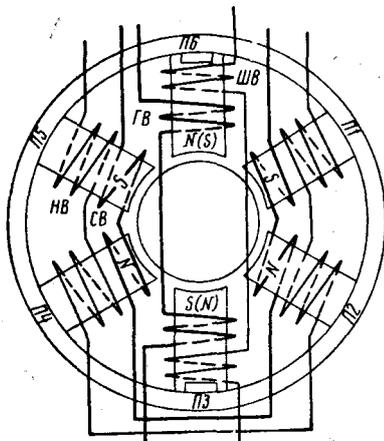


Рис. 5.18

Обмотка ДВ, включенная параллельно обмотке дополнительных полюсов ДП генератора, действует навстречу обмотке ШВ. Н. с. обмотки ШВ пропорциональна напряжению возбудителя, а обмотки ДВ – току нагрузки генератора. Результирующая н. с. насыщенных полюсов

$$F_2 = \frac{U_{G2} w_{napG2}}{R_{napG2} + R_2} - w_{дуфG2} I_2.$$

При $I_2=0$ н. с. насыщенных полюсов имеет наибольшее значение. Магнитный поток насыщенных полюсов направлен так, что их полярность соответствует нормальному чередованию полярности полюсов в обычном генераторе постоянного тока. Якорь возбудителя выполнен с волновой обмоткой, при которой проводники одной секции, присоединенной к коллекторным пластинам, расположены под всеми шестью полюсами и наведенная в них ЭДС зависит от суммы магнитных потоков всех полюсов. При нормальном чередовании полюсов ЭДС, наводимые в секции потоками

всех полюсов, имеют одинаковое направление.

При увеличении тока генератора н. с. насыщенных полюсов сначала уменьшается, при некотором токе становится равной нулю и затем (когда н. с. дифференциальной обмотки становится больше н. с. параллельной) результирующая н. с. меняет знак, вследствие чего направление магнитного потока насыщенных полюсов изменяется. ЭДС возбудителя можно представить равенством

$$E_B = c_e n_o (2\Phi_1 + \Phi_2) = E_1 + E_2.$$

где Φ_1 , Φ_2 – магнитные потоки ненасыщенного и насыщенного полюсов; E_1 , E_2 – части общей ЭДС возбудителя, зависящие соответственно от потоков ненасыщенных и насыщенных полюсов.

Характеристики возбудителя аналогичны характеристикам, изображенным на рис. 1.72б. Включение основной обмотки насыщенных полюсов на напряжение возбудителя позволяет уменьшить н. с. дифференциальной обмотки вследствие снижения напряжения возбудителя при больших токах генератора. Настройка характеристик

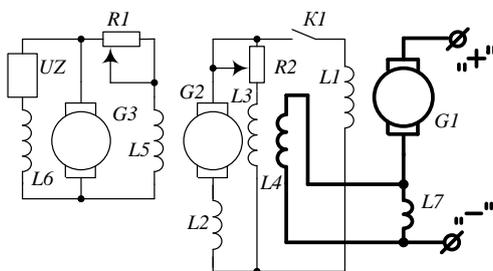


Рис. 5.19

осуществляется изменением сопротивлений $R1$ (характеристика перемещается вверх или вниз) и $R2$ (характеристика перемещается вправо или влево и изменяет крутизну).

Как и в предыдущем варианте, для получения малых скоростей движения и силы тяги предусматривается введение одной или двух ступеней дополнительного сопротивления в цепи независимой обмотки возбуждителя.

Настройка характеристики может осуществляться изменением сопротивлений в цепи параллельной и независимых обмоток.

