

**Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**

Н. В. БАРИЕВ

**ЭЛЕКТРОПРИВОД
ОДНОКОВШОВЫХ
ЭКСКАВАТОРОВ
ТИПОВ
ЭКГ-4 и ЭКГ-4,6**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

С 1184169

Н. В. БАРИЕВ

ЭЛЕКТРОПРИВОД
ОДНОКОВШОВЫХ
ЭКСКАВАТОРОВ
ТИПОВ ЭКГ-4 и ЭКГ-4, 6



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1964

ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В.,
Каминский Е. А., Синьчугов Ф. И., Смиринов А. Д., Устинов П. И.

УДК 621.34 : 621.879.2/6

Б 24

В брошюре подробно описано основное электрооборудование и схемы управления главными электроприводами одноковшового экскаватора типов ЭКГ-4 и ЭКГ-4,6 с силовыми магнитными усилителями.

Приведены краткие сведения о принципе работы основного электрооборудования и элементов схем управления.

Освещены методы испытания и наладки элементов, узлов и схемы управления в целом.

Приведены технические данные основного электрооборудования и параметры схем управления.

Брошюра рассчитана на электромонтеров и техников, занимающихся эксплуатацией и наладкой электроприводов одноковшовых экскаваторов типа ЭКГ-4 и ЭКГ-4,6.

Приведенная методика и программа наладки основаны на опыте работы Ремонтно-наладочного управления «Энергоуголь» при СНХ РСФСР.

Бариев Назим Вафинович. Электропривод одноковшовых экскаваторов типов ЭКГ-4 и ЭКГ-4,6. издательство «Энергия», 1964.

104 с. с черт. (Б-ка электромонтера. Вып. 135)

Бланк заказов 95/63 № 10

Редактор Н. И. Сидоров

Техн. редактор И. И. Хайкин

Сдано в пр-во 23/IV 1964 г.

Подписано к печати 15/VI 1964 г.

Формат бумаги 84×108¹/₃₂

5,33 п. л.

Уч.-изд. л. 5,95

T-09904

Тираж 11 000 экз.

Цена 21 коп.

Зак. 1216

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
Шлюзовая наб., 10.

Государственная публичная
Библиотека
им. В. Г. Белинского
г. Свердловск

с 1184169

1. ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭКСКАВАТОРОВ

Экскаватор ЭКГ-4 предназначен для разработки и погрузки горных масс в транспортные средства (рис. 1).

На поворотной платформе (рис. 2) размещаются основные (главные) и вспомогательные механизмы.

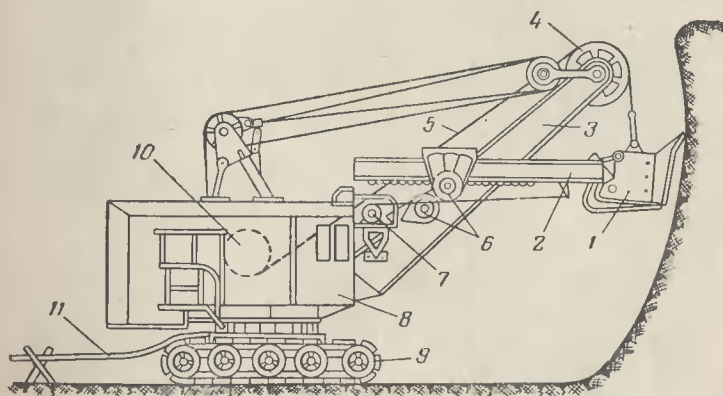


Рис. 1. Общий вид экскаватора типа ЭКГ-4.

1 — ковш; 2 — рукоять; 3 — стрела; 4 — головной блок; 5 — подъемный канат; 6 — напорный механизм; 7 — механизм открывания дна ковш; 8 — поворотная платформа; 9 — ходовая тележка; 10 — подъемная лебедка; 11 — питающий силовой кабель

К главным рабочим механизмам относятся механизмы, непосредственно участвующие в процессе экскавации: напорный механизм 6 (рис. 1), подъемная лебедка 10 (рис. 1) и 1 (рис. 2) и поворотный механизм 2 (рис. 2).

Процесс экскавации складывается из отдельных циклов работы экскаватора. В свою очередь, цикл работы экс-

каватора-лопаты состоит из следующих основных операций: опускание ковша в забой; копание, во время которого производится подъем ковша; поворот платформы к месту выгрузки; открывание днища ковша и разгрузка; возвращение в забой с закрыванием ковша. Во время копания величина снимаемого слоя породы («стружки») и заполнение ковша регулируются увеличением

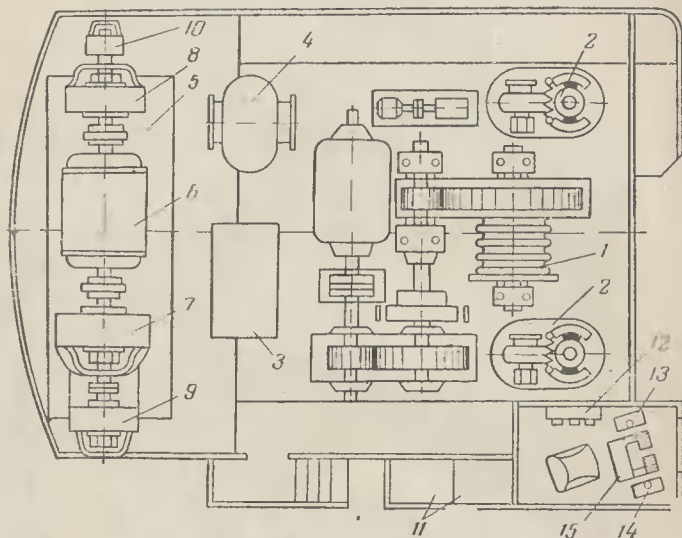


Рис. 2. Вид сверху на поворотную платформу с механизмами.

1 — подъемная лебедка; 2 — поворотный механизм; 3 — высоковольтное распределительное устройство; 4 — силовой трансформатор; 5 — преобразовательный агрегат; 6 — сетевой приводной асинхронный электродвигатель; 7 — генератор подъема; 8 — генератор поворота-хода; 9 — генератор напора; 10 — возбудитель; 11 — панели управления; 12 — пульт машиниста; 13—14—15 — командоконтроллеры напора, подъема и поворота.

или снижением усилия напора, вследствие чего рукоять с ковшом подается в забой или выдвигается из него, изменяя величину снимаемой стружки.

Режим работы электроприводов основных рабочих механизмов экскаватора характеризуется большим числом включений, резкими изменениями нагрузки, частым изменением направления вращения. Иными словами, электроприводы работают главным образом в неуставившихся режимах.

К основным переходным (неустановившимся) режимам электропривода экскаватора относятся: пуск (разгон), остановка (торможение) и изменение направления вращения двигателей рабочих механизмов (реверсирование). Исходя из этого, к экскаваторному электроприводу предъявляются особые требования. Например, одним из требований, предъявляемых к электроприводу механизма поворота, является обеспечение плавности протекания переходных процессов в минимально возможное время с ограниченным ускорением, в особенности при торможении. Такое требование вызвано тем, что механизм поворота работает исключительно в переходных процессах пуска, реверса и торможения, так как он обладает значительными массами, в несколько раз превышающими маховые массы двигателя. Кроме того, вследствие большого передаточного отношения редуктора механизма поворота могут быть значительные люфты в передачах, что тоже требует плавного разгона во избежание резких ударов в передачах.

Механизм подъема работает в условиях резко переменной нагрузки, значительно превышающей номинальную. В отдельных случаях нагрузка может быть настолько велика, что возникает опасность разрушения отдельных звеньев механической передачи.

Еще тяжелее условия работы механизма напора. Наиболее характерной особенностью работы этого механизма, как иногда и механизма подъема, является возможность его вынужденной остановки во время нормальной работы в случае встречи ковша с непреодолимым препятствием. Такой режим работы называется работой на упор или стопорением. Значит, для обеспечения надежной и безаварийной работы главного рабочего механизма при работе экскаватора требуется снижение момента (нагрузки) до допустимых пределов при стопорении и известная податливость его приводного двигателя (мягкость его характеристики) с тем, чтобы скорость двигателя могла быть автоматически замедлена при достаточно большом увеличении нагрузки. Это требование является основным и предъявляется ко всем электроприводам главных механизмов — как экскаваторов ЭКГ-4, так и экскаваторов других типов.

Механическая характеристика главного электропривода экскаватора ЭКГ-4, представляющая зависимость ско-

рости вращения двигателя от момента на его валу $n = f(M)$, как следует из предыдущего, должна быть падающей («экскаваторной»), чтобы при рабочих нагрузках обеспечить максимальную скорость двигателя и вместе с тем безопасную работу при стопорении рабочего механизма за счет ограничения момента до допустимой величины, т. е. должна иметь вид одной из кривых, изображенных на рис. 3. При таких характеристиках дви-

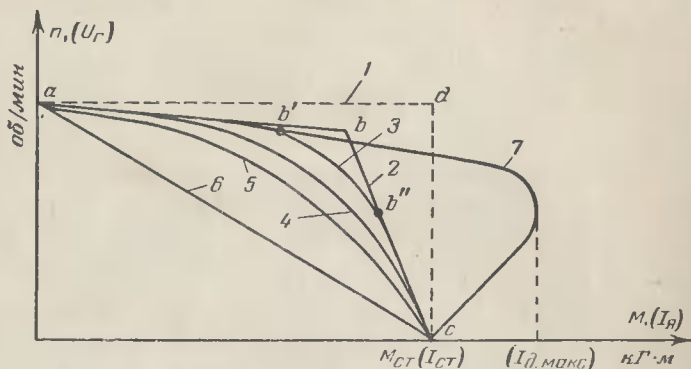


Рис. 3. Механические характеристики привода экскаватора. ab — рабочая область характеристики; $M_{ст}(I_{ст})$ — стопорный момент (ток); $I_{д. макс}$ — максимальный динамический ток.

гатели, а следовательно, и рабочие механизмы предохраняются от перегрузок, так как при увеличении нагрузки автоматически снижается скорость двигателя. Характеристики разделяются на жесткие 1, 2, 3, полужесткие 4 и мягкие 5, 6. Кроме того, характеристики могут быть плавными (3, 4, 5, 6) или с изломом (1, 2).

Выполнение электропривода. Требуемые механические экскаваторные характеристики приводов главных рабочих механизмов одноковшовых экскаваторов (кроме типа С) легче всего осуществить, когда электропривод выполняется следующим образом. Каждый главный рабочий механизм РМ: подъем, поворот, напор или тяга (рис. 4) оборудуется двигателем постоянного тока Д независимого возбуждения, получающим питание от отдельного источника питания — генератора Г, напряжение которого может плавно регулироваться от нуля до полной величины ($+U_G$ или $-U_G$) при помощи регу-

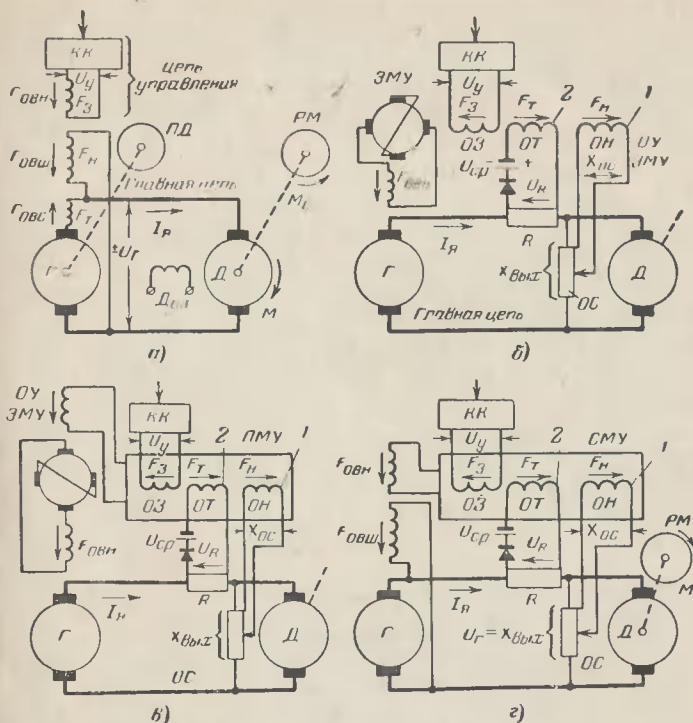


Рис. 4. Принципиальные упрощенные схемы систем управления экскаватором.

а — от трехобмоточного генератора; б — от электромагнитного усилителя (ЭМУ); в — от ЭМУ в сочетании с промежуточным магнитным усилителем (ПМУ); г — от силового магнитного усилителя (СМУ); КК — командоконтроллер; ЭМУ, ПМУ и СМУ — суммирующие усилители сигналов; $\Gamma_{ОВН}$, $\Gamma_{ОВШ}$ и $\Gamma_{ОВС}$ — обмотки возбуждения генератора: независимая, параллельная (шунтовая), последовательная (серийная); Г — генератор постоянного тока главного привода (исполнительный элемент); Д — двигатель (объект управления и регулирования); РМ — главный рабочий механизм (подъем, поворот, напор или тяга); ПД — приводной двигатель; 1 — главная жесткая отрицательная обратная связь по напряжению генератора (параллельная обратная связь); 2 — задержанная отрицательная обратная связь по току якоря (последовательная обратная связь с отсечкой); ОЗ, ОН, ОТ — обмотки управления (ОУ) ЭМУ, ПМУ и СМУ — задающая, дифференциальная или обратной связи по напряжению генератора, токоограничивающая; R — сопротивление, эквивалентное сопротивлению дополнительным полюсам ДП генератора и двигателя; U_R — падение напряжения на сопротивлении (контролируемое напряжение); U_{CP} — эталонное напряжение (запирающий потенциал или напряжение сравнения); $F_З$, F_T , F_H — намагничивающая сила (н. с.) обмоток ОЗ, ОТ, ОН; I_D — ток в главной цепи; М — вращающий момент, развиваемый двигателем; M_c — статический момент сопротивления вращению (полезный момент на валу и момент трения); $D_{ОВ}$ — независимая обмотка возбуждения двигателя.

лителя (командоконтроллера KK , электромашиного усилителя поперечного поля ЭМУ или магнитного усилителя СМУ и т. п.), включенного в цепь возбуждения генератора. Такая система регулируемого электропривода называется системой генератор—двигатель и сокращенно обозначается буквами $\Gamma—Д$.

Из рис. 4 видно, что в системе $\Gamma—Д$ содержатся главная якорная цепь и цепь управления с управляющим элементом (регулятором). Главная силовая цепь образуется соединением якорей генератора и двигателя и является цепью передачи энергии рабочему механизму. Эта энергия вначале преобразуется посредством генератора Γ из механической энергии вращения двигателя $ПД$ в электрическую энергию постоянного тока, а затем — в двигателе $Д$ из электрической преобразуется в механическую и расходуется на преодоление сопротивления вращению рабочего механизма (на преодоление так называемых внешних возмущающих воздействий).

Генератор постоянного тока. Принцип работы генератора Γ , преобразующего механическую энергию двигателя $ПД$ в электрическую энергию постоянного тока, можно уяснить на примере простейшего генератора с кольцевым якорем и кольцевой обмоткой якоря и двумя основными полюсами (рис. 5,а). Через обмотку возбуждения генератора проходит постоянный ток I_b , который образует между полюсами $N—S$ неподвижный магнитный поток возбуждения (основное поле). При вращении якоря в той части витков, которые расположены на поверхности якоря и пересекают силовые линии этого основного поля (в активных сторонах витков), индуктируется э. д. с. При этом направление э. д. с. в проводниках, оказавшихся в данный момент времени под северным полюсом, — одно (указано точкой), а в проводниках под южным полюсом — противоположное (указано крестом \times).

В проводниках обмотки якоря индуктируется переменная э. д. с., так как каждый проводник за время одного оборота поочередно проходит под северным и южным полюсами. Направление э. д. с. определяется правилом правой руки. В самой обмотке якоря ток не проходит, так как суммарная э. д. с. всех проводников, оказавшихся в данный момент времени под северным полюсом (верхняя ветвь обмотки), равна суммарной э. д. с. всех проводников, расположенных под южным полюсом (нижняя ветвь обмотки), и э. д. с. направлены встречно (в точках $a, б$ по линии геометрической нейтрали) и поэтому взаимно компенсируются. На рис. 5,б э. д. с. каждого проводника обеих ветвей обмотки заменена эквивалентной э. д. с. батареей.

Линия $аб$ в генераторе называется нейтральной или физической (электрической) нейтралью. При переходе через нее активные стороны витков не пересекают магнитных силовых линий

(«скользят по ним»), и в них не возникают э. д. с. В данном случае (см. рис. 5,а) линия физической нейтралли совпадает с линией геометрической нейтралли (линией, проходящей через центр якоря посередине между полюсами). На рис. 5,а разность напряжений, создающаяся в точках a и b линии геометрической нейтралли, перпендикулярной оси полюсов $N-S$, будет наибольшая.

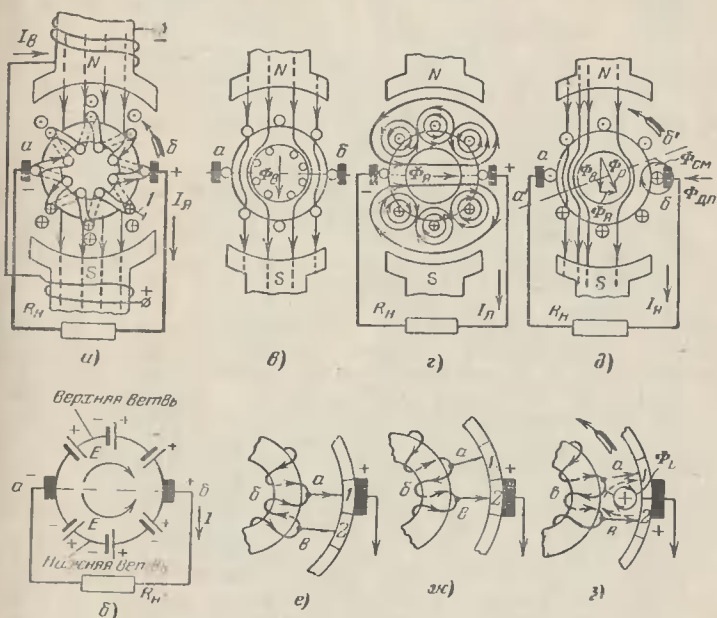


Рис. 5. Принцип работы генератора (а), упрощенная схема его замещения (б), реакции якоря (в, г, д) и процесс коммутации на коллекторе (е, ж, з).

ab — линия геометрической нейтралли; $1, 2$ — коллекторные пластины; $\Phi_{\text{в}}$, $\Phi_{\text{я}}$, $\Phi_{\text{р}}$ — магнитные потоки: основной (возбуждения), реакции якоря и результирующий; $\Phi_{\text{ДП}}$ — поток дополнительного полюса; $\Phi_{\text{СМ}}$ и $\Phi_{\text{Л}}$ — потоки, создаваемые в результате смещения нейтралли и явления самоиндукции в короткозамкнутом витке якорной обмотки.

Если в точках a и b установить токосъемные щетки (рис. 5,а), то по цепи внешней нагрузки пойдет ток под действием максимальной суммарной э. д. с. всех последовательно соединенных проводников обеих ветвей обмотки якоря (под действием параллельной соединенной группы батарей на рис. 5,б). Несмотря на то что э. д. с., индуцируемая в проводниках якорной обмотки, переменная, однако благодаря тому, что части обмотки, составляющие параллельные ветви, всегда находятся в поле только одной определенной полярности, и благодаря наличию щеток и коллекторных пластин че-

рез нагрузку будет проходить постоянный ток. Происходит это потому, что щетки всегда устанавливаются строго в точках стыка параллельных ветвей, т. е. в точках, расположенных на нейтральной линии, где, как уже известно, витки обмотки непрерывно переходят из одной параллельной ветви в другую. В этом случае витки якорной обмотки, перемещаясь из одной параллельной ветви в другую, поочередно будут соединять щетки с как бы неподвижными в пространстве параллельными ветвями (рис. 5,б). При направлении э. д. с., указанном на рис. 5,а и б, правая щетка б будет положительной, а левая а — отрицательной. При движении якоря сохраняется неизменной полярность щеток и, следовательно, ток во внешней цепи генератора, подключенной к щеткам а и б, сохраняет постоянное направление.

В витках якорной обмотки в моменты переключения их из одной параллельной ветви в другую происходит изменение направления тока. Этот процесс называется коммутацией.

Рассмотрим физические процессы, происходящие при работе генератора на внешнюю нагрузку и в случае перехода щетки с одной коллекторной пластины на другую.

На холостом ходу генератора основное поле Φ_v , создаваемое обмоткой возбуждения, имеет вид, представленный на рис. 5,в, т. е. поток симметричен относительно оси поля, проходящей через середины полюсов N и S , и относительно физической нейтрали (линия а—б), совпадающей в данном случае с геометрической нейтралью. При прохождении по проводникам якорной обмотки тока нагрузки I_a вокруг каждого из них возникают свои магнитные потоки, в итоге образующие так называемый поток реакции якоря Φ_a (рис. 5,г), неподвижный в пространстве и направленный по линии нейтрали а—б. В результате взаимодействия основного поля возбуждения и реакции якоря в машине создается результирующее поле Φ_r , имеющее вид, показанный на рис. 5,д. Магнитные силовые линии этого поля у набегающего конца полюса ослабляются, так как поток Φ_a направлен навстречу потоку Φ_v , а у убегающего конца полюса усиливаются (потоки Φ_a и Φ_v совпадают). Поэтому результирующий магнитный поток Φ_r как бы поворачивается относительно оси основных полюсов на некоторый угол, а физическая нейтраль а'—б' смещается относительно геометрической нейтрали а—б в сторону вращения якоря (рис. 5,д). Чем больше нагрузка генератора, тем сильнее искажается реакция якоря основное поле и, следовательно, тем больше угол смещения физической нейтрали. Смещение физической нейтрали отрицательно влияет на коммутацию.

Процесс коммутации весьма сложен. Для его пояснения на рис. 5, е, ж, з в упрощенном виде изображены три момента взаимного расположения коллекторных пластин (обмотки) и щеток при вращении якоря. На рис. 5,е щетка находится на коллекторной пластине 1. Ток в этом случае проходит из обеих параллельных ветвей (находящихся под разными полюсами) к пластине 1 и далее через щетку — во внешнюю цепь. На рис. 5,ж щетка уже находится на коллекторной пластине 2. При переходе щетки с коллекторной пластины 1 на пластину 2 ток в проводнике а б и б в меняет направление на обратное (ср. на рис. 5,е и ж токораспределение, обозначенное стрелками). На рис. 5,з щетка занимает промежуточное положение по сравнению с двумя предыдущими случаями, замыкая обе

пластины 1 и 2. При этом в короткозамкнутом витке abv на основании закона Ленца образуется э. д. с. самоиндукции, препятствующая изменению тока при переходе щеток с коллекторной пластины 1 на пластину 2. Эта э. д. с. стремится поддержать прежнее направление тока в проводнике ab и bv (такое, как было на рис. 5,е). Из рис. 5,з, на котором сплошными стрелками показан ток нагрузки, а пунктиром — ток, вызванный э. д. с. самоиндукции, видно, что в проводнике a оба тока складываются, а в проводнике v — вычитаются. Естественно, что плотность тока на сбегающем конце щетки за счет тока, образуемого э. д. с. самоиндукции, при коммутации увеличивается, а на набегающем — уменьшается.

Кроме явления самоиндукции, на коммутацию влияет то, что при переходе щетки с коллекторной пластины 1 на пластину 2 плотность тока нагрузки за счет изменения площади соприкосновения щетки и пластин увеличивается на сбегающем конце и уменьшается на набегающем конце щетки. Увеличение плотности тока вызывает искрение и нагрев щеток на сбегающем конце щеток.