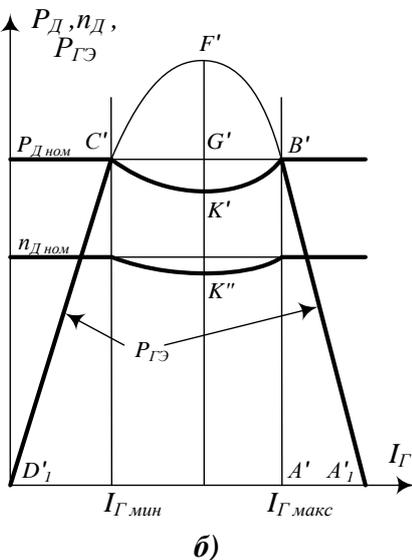
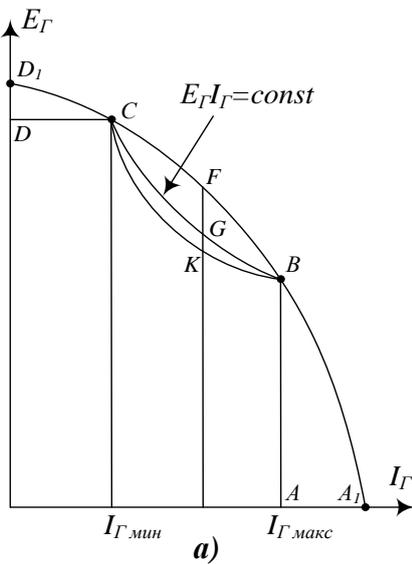
Из рассмотренных двух типов возбуждителей возбуждители с радиальным расщеплением более просты, так как насыщенные полюсы отличаются только магнитным мостиком, получаемым при штамповке или дополнительной обработке сердечников. В остальном конструкция полюсной системы и катушек аналогична обычной. В возбуждители с продольным расщеплением сердечники полюсов П1 и П2 должны быть различными по сечению, и одна катушка (ДВ) располагается внутри другой, что несколько усложняет изготовление и сборку машины. Часть активной длины якоря не используется вследствие размещения дифференциальной обмотки между полюсами.

При небольшой мощности возбуждителей указанные недостатки не являются решающими и не препятствуют применению обоих типов возбуждителей.

4

Характеристики дизель-генератора при саморегулировании.

При использовании трехобмоточного генератора и других систем, возбуждения, являющихся по существу разновидностями его, характеристики $E_{Г}(I_{Г})$ при постоянной угловой скорости будут выпуклыми. При совместной работе такого генератора с дизелем и соблюдении определенных условий можно получить характеристики $E_{Г}(I_{Г})$ гиперболического вида, обеспечивающие удовлетворительное использование мощности дизеля. Ниже рассмотрен характер совместной работы дизеля с генератором и условия повышения использования мощности дизеля без применения специальных регулирующих устройств.



На рис. 5.20а линия $ABGCD$ соответствует желательной предельной характеристике (см. рис. 102) при номинальной мощности $P_{Д ном}$ дизеля (линия $B'C'$ на рис. 1.77б). Для того чтобы обеспечить возможность использования полной мощности дизеля в пределах изменения тока генератора от $I_{Г мин}$ до $I_{Г макс}$, внутренняя характеристика генератора $E_{Г}(I_{Г})$ должна пройти через точки B и C . Пусть линия $A_1BFC D_1$ представляет собой внутреннюю характеристику генератора при номинальной угловой скорости $n_{Д ном}$ дизель-генератора. Соответствующий ей график мощности на валу генератора представлен линией $A_1'B'F'C'D_1'$ (см. рис. 5.20б).

При токе генератора меньше $I_{Г мин}$ мощность, потребляемая последним, меньше номинальной мощности дизеля. Следовательно, подача топлива должна уменьшаться. То же самое должно происходить при увеличении тока генератора более $I_{Г макс}$. Эту задачу выполняет регулятор дизеля, поддерживающий предельную угловую скорость путем изменения подачи топлива. Примем, что регулятор настроен на номинальную угловую скорость дизеля. Следовательно, при токах нагрузки $I_2 < I_{Г мин}$ и $I_2 > I_{Г макс}$ дизель работает при постоянной скорости, и его мощность определяется характеристикой генератора.

При токах $I_{Г мин}$ и $I_{Г макс}$ мощность, потребляемая генератором, равна свободной мощности дизеля. При $I_{Г мин} < I_2 < I_{Г макс}$ она при постоянной угловой скорости превышает номинальную мощность последнего. Если при этом регулятор дизеля будет увеличивать подачу топлива, реализуемая мощность будет соответствовать линии $C'F'B'$ (см. рис. 5.20б), но по условию, номинальная мощность является предельной, ее превышение недопустимо. Поэтому на регуляторе дизеля должен быть предусмотрен упор, не позволяющий увеличивать мощность выше номинальной, что является обязательным условием при генераторе с выпуклой характеристикой. Таким образом, в рассматриваемом диапазоне токов нагрузки, охватывающем практически весь диапазон работы дизель-генератора при движении поезда, регулятор дизеля бездействует, и режим работы дизель-генератора определяется саморегулированием.

В рассмотренных системах возбуждения магнитный поток и момент генератора увеличиваются с повышением угловой скорости. При токе $I_{Г мин}$ по условию

Рис. 5.20

$$M_2 = M_{\text{д ном}},$$

где $M_{\text{д ном}}$ – момент, передаваемый дизелем на вал генератора при номинальной мощности.

Следовательно, линия QC'' (рис. 5.21) момента генератора должна проходить через точку C'' номинального режима ($M_{\text{д ном}}, n_{\text{д ном}}$) дизеля.

Если ток генератора увеличивается, мощность, потребляемая им при номинальной угловой скорости, повышается по линии $C'F'B'$ (см. рис. 5.20б) и пропорционально ей растет момент генератора при той же угловой скорости, т. е. характеристика момента перемещается вверх. Форма и наклон ее могут при этом несколько измениться, но это не имеет существенного значения. Наибольшая величина момента (точка F'') соответствует наибольшему значению мощности (точка F') при токе I_{c1} и неизменной угловой скорости $n_{\text{д ном}}$.

В результате перегрузки дизеля его угловая скорость начинает уменьшаться, при $n_{\text{д1}}$ момент генератора вновь становится равным моменту дизеля и наступает новый установившийся режим работы, соответствующий точкам K (см. рис. 5.20а), K' (см. рис. 5.20б) и K'' (см. рис. 5.21). При дальнейшем увеличении тока отклонение мощности, момента и угловой скорости уменьшаются. При токе $I_{c\text{ макс}}$ характеристика генератора опять пересекает характеристику дизеля в точке C'' . Вследствие уменьшения угловой скорости при неизменной подаче топлива реализуемая мощность дизеля снижается и зависимость мощности дизеля от тока при совместной работе дизеля и генератора изображается линией $A_1B'K'C'D_1'$ (см. рис. 5.20б). Реализуемая характеристика $E_2(I_2)$ генератора соответствует линии A_1BKCD_1 . Она имеет форму, более близкую к гиперболе, чем внутренняя характеристика при постоянной скорости, и расположена ниже линии постоянной мощности.

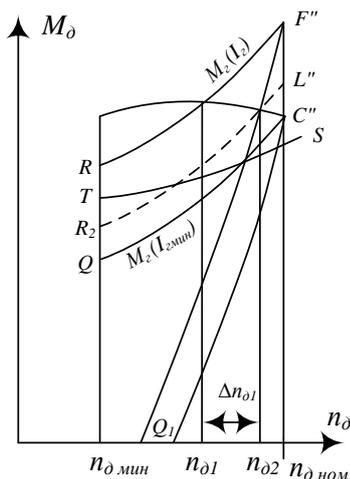


Рис. 5.21

Совместная работа дизель-генератора при ограниченной подаче топлива и выпуклой внутренней характеристике генератора стала возможной вследствие того, что линия RF'' момента генератора пересекла характеристику дизеля. Если бы момент генератора не зависел от угловой скорости или линия RF'' была бы столь пологой, что не пересекла бы характеристики дизеля, то при увеличении тока более $I_{c\text{ мин}}$ угловая скорость продолжала бы снижаться до остановки дизеля. Таким образом, возможность работы дизель-генератора без регуляторов зависит от взаимного расположения характеристик двигателя и генератора.

Свойство агрегата приходить к установившемуся режиму без принудительного регулирования называется в теории автоматического регулирования самовыравниванием, или саморегулированием.

Задача повышения использования полной мощности при саморегулировании заключается в уменьшении наибольшего отклонения угловой скорости $\Delta n_{\text{д1}}$ которое можно осуществить двумя способами:

1. Увеличением крутизны кривой $M_2(n_d)$. Для этого при одинаковой внешней характеристике и, следовательно, неизменном максимальном отклонении $F''C''$ (рис. 1.78) момента генератора нужно изменить последний не по линии $C''Q$, а, например, по линии $C''Q_1$; т. е. увеличить коэффициент саморегулирования. Тогда отклонение угловой скорости составит $\Delta n_{\text{д2}}$;

2. Уменьшением максимального отклонения момента при I_{c1} , например до $C''L''$ вместо $C''F''$. Для этой цели необходимо изменить форму характеристики $E_2(I_2)$ генератора. Например, характеристика $MBLNCN$ (см. рис. 5.20а) обеспечивает использование полной мощности для тех же пределов изменения тока генератора, как и характеристика A_1BFCD_1 , но превышение $L'G'$ мощности при номинальной скорости и соответствующее превышение $L''C''$ момента генератора над номинальными меньше, чем в предыдущем варианте. Подбором степени магнитного насыщения и параметров обмоток можно, в частности, ограничить наибольшее отклонение угловой скорости равным $\Delta n_{\text{д2}}$.

В большинстве систем саморегулирования используются оба эти способа. По терминологии теории автоматического регулирования первый способ является использованием собственно саморегулирования путем увеличения коэффициента саморегулирования. Второй способ может быть назван компенсацией возмущения, так как заключается в уменьшении отклонений момента генератора, вызываемых внешним возмущением — изменением тока нагрузки. Гиперболическая характеристика зависимости магнитного потока генератора от тока нагрузки является условием полной компенсации возмущений по току нагрузки, так как при этом момент генератора остается постоянным при изменении тока.