Смещение физической нейтральной при нагрузке и образование в месте токоотбора, т. е. в геометрической нейтральной, потока $\Phi_{см}$ (рис. 5,д), по знаку аналогичного знаку потока самоиндукции Φ_L (рис. 5,з), еще более ухудшает коммутацию, усиливая искрение. Для устранения этого явления и обеспечения безыскровой коммутации в геометрической нейтральной устанавливаются дополнительные полюсы ДП, обмотка которых включается последовательно с обмоткой якоря (на рис. 5,д полюсы ДП не показаны). Полярность обмоток ДП согласовывается с полярностью основной обмотки возбуждения таким образом, чтобы при нагрузке генератора поток, создаваемый током нагрузки в обмотке ДП, был направлен навстречу потоку самоиндукции (который совпадает с потоком реакции якоря) и компенсировал его (см. направление потока $\Phi_{ДП}$ на рис. 5,д). Величина потока $\Phi_{ДП}$ должна зависеть от нагрузки, так как чем она больше, тем больше э. д. с. самоиндукции при коммутации, что и достигается включением обмотки ДП последовательно с обмоткой якоря.

На процесс искрообразования влияет и искажение основного поля реакцией якоря (вне зоны действия дополнительных полюсов). Это искажение вызывает резкую разницу в э. д. с., индуктируемых в соседних секциях (проводниках) обмотки якоря, и в результате большую разность потенциалов между соседними пластинами коллектора. Последнее может явиться причиной возникновения дуги между пластинами. Во избежание этого крупные машины постоянного тока, как правило, снабжаются компенсационной обмоткой, выполняемой в полюсных башмаках (наконечниках) и включаемой последовательно с обмоткой якоря (как и обмотка дополнительных полюсов) с действием против потока реакции якоря $\Phi_{я}$. Машины, снабженные компенсационной обмоткой, называются компенсированными. В связи с небольшой мощностью применяемых на экскаваторе ЭКГ-4,6 генераторов и двигателей последние не имеют компенсационных обмоток, т. е. не компенсированы.

Двигатель постоянного тока преобразует электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию вращения рабочего механизма РМ. Когда через обмотку якоря двигателя проходит постоянный ток $I_{я}$ (величина которого зависит от напряжения U_r

на выходе источника питания — генератора Γ), то вокруг каждого проводника якорной обмотки двигателя образуется магнитное поле. Это поле взаимодействует с основным постоянным полем возбуждения, создаваемым обмоткой независимого возбуждения двигателя Дов. Основное поле возбуждения стремится «вытолкнуть» проводник якорной обмотки с током (потоком) из зоны своего действия: возникает вращающий момент, определяющийся током якоря $I_{\text{я}}$. Направление вращения определяется по правилу левой руки.

При вращении якоря двигателя в обмотке создается э. д. с., так как обмотка пересекает магнитное поле. Величина э. д. с., кроме других факторов, определяется скоростью вращения якоря, а направление э. д. с. определяется по правилу правой руки. Э. д. с. двигателя, согласно закону Ленца, направлена против напряжения генератора (почему она иногда называется противо-э. д. с.), поэтому ток якоря двигателя обуславливается разностью U_{Γ} и противо-э. д. с. E .

Реакция якоря, коммутация, действие и назначение обмоток дополнительных полюсов и т. п. аналогичны рассмотренным выше с той только разницей, что при работе двигателя физическая нейтраль смещается в направлении, противоположном направлению вращения якоря.

Конструктивное исполнение двигателей и генераторов, установленных на экскаваторе типа ЭКГ-4,6, дано ниже.

Цепи управления в системе Г—Д предназначаются для создания и введения в главную цепь управляющих воздействий машиниста и сигналов цепей обратных связей (1, 2 рис. 4,з), назначение которых описано несколько ниже.

В зависимости от того, что включено в цепь управления и чем управляется (регулируется) напряжение U_{Γ} на выходе (якоре) генератора, системы управления Г—Д получили определенные наименования. Так, например, система Г—Д с ЭМУ означает, что в качестве возбудителя генератора служит электромашинный усилитель поперечного поля — ЭМУ (рис. 4,б).

Система управления одноковшовыми экскаваторами. Все одноковшовые экскаваторы в настоящее время оснащаются четырьмя разнотипными системами такого рода регулируемого генератор-двигателя, управляемых:

1) изменением поля возбуждения генератора, выполненного по специальной трехобмоточной схеме (с тремя обмотками возбуждения — система ТГ—Д) рис. 4,а;

2) от электромашинного усилителя (система Г—Д с ЭМУ) рис. 4,б;

3) от ЭМУ в сочетании с промежуточным магнитным усилителем (система Г—Д с ЭМУ и ПМУ) — рис. 4,в;

4) от силового магнитного усилителя (система Г—Д со СМУ или УМГ—Д) — рис. 4,г.

Система ТГ—Д. В системе ТГ—Д генератор Г (рис. 4,а) имеет три обмотки возбуждения: независимую $\Gamma_{\text{ОВН}}$, параллельную (самовозбуждения) $\Gamma_{\text{ОВШ}}$ и последовательную размагничивающую токовую $\Gamma_{\text{ОВС}}$. Независимая обмотка $\Gamma_{\text{ОВН}}$ создает основной намагничивающий поток, величина и знак которого зависят от положения регулятора-командоконтроллера КК, и определяет величину и полярность напряжения на зажимах якоря генератора ($\pm U_{\Gamma}$). Обмотка самовозбуждения $\Gamma_{\text{ОВШ}}$ подключается к якору генератора параллельно и действует согласно с обмоткой $\Gamma_{\text{ОВН}}$. Токовая обмотка $\Gamma_{\text{ОВС}}$ включается последовательно с якорем генератора и действует навстречу двум указанным обмоткам (см. направления магнитных потоков на рис. 4,а, где они обозначены стрелками в двигательном режиме).

Управляемое напряжение на якоре генератора ($\pm U_{\Gamma}$) в каждый момент времени определяется не только положением КК, но и величиной напряжения и тока генератора, и в конечном итоге определяется алгебраической суммой магнитных потоков или намагничивающих сил (н. с.) всех обмоток возбуждения генератора $F_{\text{рез}} = F_{\text{ОВН}} + F_{\text{ОВШ}} - F_{\text{ОВС}}$. На рис. 6,а изображена кривая намагничивания генератора $U_{\Gamma} = f(F_{\text{рез}})$, устанавливающая связь между напряжением генератора и н. с. его обмоток возбуждения.

Влияние каждой обмотки возбуждения в системе ТГ—Д на форму внешней характеристики генератора $U_{\Gamma} = f(I_{\text{я}})$ (представляющей собой зависимость между напряжением и током якоря генератора для установившегося режима) можно проследить по рис. 6,б, в, г.

Наличие только одной обмотки возбуждения $\Gamma_{\text{ОВН}}$ (рис. 6,б) дает возможность получать в этой системе Г—Д жесткую механическую характеристику с недопустимой для привода экскаватора величиной стопорного

момента (тока короткого замыкания), так как эта величина определяется пересечением линии характеристики $U_r = f(I_r)$ с горизонтальной осью графика (угол наклона этой характеристики здесь определяется только падением

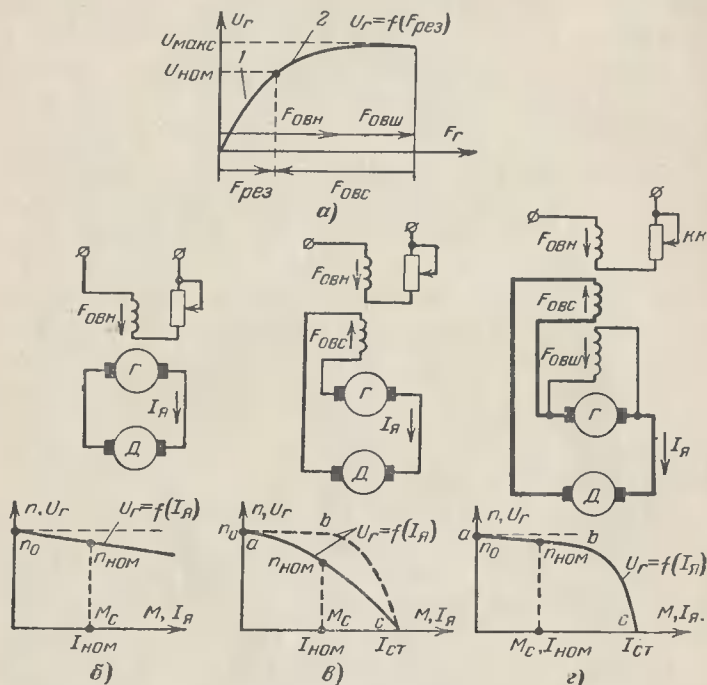


Рис. 6. Получение внешней (механической) характеристики системы трехобмоточный генератор — двигатель (ТГ—Д).

a — кривая намагничивания генератора $U_r = f(F_{\text{рез}})$: 1 — линейная часть; 2 — область насыщения. Внешние характеристики генератора с одной обмоткой возбуждения генератора (б), двумя (в) и тремя (г).

напряжения в якорной цепи). Подобного вида механическую характеристику имеют электродвигатели при работе на естественной характеристике, представляющей собой зависимость скорости электродвигателя от его момента при работе с номинальным напряжением и отсутствии внешнего сопротивления в цепи якоря.

Введение последовательной токоограничивающей обмотки $\Gamma_{\text{ОВС}}$ (рис. 6, в), н. с. которой действует навстречу

н. с. обмотки $\Gamma_{ОВН}$, смягчает механическую характеристику двигателя и позволяет ограничить величину стопорного момента определенной допустимой величиной ($I_{СТ} = 1,5 - 2,9 I_{ном.лв}$). В то же время включение токоограничивающей обмотки $\Gamma_{ОВС}$ приводит в некоторых случаях к уменьшению скорости двигателя в рабочей области характеристики. Это обстоятельство приводит к недопустимому снижению производительности экскаватора в связи с тем, что механические характеристики двигателя в системе Γ —Д с двумя обмотками ($\Gamma_{ОВН}$ и $\Gamma_{ОВС}$) возбуждения генератора могут иметь различный вид в зависимости от насыщения генератора. При слабом его насыщении (участок 1 рис. 6,а) размагничивающее действие обмотки $\Gamma_{ОВС}$ начинает сказываться в рабочей области и приводит к резкому уменьшению жесткости характеристики (сплошная линия на рис. 6,б). При сильно насыщенном генераторе (область 2 рис. 6,а) влияние размагничивающего действия обмотки $\Gamma_{ОВС}$ на участке рабочей области (ab) не сказывается и становится резко выраженным только при снижении суммарной н. с. до значений, соответствующих линейной части характеристики намагничивания генератора. Такая механическая характеристика двигателя в системе Γ —Д для насыщенного генератора с двумя обмотками изображена на рис. 6,б штриховой линией.

Для получения в окончательном виде экскаваторной характеристики электропривода целесообразно введение параллельной обмотки генератора $\Gamma_{ОВШ}$, которая совместно с обмотками $\Gamma_{ОВН}$ и $\Gamma_{ОВС}$ обеспечит при незначительном насыщении генератора получение требуемой жесткости характеристики в рабочей области и резкое падение скорости в области стопорных моментов. Параллельная обмотка возбуждения $\Gamma_{ОВШ}$ (рис. 6,г), действуя согласно с обмоткой независимого возбуждения $\Gamma_{ОЗН}$, поддерживает напряжение (э. д. с.) генератора, а соответственно и скорость двигателя в рабочей области близкими к номинальным значениям. Вследствие такого действия параллельной обмотки возбуждения $\Gamma_{ОВШ}$ трехобмоточный генератор имеет по сравнению с двухобмоточным то преимущество, что уменьшается н. с. независи-

мой обмотки (являющейся частью общей н. с. F_{Γ} генератора) при постоянной F_{Γ} .

Обычными соотношениями н. с. в выполненных генераторах являются: $F_{\text{овш}} = F_{\text{овн}}$ и $F_{\text{овс}} = F_{\text{овн}}$. Уменьшение н. с. независимой обмотки в конечном итоге снижает общий вес меди обмоток возбуждения.

Итак, система ТГ—Д довольно полно отвечает основному требованию, предъявляемому к электроприводу.

Статические и динамические характеристики. Характеристики на рис. 6,2 и 1—6 на рис. 3 являются характеристиками установившегося режима, под которым понимается такой режим работы, когда при заданном моменте на валу двигателя скорость, ток и момент двигателя сохраняют неизменные значения (статичны). Характеристики установившегося режима поэтому называются иногда статическими.