Характер зависимостей $E_2(I_2)$ и $M_2(n_d)$ существенно влияет и на другие параметры работы теплового двигателя.

При рассмотренных выше характеристиках генератора A_1BFCD_1 (см. рис. 1.77а) и $C''Q$ (см. рис. 5.21) дизель работает в диапазоне угловых скоростей от $n_{\text{д1}}$ до $n_{\text{д}}$ по своей внешней характеристике, т. е. при полной подаче

топлива. Для некоторых тепловозных дизелей работа с полной подачей топлива при значительном снижении угловой скорости недопустима вследствие уменьшения давления наддува и других причин.

При характеристике момента генератора $C''Q_I$ площадь $C''Q_I R_1 F''$ охватывает все режимы теплового двигателя, которые могут быть реализованы при данном генераторе. При такой характеристике дизель даже при самых малых нагрузках вынужден работать с высокой угловой скоростью. Это может вызвать повышенный износ деталей дизеля (подшипников, шатунов, поршневых колец и т. д.).

Если область возможных моментов генератора изображается площадью $C''QR F''$, то в отношении износа дизеля такая характеристика более благоприятна, так как частичные нагрузки реализуются при пониженных угловых скоростях. Если линия наибольшей экономичности дизеля соответствует линии TS , то область работы дизеля в данном примере располагается более близко к ней, чем при генераторе с характеристикой $C''Q_I$ и поэтому работа дизеля при пониженной мощности более экономична.

При сравнении между собой внешних характеристик A_1BFCD_1 и $MBLCN$ (рис. 5.20) легко заметить, что первая является более благоприятной в отношении пусковых характеристик, так как ток генератора, а, следовательно, и пусковая сила тяги меньше изменяются при изменении напряжения генератора. Она благоприятнее также и по более четкому ограничению максимального тока и напряжения.

Отсюда следует, что при выборе характеристик генератора, зависящих от выбора системы возбуждения, параметров обмоток и насыщения магнитной цепи последних, следует учитывать характеристики и особенности работы дизеля, назначение и условия работы локомотива.

Особенности совместной работы газотурбинной установки и генератора.

Как указывалось ранее, при снижении угловой скорости одновальной газотурбинной установки (ГТУ) подачу топлива нужно снижать, чтобы избежать повышения температуры газов на входе в турбину, вследствие этого крутящий момент M_D на валу ее будет уменьшаться (рис. 5.22). В результате мощность ГТУ резко падает с уменьшением угловой скорости и при этом существенно снижается ее к. п. д. Поэтому для ГТУ требуется более резкое уменьшение момента и магнитного потока генератора при снижении угловой скорости.

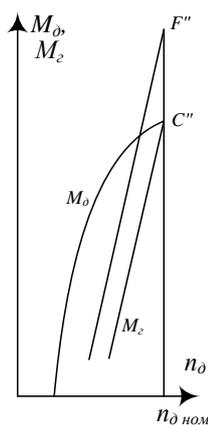


Рис. 5.22

Увеличивать крутизну линии $M_c(n_D)$ необходимо также, чтобы обеспечить наибольшую экономичность работы при пониженной мощности вследствие большой крутизны линии наибольшей экономичности ГТУ. Кроме мер, рассмотренных выше, для этой цели может быть предусмотрено изменение возбуждения возбудителя в зависимости от угловой скорости. Для компенсации влияния тока нагрузки на момент генератора желательно применение систем возбуждения, обеспечивающих гиперболическую характеристику.

При ГТУ со свободной тяговой турбиной условия использования полной мощности значительно облегчаются, так как при относительно больших отклонениях угловой скорости тяговой турбины и генератора мощность и к. п. д. ГТУ меняются мало. Кроме того, момент тяговой турбины существенно увеличивается при уменьшении угловой скорости, вследствие чего отклонение угловой скорости при совместной работе с генератором относительно мало. По условиям экономичности работы при пониженной мощности ГТУ со свободной турбиной мало отличается от одновальной, так как мощность снижается посредством уменьшения угловой скорости турбокомпрессора и подачи топлива, причем линия наибольшей экономичности, являющаяся графиком зависимости мощности или момента ГТУ от угловой скорости турбокомпрессора, по крутизне близка к линии наибольшей экономичности одновальной ГТУ.

Поэтому для двухвальной ГТУ зависимость магнитного потока генератора от скорости тяговой турбины не имеет решающего значения, но с уменьшением скорости турбокомпрессора магнитный поток должен снижаться достаточно резко.