В переходных (динамических) режимах работы электропривода, как, например, при разгоне, торможении и резких изменениях нагрузки, моменты и токи, вызываемые этими нагрузками, могут значительно отличаться (уменьшаться или увеличиваться) от установленных при наладке статических значений. Причиной подобных расхождений динамических и статических характеристик является наличие в схеме управления электроприводом элементов, обладающих электромагнитной инерцией (подобной инерции при механическом движении тел). Так, например, самоиндукция задерживает изменение (возрастание или спадание) тока возбуждения генератора, что замедляет в переходных режимах процесс изменения напряжения генератора. Вследствие взаимной индукции при изменении величины тока в одной из обмоток или магнитного потока генератора наводится э. д. с. во всех обмотках возбуждения, так как они размещены на общем магнитопроводе. В результате изменения магнитного потока возникают вихревые токи в сплошном массиве магнитопроводов (полюсах, корпусе), замедляющие изменение магнитного потока в магнитопроводе во время переходных процессов.

Вызванные этими причинами замедления электромагнитных процессов приводят к расхождению статических и динамических характеристик. Так, при резком стопорении коша ток в силовой цепи может превышать стопорное

(предельное) значение (см. кривую 7 на рис. 3), так как размагничивание генератора обмоткой $\Gamma_{\text{ОВС}}$ запаздывает. Из рис. 3 видно, что динамический ток при интенсивном стопорении ковша значительно превышает токи, соответствующие данной скорости вращения по статической характеристике. Эти расхождения могут достигать двукратной величины, т. е. $I_{\text{д. макс}}/I_{\text{СТ}} \approx 2$.

Быстродействие электропривода зависит, следовательно, от электромагнитной инерции в цепях возбуждения генератора и характеризуется электромагнитной постоянной времени — T , равной:

$$T = \frac{L}{r},$$

где L — индуктивность обмоток возбуждения;

r — омическое сопротивление цепей возбуждения.

Чем больше индуктивность обмоток возбуждения, тем больше T (меньше быстродействие) и тем больше расхождение характеристик. С увеличением насыщения генератора, т. е. при более жестких внешних характеристиках, величина индуктивности снижается. Уменьшение величины T может быть достигнуто и путем увеличения активного сопротивления в цепях обмоток возбуждения.

Влияние н. с. обмоток трехобмоточного генератора на механическую характеристику двигателя. При наладке системы ТГ—Д исполнителю-наладчику очень важно знать, как влияет каждая н. с. обмоток трехобмоточного генератора на механическую характеристику двигателя при неизменных н. с. двух остальных обмоток. Для выяснения этого влияния н. с. на форму механической характеристики двигателя на рис. 7 приведены три семейства характеристик с различным соотношением н. с. обмоток.

Изменение н. с. (числа ампер-витков) последовательной обмотки возбуждения $\Gamma_{\text{ОВС}}$ (рис. 7, а) при постоянных параметрах обмоток возбуждения $\Gamma_{\text{ОВН}}$ и $\Gamma_{\text{ОВШ}}$ сказывается только на величине стопорного тока или момента, развиваемого двигателем, но не сказывается на величине максимального напряжения и соответствующей ей скорости вращения двигателя при холостом ходе (n_0). Величина стопорного тока механической характеристики здесь зависит от размагничивающего действия

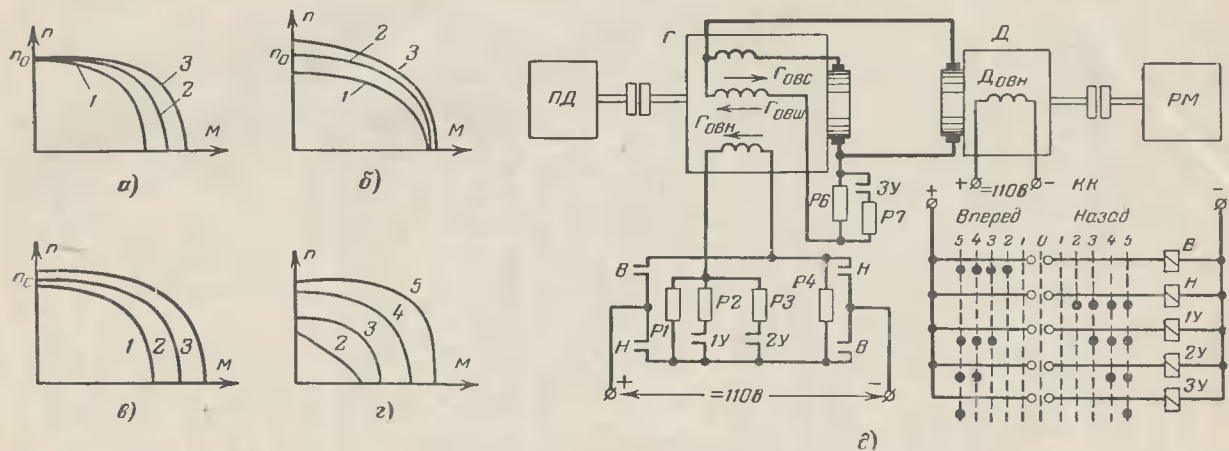


Рис. 7. Механические характеристики системы ТГ—Д при изменении н. с. (ав) одной из обмоток возбуждения генератора.

а — последовательной; б — параллельной; в — независимой; г — изменение ав в зависимости от положения KK в схеме управления главными приводами экскаватора типа ЭКГ-4, выполненными по системе ТГ—Д; д — схема управления.

токоограничивающей обмотки. Поэтому характеристика I рис. 7,а соответствует наибольшей н. с. последовательной обмотки, а характеристика $З$ — наименьшей н. с. Как правило, на практике изменение н. с. (точнее, числа витков) токовой обмотки не применяется.

Изменение н. с. параллельной обмотки возбуждения $\Gamma_{\text{ОВШ}}$ при постоянных параметрах обмоток возбуждения $\Gamma_{\text{ОВН}}$ и $\Gamma_{\text{ОВС}}$ (рис. 7,б) приводит к изменению (смещению) точки идеального холостого хода двигателя n_0 — величины скорости. Однако величина стопорного тока мало изменяется, так как величина н. с. параллельной обмотки при стопорном токе определяется лишь падением напряжения в обмотке двигателя и соединительных проводах якорной (силовой) цепи и поэтому весьма мала. При средних и малых нагрузках действие параллельной обмотки возрастает. Механические характеристики I и $З$ рис. 7,б соответствуют наименьшему и наибольшему значениям н. с. параллельной обмотки.

Наконец, изменение н. с. независимой обмотки возбуждения $\Gamma_{\text{ОВН}}$ при постоянных параметрах обмоток возбуждения $\Gamma_{\text{ОВШ}}$ и $\Gamma_{\text{ОВС}}$ (рис. 7,в) приводит к изменению положения точки идеального холостого хода (х. х.) двигателя и, кроме того, к изменению величины стопорного тока и момента. Однако скорость х. х. изменяется при этом гораздо меньше, чем стопорный момент, так как параллельная обмотка стремится поднять напряжение холостого хода генератора даже при сильно ослабленном действии обмотки независимого возбуждения. Характеристика I соответствует наименьшему значению н. с. обмотки $\Gamma_{\text{ОВН}}$, характеристика $З$ — наибольшему значению.

Возможность подобного формирования механической характеристики путем изменения величин н. с. независимой и параллельной обмоток возбуждения генератора с целью получения при наладке и дальнейшей работе требуемых механических характеристик и предусматривается электрической схемой управления главными приводами экскаваторов ЭКГ-4 (рис. 7,г, д). Изменение н. с. обмоток $\Gamma_{\text{ОВН}}$ и $\Gamma_{\text{ОВШ}}$ при наладке достигается изменением величины сопротивлений, установленных в их цепях. Изменение н. с. последовательной обмотки не применяется, чтобы не усложнять схему управления. Управление двигателем механизма осуществляется (рис. 7,д)

командоконтроллером *КК*, действующим на цепи контактов направления *В (Вперед)*, *Н (Назад)* и ускорения *1У, 2У, 3У*. Контакторы в свою очередь производят переключения в цепях обмоток возбуждения генератора. В положениях 2, 3, 4 рукоятки *КК «Вперед»* и *«Назад»* изменяется н. с. задающей (независимой) обмотки возбуждения генератора за счет постепенного подключения (или отключения) сопротивлений в цепи ее обмотки. В положении 5 изменяется сопротивление в цепи обмотки $\Gamma_{\text{овш}}$.

2. ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭКСКАВАТОРА ТИПА ЭКГ-4,6 С СИЛОВЫМ МАГНИТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Экскаватор типа ЭКГ-4,6, как и другие экскаваторы, оборудован автоматизированным электрическим приводом, выполняющим заданные экскаваторные характеристики. Система управления экскаватором (рис. 4,2) дает возможность автоматически поддерживать постоянство скорости двигателя и рабочего механизма в период установившегося режима и автоматически ограничивать момент в период стопорения.

С целью пояснения назначения отдельных элементов в структурной схеме автоматического управления электроприводом экскаватора типа ЭКГ-4,6 и основных понятий техники регулирования ниже рассматривается пример ручного управления электроприводом.

При ручном управлении машинист, желая установить определенную скорость двигателя, воздействует на цепь возбуждения генератора, т. е. изменяет величину тока в обмотке возбуждения генератора с помощью реостата, командоконтроллера или иного устройства. Величина тока (магнитного потока) возбуждения определяет напряжение генератора, от которого в системе Г—Д зависит скорость двигателя и рабочего механизма, связанного с ним.

Таким образом, имеет место направленная цепь воздействий: машинист посредством реостата или другого устройства воздействует на ток (поток) возбуждения генератора; последний вызывает изменение напряжения на якоре генератора; от величины напряжения генератора уже зависит скорость двигателя. Эта цепь воздействий, называемая основной, имеет одну цель: управлять скоростью двигателя.

Начало этой направленной цепи воздействий называется входом системы управления; конец — выходом. Соответственно различают входные и выходные величины системы.

Входной величиной (входным воздействием) является величина тока (или напряжения) в обмотке возбуждения генератора. Выходной величиной — скорость двигателя рабочего механизма.

Машинист, воздействуя на вход системы (на цепь возбуждения генератора), вызывает изменение скорости двигателя и по показам

нию измерительного прибора или по ходу рабочего механизма определяет ее величину.

В качестве измерительного прибора при ручном управлении обычно применяется вольтметр, включаемый на зажимы якоря генератора, поскольку скорость двигателя пропорциональна напряжению генератора. По показанию вольтметра машинист ведет постоянное наблюдение за скоростью двигателя и в случаях отклонения ее от заданной величины соответственно этому отклонению оказывает то или иное воздействие на систему.

Отсюда видно, что для поддержания неизменным заданного напряжения генератора (скорости двигателя рабочего механизма) вручную, без применения автоматики, машинист должен, во-первых, наблюдать за показаниями измерительного прибора, во-вторых, сравнивать эти показания с заданной величиной (допустим, задано поддерживать напряжение на генераторе 500 в) и, в третьих, в случае наличия разности между заданной и наблюдаемой величинами передвигать ручку реостата, изменяя тем самым ток в обмотке возбуждения и напряжение генератора, чтобы эта разность стала равной нулю. Таким образом, машинист выполняет здесь следующие функции: 1) контролирует напряжение генератора, 2) сравнивает его с заданным значением, 3) управляет напряжением генератора, регулируя его величину.

По показаниям другого прибора—амперметра, включенного в силовую цепь Г—Д, машинист ведет наблюдение за величиной тока в якорной цепи и в случаях, когда эта величина тока станет выше допустимой, снижает напряжение генератора и тем самым уменьшает ток в якорной цепи.

Автоматизированный электропривод экскаватора типа ЭКГ-4,6 призван заменить утомительный труд машиниста, поэтому система автоматического управления (рис. 4,г) должна выполнять те же функции.

Для поддержания заданного значения выходной величины (напряжения генератора) без участия машиниста необходимо, чтобы в системе *непрерывно сравнивалось действительное значение выходной величины с заданным*. В результате сравнения должно оказываться *воздействие на вход системы, которое восстанавливало бы заданное значение выходной величины*.

Следовательно, для автоматического управления необходимо прежде всего воздействие выходной величины системы на ее вход. Это воздействие называется *обратной связью*.

При ручном управлении обратная связь осуществлялась машинистом на основании показаний вольтметра. Машинист постоянно сравнивал показания вольтметра с заданной величиной напряжения и сообразно этому принимал решение, как изменить входную величину (ток в обмотке возбуждения). Очевидно, что при увели-

чении напряжения генератора сверх допустимого значения машинист уменьшал ток в обмотке возбуждения, а при уменьшении напряжения генератора увеличивал ток.

Итак, обратная связь (как и машинист) в автоматической системе (с целью поддержания заданной величины напряжения генератора) должна действовать встречно входной величине: снижать ее при увеличении выходной величины и увеличивать при уменьшении выходной величины. Такая обратная связь, действующая встречно основному воздействию, называется отрицательной (подробно об обратных связях см. ниже).

Исходя из сказанного, структурная схема системы автоматического регулирования и управления должна иметь следующие элементы:

1. Измерительный элемент (датчик), который измеряет величину, подлежащую управлению (регулированию) в данном объекте и преобразует ее в величину другого вида, более удобную для воздействия на элемент сравнения.

2. Элемент сравнения, где сигналы датчика сравниваются с предписанным значением регулируемой величины (с заданием) и при наличии их расхождения передают соответствующие командные воздействия на исполнительный орган.

3. Задающий элемент, который служит для установки заданного значения регулируемой величины.

4. Исполнительный орган, который исполняет командное воздействие и в соответствии с этим восстанавливает заданное значение регулируемой величины.

В приведенном выше примере при ручном регулировании объектом являлся двигатель рабочего механизма; регулируемой величиной — скорость двигателя (вернее, напряжение генератора), датчиком — вольтметр, исполнительным органом — генератор, задающим элементом — реостат, а функции управляющего органа (элемента сравнения) выполнял человек.

В системе автоматизированного электропривода экскаватора типа ЭКГ-4,6 измерительным элементом служит сопротивление ОС (рис. 4,2), включенное на напряжение генератора. При изменениях напряжения генератора в нем изменяется величина тока, а следовательно и падение напряжения на той его части, откуда

снимается напряжение (сигнал обратной связи — $x_{ос}$) и подается на обмотку $ОН$ магнитного усилителя.

Силовой магнитный усилитель в этой системе, кроме роли усилительного устройства, выполняет функции элемента сравнения.

Обмотка усилителя $ОН$ осуществляет обратную отрицательную связь, так как она получает от датчика сигналы $x_{ос}$ и включена встречно задающей обмотке $ОЗ$ усилителя.

Установка заданного значения регулируемой величины, которую система должна поддерживать постоянной, выполняется посредством датчика — командоконтроллера $КК$. Напряжение U_y , снимаемое с командоконтроллера $КК$, подается к задающей обмотке $ОЗ$ силового магнитного усилителя $СМУ$ и, усиленное последним, передается на электропривод, определяя заданный режим работы системы Γ — $Д$. При этом выходная (регулируемая) величина системы, измеренная и преобразованная в сигнал обратной связи, в виде н. с. $F_{н}$ обмотки $ОН$ постоянно сравнивается с заданным значением — н. с. F_z задающей обмотки $ОЗ$ усилителя. В результате сравнения вырабатывается на выходе магнитного усилителя результирующее воздействие (командный сигнал). Значение и знак выходного сигнала зависят от того, насколько и в каком направлении действительное текущее значение выходной (регулируемой) величины системы отклонилось от заданного. Командный сигнал поступает в независимую обмотку возбуждения генератора, т. е. в исполнительный орган, который и восстанавливает прежнее значение напряжения. Как это осуществляется, более подробно видно из следующего.

Допустим, по каким-либо причинам увеличился момент сопротивления вращению рабочего механизма, т. е. статическая нагрузка в системе Γ — $Д$. Увеличение момента вызовет как увеличение тока, потребляемого двигателем $Д$, так и понижение регулируемой величины — напряжения на зажимах генератора Γ за счет увеличения потери напряжения в нем. В этом случае уменьшится напряжение на зажимах обмотки $ОН$ усилителя, а следовательно, ее ток и н. с. $F_{н}$. Тогда при неизменном значении F_z н. с. задающей обмотки $ОЗ$ увеличится результирующая н. с. магнитного усилителя,

а в итоге и ток его выхода. При этом ток возбуждения в независимой обмотке генератора $I_{овн}$ и напряжения генератора возрастут и регулируемая величина будет стремиться к прежнему (заданному) значению. Так и происходит автоматическое поддержание (стабилизация) заданной скорости рабочего механизма.

Таким образом, обратная связь позволяет учитывать изменение регулируемой величины и вносить соответствующие коррективы в командное воздействие на вход системы, благодаря чему восстанавливается заданное значение регулируемой величины.

Система регулирования, где выходная величина связана с ее входом через обратную связь, называется замкнутой системой, а подобная обратная связь — главной, основной (1 на рис. 4,2). Помимо нее бывают другие (вспомогательные, промежуточные) обратные связи для стабилизации системы и улучшения качества регулирования (рис. 8, цепи обмоток усилителя *ОСТ* и *ОСН*), а также для ограничения момента при стопорении двигателя (цепь обмотки *ОТ*).

Величина сигнала $x_{ос}$ обратной связи, снимаемой с сопротивления *ОС* (рис. 4,2), определяется формулой

$$x_{ос} = \beta x_{вых},$$

где β — коэффициент обратной связи, указывающий, какая доля выходного сигнала (выходной величины) $x_{вых}$ используется для воздействия на вход звена основной (прямой) цепи воздействий в виде сигнала обратной связи $x_{ос}$.

С возрастанием величины $x_{ос}$ увеличивается действие обратной связи и она становится глубокой (большой).

В общем случае обратная связь может быть положительной, отрицательной, жесткой, гибкой и задержанной.

Положительная обратная связь действует согласно с входным воздействием (складывается), отрицательная — встречно (вычитается). Если воздействие выходной величины непрерывно и пропорционально значению регулируемой величины, т. е. $x_{ос} \equiv x_{вых}$, то обратная связь называется жесткой. В схеме управления экскаватором ЭКГ-4,6 главная обратная связь жесткая отрицательная и называется обратной непрерывно действующей связью по напряжению генератора (1 на рис. 4,2). Если воздействие выходной величины пропорционально скорости ее изменения, т. е.

$x_{ос} = \beta \frac{dx_{вых}}{dt}$, то она называется гибкой. Сигнал гибкой обратной

связи не зависит непосредственно от выходной величины (как это имеет место при жесткой обратной связи), а зависит только от скорости ее изменения. Поэтому гибкая обратная связь действует

только в переходном режиме и исчезает в установившемся режиме работы системы. Гибкую обратную связь иногда называют исчезающей, в то время как жесткая обратная связь действует во всех режимах работы системы.

Если воздействие выходной величины на вход начинается только после достижения регулируемой величиной определенного наперед

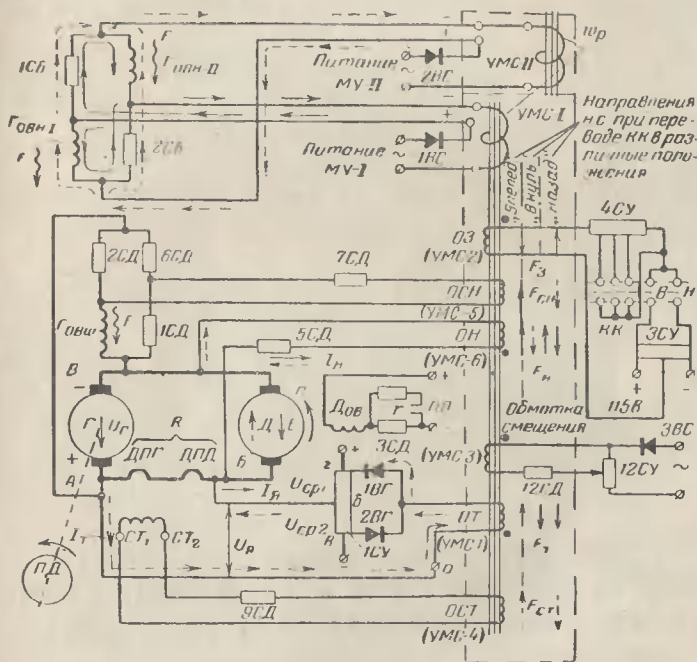


Рис. 8. Схема управления (упрощенная) главными приводами экскаватора типа ЭКГ-4,6, выполненными по системе Г—Д с силовыми магнитными усилителями (СМУ).

УМС-I и УМС-II — силовые магнитные усилители; ω_p — рабочая обмотка усилителя; ОЗ, ОН, ОТ, ОСН, ОСТ — обмотки управления усилителя: задающая, дифференциальная, токоограничивающая, гибкой обратной связи (стабилизирующие) по напряжению генератора и по току главной цепи; 1СУ, 3СУ, 4СУ, 12СУ — потенциометры; 1-2СБ, 1-9СБ, 12СД, r — балластные, установочные и шунтирующее сопротивления; 1-3В, 1-2ВГ — селеновые и германиевые выпрямители; $D_{ов}$ — обмотка возбуждения двигателя; ПП — главный контакт контактора ослабления поля двигателя.

заданного значения, то обратная связь называется задержанной. Примером такой задержанной обратной связи (2 на рис. 4.2 и цепь обмотки ОТ на рис. 8) в схеме управления экскаватором ЭКГ-4,6 является жесткая отрицательная токовая обратная связь. Ее действие задерживается определенным образом включенным через полупроводниковые вентили независимым напряжением сравнения $U_{ср}$. За-

держанная обратная связь по току нагрузки двигателя вступает в действие только тогда, когда ее напряжение U_R (падение напряжения на сопротивлении R при прохождении тока I_d) превысит напряжение срабатывания $U_{ср}$ (рис. 4,з). Затем она действует как обычная жесткая отрицательная связь, ограничивая ток нагрузки в главной цепи до предельного (стопорного) значения за счет резкого снижения напряжения генератора вплоть до полной остановки двигателя.

При стопорении двигателя н. с. F_T токоограничивающей обмотки OT усилителя СМУ, действующая против н. с. F_3 задающей обмотки, становится примерно равной последней, а результирующая н. с. усилителя — нулю, что приводит в итоге к уменьшению до нуля тока выхода усилителя СМУ, а следовательно, и тока независимой обмотки возбуждения генератора $I_{овн}$.

Задержанная обратная связь по току часто называется отрицательной обратной связью по току с отсечкой (сокращению — токовой отсечкой). Действие этой обратной связи подробно описано в § 4 (узел 4).

Сочетание различных обратных связей, например 1,2 (рис. 4,з) и OH , OT , OCH , OCT (рис. 8), с введением в отрицательную обратную связь по току отсечки создает в рассматриваемой схеме системы Г—Д с СМУ (УМГ—Д) экскаватора ЭКГ-4,6 возможность автоматического обеспечения заданных статической и динамической экскаваторных характеристик движения рабочего механизма.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСКАВАТОРОМ ТИПА ЭКГ-4,6

Электроснабжение экскаватора. Экскаватор ЭКГ-4,6 получает в забое электроэнергию от воздушной сети трехфазного тока напряжением 6 000 в (или 3 000 в) по кабельному отводу через наружное распределительное устройство типа РВНО-6 по гибкому кабелю на 6 000 в марки КШВГ сечением не менее $3 \times 16 + 1 \times 10$ мм². Кабель имеет три основные и одну заземляющую жилу (рис. 9).

Кабель подключается к вводному ящику, установленному на нижней раме экскаватора. От него через кольцевой токоприемник, смонтированный между поворотной платформой и нижней рамой, ток подходит к разъединителю типа РВ-6/400 высоковольтного распределительного устройства типа 2КВЭ-6М (поз. 3 на рис. 2), установленному на поворотной платформе впу-

три экскаватора. От разъединителя энергия распределяется по двум направлениям: через высоковольтные трубчатые предохранители типа ПКЭ-6 к силовому трансформатору типа ТАМЭ-30/6 (поз. 4 на рис. 2) мощностью 30 *кВА*, напряжением 6 000/230 *В*, и через масляный выключатель типа ВМЭ-6 (на 200 *А*) к трехфазно-

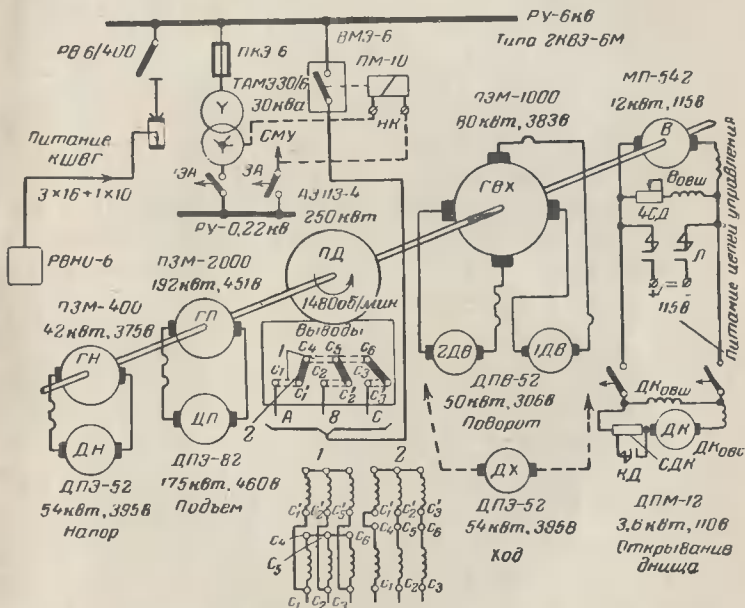


Рис. 9. Схема электроснабжения экскаватора ЭКГ-4,6. Положение переключателя на зажимной доске двигателя ПД при включении на 3000 в (1) и на 6000 в (2).

му сетевому приводному двигателю *ПД* преобразовательного агрегата. В ящике 2КВЭ-6М кроме высоковольтной аппаратуры, предназначенной для управления двигателем *ПД*, с задней стороны размещена низковольтная коммутационная аппаратура (автоматы, контакторы). Они служат для питания силовых магнитных усилителей типа ПДД-1,5 В, а также для управления и защиты низковольтных короткозамкнутых электродвигателей вспомогательных механизмов, питающихся от силового трансформатора.

Преобразовательный агрегат (рис. 2) 5 состоит из пяти машин: приводного асинхронного двигателя ПД 6 типа АЭ-113-4,250 квт, 1 480 об/мин, защищенного типа с самовентиляцией; генератора подъема ГП 7 типа ПЭМ-2000 открытого исполнения с самовентиляцией; генератора поворота и хода ГВХ 8 типа ПЭМ-1000 открытого исполнения; генератора напора ГН 9 типа ПЭМ-400 открытого исполнения; возбuditеля В 10 типа МП-542-1/2. Технические данные электрических машин постоянного тока пятимашинного генераторного агрегата приведены в приложении 3. Все пять машин агрегата смонтированы на одной фундаментной плите и соединены между собой муфтами.

Асинхронный двигатель типа АЭ-113-4 выполнен с короткозамкнутым ротором и имеет обмотку статора на два напряжения — 3 000 или 6 000 в для непосредственного пуска от сети. Зажимы выводной доски для присоединения питающего силового кабеля расположены сбоку на станине и закрыты коробкой. Выводы обмоток статора по ГОСТ маркируются: С₁, С₂, С₃ и С₄, С₅, С₆ — начала и концы обмоток соответственно. Перестановкой перемычек на выводной доске (рис. 9) можно переключать двигатель на 3 000 (1) или 6 000 в (2).

При пробном пуске агрегата необходимо обязательно убедиться в правильном направлении вращения в соответствии со стрелкой на корпусе (против часовой стрелки, если смотреть со стороны генератора подъема). При неправильном направлении нужно перекрестить подводящие жилы кабеля на двух любых зажимах.

Приводной двигатель допускает кратковременную перегрузку в 2,2 раза. Изоляция обмоток влагостойкая, класса В. Двигатель имеет минимальную защиту от чрезмерного понижения напряжения в сети, осуществляющую автоматическое отключение масляного выключателя посредством встроенного в привод выключателя ПМ-10 вторичного реле минимального напряжения мгновенного действия (нулевой катушки НК).

Генераторы постоянного тока типа ПЭМ (рис. 9 и 10) служат для питания двигателей главных рабочих механизмов. Генераторы состоят из следующих основных частей: станины с четырьмя главными и четырьмя дополнительными полюсами, якоря с коллектором и тра-

версы со щеткодержателями. К статине из листовой стали с внутренней стороны болтами прикрепляются основные и дополнительные полюсы. На основных полюсах помещаются по две катушки обмоток возбуждения ($1 \Gamma_{\text{овш}}$ и $2 \Gamma_{\text{овн}}$ рис. 10). Полюсы выполнены из листовой электротехнической стали толщиной 0,5—1 мм и заканчиваются полюсными наконечниками.

Независимая обмотка возбуждения генератора $\Gamma_{\text{овн}}$ питается от блока силовых магнитных усилителей (рис. 8) и состоит из двух одиновых самостоятельных ветвей (двух полуобмоток), концы которых выведены на зажимную доску ($H_1—H_2$ и $H_3—H_4$ рис. 10). Обе ветви независимой обмотки возбуждения генератора работают одновременно и согласно и обеспечивают вместе в номинальном режиме около 70—75% н. с. суммарных ампер-витков всех обмоток возбуждения генератора. Оставшуюся часть н. с. возбуждения создает параллельная обмотка самовозбуждения генератора, благодаря чему уменьшается мощность блока СМУ (обмотка самовозбуждения непосредственно питается от генератора и присоединена параллельно обмотке якоря). Во избежание самовозбуждения генератора при отсутствии тока в независимой обмотке возбуждения параллельная обмотка присоединяется к якору через добавочное сопротивление $2СД$ (рис. 8), величина которого в 6—7 раз больше величины сопротивления самой обмотки $\Gamma_{\text{овш}}$. Один конец этой обмотки $Ш_1$ подключается внутри машины непосредственно к якору, другой $Ш_2$ выводится на зажимную доску (рис. 10).

На литых дополнительных полюсах, помимо основной, размещены специальные стабилизирующие обмотки.

В зависимости от соединения между собой проводников (секций) обмотки якоря подразделяются на несколько типов. Например, в генераторе ПЭМ-2000 схема соединения обмотки якоря — «лягушечья»; в генераторе ПЭМ-1000 — петлевая без уравнивающих соединений; ПЭМ-400 — волновая. Пазы якоря закрыты гетинаксовыми клиньями; проводники в лобовых частях закреплены проволочными бандажами.

Коллектор собран из клинообразных пластин твердотянутой электротехнической меди, изолированных миканитом. К каждой пластине коллектора (см. рис. 5,е)

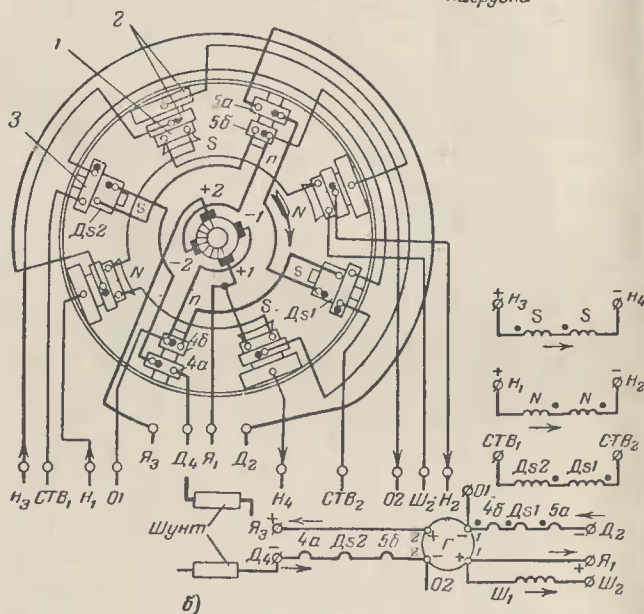
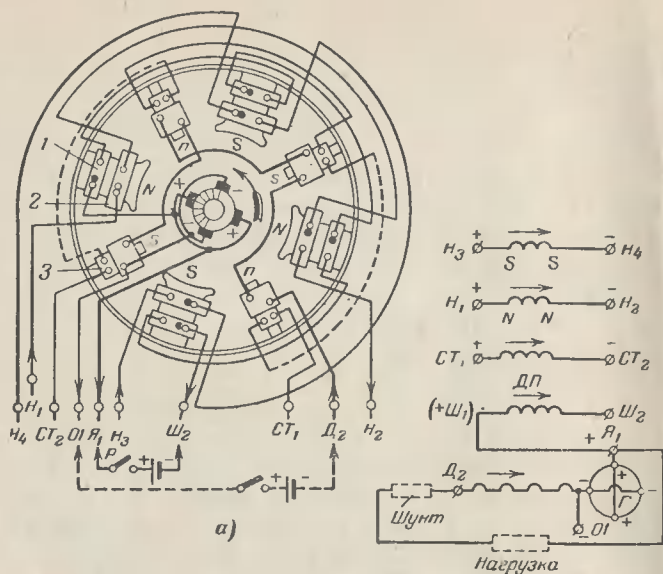


Рис. 10. Схема внутренних соединений генератора (вид со стороны коллектора) типов ПЭМ-2000 и ПЭМ-400 (а) и ПЭМ-1000 (б).
 1 — параллельная обмотка; 2 — независимая обмотка; 3 — стабилизирующая обмотка; 4а, 4б, 5а, 5б — полуобмотки дополнительных полюсов.

припаиваются концы от каждой пары проводников обмотки, образующих катушку (на 8 проводников обмотки требуются 4 коллекторные пластины и т. п.). Часть катушки (обмотки) между двумя пластинами коллектора называется секцией.

Щеточная траверса крепится к специальной заточке в ступице подшипникового щита, укрепляемого на корпусе генератора. На нее привинчиваются четыре brackets, изолированные от траверсы изоляционными прокладками. К bracketам крепятся щеткодержатели.

Принцип работы генератора типа ПЭМ (рис. 10) и физические процессы, происходящие в нем, аналогичны рассмотренным выше (рис. 5). Однако, так как генератор типа ПЭМ имеет четыре главных полюса, направление э. д. с. в проводниках якорной обмотки изменяется за четверть оборота якоря. Поэтому эти генераторы имеют четыре щетки и четыре дополнительных полюса ДП.

Один такой генератор с двумя парами щеток можно считать как бы состоящим из двух генераторов (см. рис. 5), которые могут работать либо параллельно, если соединены их однополярные щетки: плюс с плюсом, минус с минусом, и к ним подключена общая нагрузка (см. рис. 10,а), либо независимо (раздельно), если к каждой паре щеток (+ и —) каждого генератора подключена своя внешняя нагрузка (рис. 10,б и ГВХ на рис. 9 и 11).

В генераторе поворота и хода типа ПЭМ-1000 (рис. 10,б и 11) в отличие от двух других генераторов (ПЭМ-2000 и 400) используется возможность раздельной и параллельной (или последовательной) работы. К генератору ПЭМ-1000 (рис. 11) в случае необходимости подключаются либо одновременно два двигателя поворота (включением контакторов поворота 1,2 КВ), либо один двигатель хода (включением контакторов хода 1,2,3 КХ). Первый двигатель поворота (1 ДВ) присоединяется к зажимам Я₃—Д₄ и, таким образом, к одной паре щеток (2—2); второй двигатель — 2ДВ — к зажимам Я₁—Д₂, следовательно, к другой паре щеток (1—1). При этом обмотки дополнительных полюсов генератора ДП разделяются пополам; одна половина включается последовательно с якорем одного двигателя, другая — с якорем другого двигателя. Такое вклю-

чение двигателей относится к случаю раздельной работы «генераторов».

При необходимости включения одного двигателя хода (рис. 10, б и 11) он присоединяется к объединенным однополярным щеткам $Я_1 + Я_3$ и $Д_2 + Д_4$ генератора ПЭМ-1000, являясь, таким образом, общей нагрузкой для параллельно соединенных двух генераторов. Об-

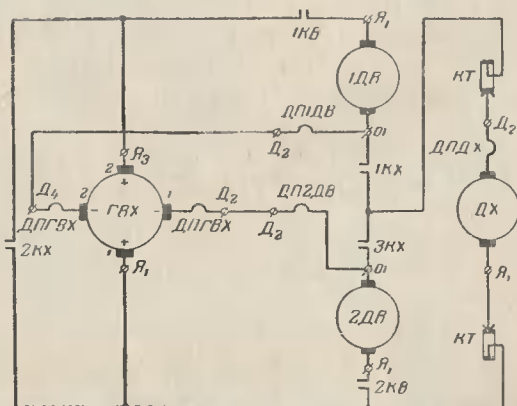


Рис. 11. Схема внешних соединений генератора типа ПЭМ-1000 с двигателями хода и поворота. 1, 2, 3 КХ — силовые контакты контакторов хода; 1, 2 КВ — силовые контакты контакторов поворота; ГВХ — генератор поворота-хода; ДПГВХ — обмотка дополнительных полюсов генератора ГВХ; 1, 2 ДВ — двигатели поворота; ДПДВ, ДП2ДВ — обмотки дополнительных полюсов двигателей поворота; ДХ — двигатель хода; ДПДХ — обмотки дополнительных полюсов двигателя хода; КТ — кольцевой токоприемник.

мотки дополнительных полюсов генератора ДП в этом случае тоже включаются параллельно.

Во всех генераторах типа ПЭМ (рис. 10) один конец $Д_2$ обмотки ДП выводится на доску зажимов, другой присоединяется внутри машины непосредственно к щеткам (т. е. к якору). От этой точки присоединения сделан отвод 01 на доску зажимов для подключения цепей управления. У генератора ПЭМ-1000, кроме того, имеются добавочные подобные выводы $Д_4$ и 02.

Кроме основной обмотки, на дополнительных полюсах генератора размещается специальная стабилизирующая обмотка. В ней, как во вторичной обмотке трансформатора, наводится э. д. с. индукции при изме-

нениях магнитного потока обмотки ДП, вызванных изменениями проходящего по ней постоянного тока нагрузки. Катушки стабилизирующей обмотки соединяются последовательно и согласно, а концы $СТ_1$ и $СТ_2$ выводятся на доску зажимов. К ним подключается обмотка гибкой отрицательной обратной связи по току главной цепи (цепь обмотки ОСТ на рис. 8).

Генератор постоянного тока типа МП-542 (рис. 9) служит для питания цепей управления экскаватором, токовых потенциометров и независимых обмоток возбуждения двигателей постоянного тока. Генератор имеет две обмотки возбуждения — параллельную и последовательную и, таким образом, является генератором со смешанным (компаундным) возбуждением. Такое возбуждение необходимо для поддержания напряжения на выходе генератора приблизительно на одном уровне (115 в) при значительных изменениях тока нагрузки. Для регулирования напряжения в цепи обмотки $V_{\text{овш}}$ предусматривается регулировочный реостат 4СД из трех последовательно включенных сопротивлений (полей) типа ПС. При увеличении сопротивления реостата уменьшается ток возбуждения возбудителя V и его напряжение.

Электродвигатели постоянного тока типов ДПЭ-82, ДПЭ-52 и ДПВ-52 (рис. 12, а, б) используются как приводные двигатели главных рабочих механизмов: подъема, напора, поворота и хода. Конструктивно каждый двигатель выполнен из тех же составных частей, что и генератор типа ПЭМ.

Двигатели типа ДПЭ являются модификацией краповых двигателей серии ДП и отличаются от них повышенными перегрузочными, механическими и электрическими параметрами, а также тем, что катушки всех четырех дополнительных полюсов соединены последовательно и включены только с одной стороны якоря. От места этого соединения сделан отвод 01 к доске зажимов проводом такого же сечения, что и якорные выводы $Я_1$ и $Д_2$. К зажиму 01 подключаются цепи управления. К выводам $Ш_1$ и $Ш_2$ (или $Ш_4$) подключается независимая обмотка возбуждения $Д_{\text{ов}}$, рассчитанная на напряжение 85 в, а так как на нее подается напряжение 115 в от возбудителя V , то во избежание перегрева в цепь $Д_{\text{ов}}$ включаются добавочные сопротивления r и 3СД, как показано на рис. 8.

Исполнение двигателей подъема и напора горизонтальное, а поворота — вертикальное с принудительной вентиляцией от отдельных электродвигателей.

На подъемной лебедке (рис. 9) установлен один двигатель ДП типа ДПЭ-82, 175 кВт, 460 в, 740 об/мин, якорь которого постоянно соединен с генератором ГП.

На рабочем механизме напора установлен один двигатель ДН типа ДПЭ-52, 54 кВт, 395 в, 1200 об/мин, якорь которого соединен постоянно с генератором ГН.

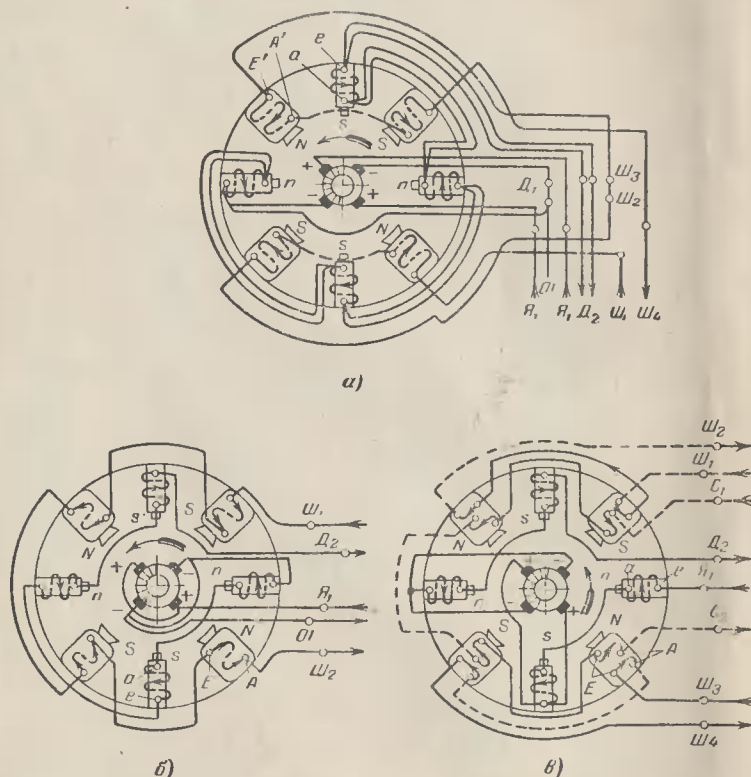


Рис. 12. Схема внутренних соединений двигателей (вид со стороны коллектора) типов ДПЭ-82 (а), ДПЭ-52 и ДПВ-52 (б) и ДПМ-11, 12, 21 (в).

А, а — начало обмоток; Е, е — концы обмоток; N, n, S, s — полярности основных и дополнительных полюсов при указании направления тока. Штриховой линией обозначены соединения на стороне, противоположной коллектору (или на стороне привода).

Поворотная платформа экскаватора приводится во вращение двумя двигателями 1ДВ и 2ДВ типа ДПВ-52 по 50 квт, 306 в, 900 об/мин правого и левого вращения. Якоря двигателей соединяются между собой и генератором ГВХ включением контакторов 1КВ и 2КВ (рис. 11).

Электродвигатель хода ДХ типа ДПЭ-52, 54 квт, 395 в, 1200 об/мин предназначен для передвижения экскаватора, закрытого исполнения, без принудительной вентиляции. Охлаждается вентилятором, который закреплен внутри двигателя на его валу. Якорь двигателя подключается к генератору ГВХ контакторами 1, 2, 3 КХ (рис. 11).

Механизм открывания днища ковша приводится в действие электродвигателем ДК типа ДПМ-12, 3,6 квт, 110 в, 1430 об/мин. Исполнение двигателя горизонтальное, водозащищенное, закрытое. Двигатель (рис. 12,в) имеет смешанное возбуждение, и поэтому на доску зажимов дополнительно выведены концы последовательной обмотки возбуждения C_1 и C_2 . Весьма существенным при наладке является согласование направления токов в обмотках возбуждения $ДК_{ОВШ}$ и $ДК_{ОВС}$ (рис. 9). В этих цепях токи всегда должны иметь одинаковое направление: от начала $Ш_1$ и C_1 к концу $Ш_2$ и C_2 (рис. 12,в) или от конца $Ш_2$ и C_2 к началу $Ш_1$ и C_1 .

Соединение выводов всех двигателей согласно ГОСТ 183-55 выполнено таким образом, что если токи в обмотках якоря и обмотках возбуждения имеют направления от начала к концу (от $Я_1$ к $Я_2$, точнее к $Д_2$; от $Ш_1$ к $Ш_2$ и от C_1 к C_2), то якорь будет вращаться по часовой стрелке (правое вращение), если смотреть со стороны привода, или против часовой стрелки (как на рис. 12), если смотреть со стороны коллектора. При этом палец щеткодержателя положительной полярности находится под серединой северного главного полюса.

Силовые магнитные усилители, трехфазные, двухтактные типа ПДД-1,5 В служат в схеме управления экскаватором для суммирования и усиления сигналов, управляющих работой системы автоматического регулирования (УМГ—Д), а также в качестве источника питания обмоток независимого возбуждения генераторов.

Простейшие схемы однофазных магнитных усилителей. Для выяснения принципа действия трехфазного магнитного усилителя преж-

де рассматриваются простейшие схемы однофазных магнитных усилителей (рис. 13, а и в). Усилитель состоит из последовательно соединенных сопротивления R_H (его принято называть нагрузкой) и индуктивной катушки L , состоящей из ω_p витков, намотанных на стальной сердечник. Усилитель подключен к источнику переменного тока, действующее значение напряжения $U \sim$ которого предполагается неизменным. Ток I_H в такой цепи зависит только от сопротивления обоих входящих в нее элементов. Изменяя, допустим, сопротивление катушки L , можно изменять ток, проходящий по на-

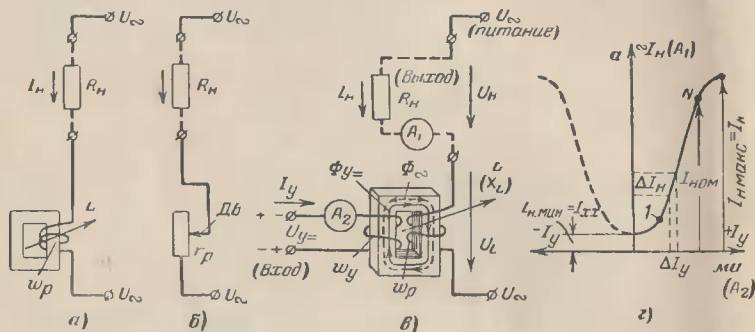


Рис. 13. Иллюстрация принципа работы простейшего магнитного усилителя (а, б, в) и его зависимость «вход — выход» (г).

$I_{х.х}$, $I_{ном}$, $I_{н.макс}$ — токи: холостого хода, номинальный и максимальный на выходе усилителя; A_1 — амперметр в цепи нагрузки; A_2 — миллиамперметр в цепи управления.

грузке R_H , так же, как это обычно делается с помощью регулируемого реостата r_p на рис. 13,б. Однако при использовании реостата r_p для изменения его сопротивления необходимо механически перемещать движок $Dв$, используя же индуктивную катушку со стальным сердечником, изменять ее индуктивное сопротивление можно чисто электрическим путем. Для этого, помимо основной рабочей обмотки w_p (рис. 13,в), на стальном сердечнике необходимо иметь вторую обмотку w_y , которая служит для подмагничивания сердечника постоянным током I_y . При прохождении по обмотке w_y постоянного тока намагничивания I_y возникает магнитный поток Φ_y , изменяющий магнитное состояние (степень насыщения) сердечника. От степени намагничивания сердечника зависит магнитная проницаемость μ стали, а следовательно, индуктивность катушки L и ее индуктивное сопротивление x_L переменному току. Чем сильнее намагнитен сердечник катушки (чем больше постоянный поток Φ_y , создаваемый током I_y), тем меньше проницаемость стали для переменного магнитного потока $\Phi \sim i$, следовательно, тем меньше индуктивность L рабочей обмотки. С уменьшением индуктивности ток нагрузки растет и величина его определяется формулой

$$I_H = \frac{U_{\sim}}{Z} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{(R_H + r_k)^2 + x_L^2}} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{(R_H + r_k)^2 + (2\pi f L)^2}},$$

где Z — полное сопротивление всей цепи;
 L , x_L , r_K — индуктивность, индуктивное и активное сопротивления катушки.

При значительном намагничивании магнитная проницаемость сердечника резко уменьшается, стремясь к минимальному значению, равному проницаемости воздуха μ_0 . Иными словами, весь поток $\Phi \sim$ вытесняется из стали и замыкается через воздух, индуктивность L становится почти равной нулю, а ток нагрузки достигает максимального значения, определяясь лишь одним активным сопротивлением R_H . Весьма малым активным сопротивлением r_K катушки w_p пренебрегают.

При уменьшении подмагничивающего магнитная проницаемость увеличивается и индуктивное сопротивление возрастает. Это вызывает уменьшение переменного тока в нагрузке R_H (фиксируемого амперметром A_1), который достигает минимального значения $I_{x,x}$ при отсутствии тока намагничивания (рис. 13,2). Таким образом, небольшое изменение постоянного тока подмагничивания вызывает соответствующее значительное изменение переменного тока в нагрузке R_H . В этом и состоит принцип работы магнитного усилителя МУ (эффект усиления). Магнитный усилитель позволяет при помощи небольшого тока в одной электрической цепи (в цепи обмотки w_y) управлять значительным током и, следовательно, мощностью в другой электрической цепи (в цепи нагрузки R_H).

Ток I_y в рассматриваемой схеме МУ называют управляющим током (или током управления), а электрическую цепь и обмотку w_y , по которым он проходит, — управляющей цепью и управляющей обмоткой (или, иначе, обмоткой управления) магнитного усилителя. Под управляющим или входным сигналом понимают напряжение U_y , прикладываемое к управляющей цепи усилителя.

Управляемую цепь в МУ принято называть рабочей цепью, а переменный ток I_H и обмотку w_p — рабочим током и рабочей обмоткой усилителя. Под выходной величиной рассматриваемого МУ понимается падение напряжения U_H на сопротивлении R_H при прохождении по нему рабочего тока I_H :

$$U_H = I_H R_H.$$

Простейшая схема МУ, показанная на рис. 13,в, не получила практического применения, так как она обладает одним крупным недостатком. При прохождении переменного тока по рабочей обмотке w_p в его управляющей обмотке w_y индуктируется переменная э. д. с. и МУ с двумя обмотками (w_p и w_y) работает как трансформатор. Поэтому в управляющей цепи появляется переменный ток, который искажает указанную выше зависимость сопротивления катушки от подмагничивающего тока и, следовательно, нарушает работу усилителя. Во избежание этого недопустимого явления простейший магнитный усилитель (дроссель насыщения), последовательный — рис. 14, а, б, в или параллельный — рис. 14,г, имеет:

а) два замкнутых стальных сердечника I — II, на которых размещаются рабочие обмотки переменного тока w_p , соединенные встречно-последовательно (рис. 14,а, в), согласно-последовательно (рис. 14,б) или встречно-параллельно (рис. 14,г). Рабочие обмотки

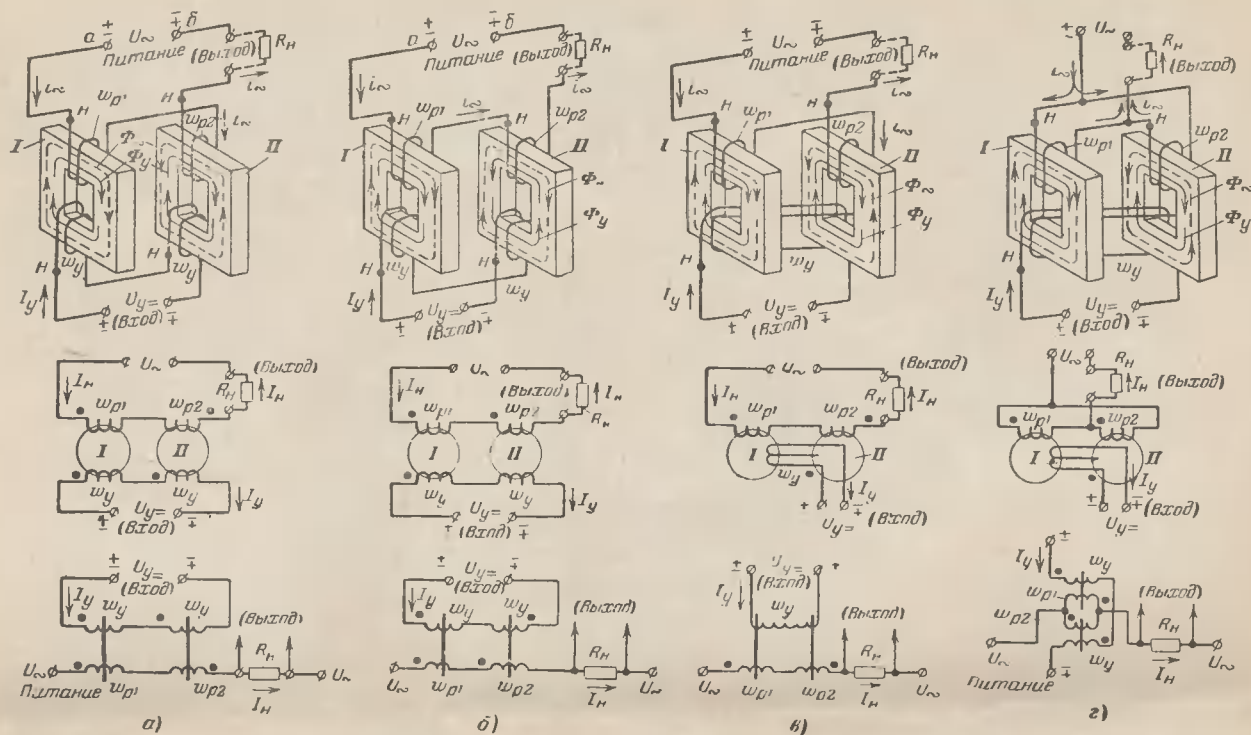


Рис. 14. Однотактные (нереверсивные) магнитные усилители с выходом на переменном токе.

а, б, в — последовательный; г — параллельный. Начала обмоток обозначены точками.

подключены к источнику питания переменного тока $U \sim$ через сопротивление нагрузки R_H ;

б) одну обмотку управления постоянного тока ω_y , охватывающую сразу оба сердечника (рис. 14, а, г) или же две обмотки, размещенные на разных сердечниках и соединенные последовательно и согласно (рис. 14, а) или же последовательно и встречно (рис. 14, б).

Применение вместо одной двух встречно включенных рабочих обмоток позволяет взаимно компенсировать э. д. с., индуктирующиеся в обмотках управления при прохождении переменного тока по обмоткам ω_p .

На рис. 14 изображены направления токов $i \sim$ в рабочих обмотках и потоков $\Phi \sim$ в сердечниках I—II (штриховые линии), поясняющие изложенное. При этом с целью определения направления магнитных потоков в сердечниках усилителя, создаваемых различными обмотками, введены обозначения H (начало) и K (конец) обмотки. Часто на рисунках эти буквенные обозначения не приводятся, а начало обмотки отмечается лишь точкой или буквой H .

Примем условно, что в рассматриваемый полупериод питающего напряжения потенциал точки a (плюс $+$) выше потенциала точки b (минус $-$). Поэтому ток $i \sim$ на рис. 14, а, в, г проходит по рабочей обмотке ω_{p1} сердечника I от начала H к концу обмотки, а в обмотке ω_{p2} — от конца к началу H . Тогда направления потоков $\Phi \sim$ в сердечниках I и II будут такими, как показано штриховыми линиями на рисунках, т. е. находятся в противофазе (встречно направлены). Следовательно, индуктированные ими в обмотке управления э. д. с. направлены также навстречу и поэтому взаимно компенсируются и МУ уже не работает как трансформатор. Однако если одну из рабочих обмоток или обмоток управления сердечников I или II переключить, то потоки $\Phi \sim$ сложатся и в обмотке управления наведется суммарная э. д. с. Подобная неправильная сборка схемы усилителя является одной из характерных ошибок как при изготовлении дросселей МУ, так и при их наладке, если неправильно подключить выводы усилителя к зажимам.

Встречаются и другие схемы МУ, где во избежание индуктирования э. д. с. в управляющей обмотке встречно включаются не рабочие обмотки, как было указано выше, а обмотки управления (рис. 14, б). В этом случае э. д. с., индуктирующиеся в них при прохождении переменного тока по рабочим обмоткам, направлены навстречу и, следовательно, взаимно компенсируются.

Во всех рассмотренных примерах нет причин опасаться, что в дросселе насыщения сердечник одной катушки подмагничивается (по отношению к рабочим обмоткам) в одну сторону, а во второй — в противоположную, так как уменьшение индуктивности катушки от подмагничивания ее сердечника постоянным током не зависит от направления магнитного потока Φ_y подмагничивания (направления Φ_y на рис. 14 указаны сплошными стрелками).

В схемах магнитных усилителей применяют упрощенное изображение МУ — схему замещения, показанную в нижней части рис. 14.

Статическая нагрузочная характеристика МУ. Основная задача МУ — управлять режимом работы одной электрической цепи в зависимости от режима в другой

цепи, поэтому важнейшей характеристикой усилителя является зависимость рабочего тока I_H от тока управления I_y при условии, что питающее напряжение U_{\sim} и сопротивление нагрузки R_H остаются неизменными. Эта зависимость изображается кривой $I_H = f(I_y)$ (рис. 13,2). По горизонтальной оси откладываются различные значения тока управления I_y (показания амперметра A_2), по вертикальной оси — значения рабочего тока I_H (показания амперметра A_1). Эта кривая, представляющая собой зависимость тока нагрузки (выхода) от тока обмотки управления (входа), называется зависимостью «вход — выход» или, иначе, статической нагрузочной характеристикой магнитного усилителя.

Из кривой, изображенной сплошной линией на рис. 13,2, видно, что эта характеристика состоит из трех частей: нижней (начальной) — нелинейной I , средней — линейной и верхней (конечной) — нелинейной части. Рабочей является средняя часть характеристики, потому что усилитель в этой части характеристики при всех значениях тока управления сохраняет строгую пропорциональность между приращениями управляющего тока ΔI_y и соответствующими приращениями рабочего тока ΔI_H . В нелинейных частях характеристики вследствие их искривления эта пропорциональность нарушается.

Весьма характерным для простейшей схемы МУ является то, что кривая статической характеристики не проходит через нуль, т. е. ток нагрузки при отсутствии тока управления не равен нулю, а имеет некоторое начальное значение $I_{x.x}$ (ток холостого хода). Этот ток определяется в основном только индуктивным сопротивлением рабочих обмоток дросселя при отсутствии подмагничивания и имеет определенную величину. Действительно, при отсутствии подмагничивания ($I_y = 0$), т. е. в начальном режиме работы усилителя, вследствие того что сопротивление нагрузки R_H значительно меньше индуктивного сопротивления рабочих обмоток, напряжение на нагрузке U_H незначительно и напряжение питания U_{\sim} почти целиком приходится на рабочие обмотки дросселя (U_L на рис. 13,6). Пренебрегая активным сопротивлением рабочих обмоток, можно написать:

$$U_{\sim} = U_{L0} = I_{x.x} x_{L0},$$

где U_{L0} и x_{L0} — соответственно напряжение на дросселе насыщения и индуктивное сопротивление его рабочих обмоток в начальном режиме.

Из формулы видно, что свести значение начального тока до нуля невозможно, так как нельзя выполнить рабочие обмотки дросселя с бесконечно большой индуктивностью. Таким образом, простейшие схемы МУ позволяют осуществить управление рабочим током лишь в определенных границах — от минимального значения $I_{H, \text{мин}} = I_{x, x}$ до некоторого максимального значения $I_{H, \text{макс}} = I_K$, определяемого конечным режимом работы магнитного усилителя (рис. 13,2). Ток I_K по нагрузке R_H проходит при максимальном подмагничивании сердечников дросселя током управления. В этом конечном режиме индуктивное сопротивление рабочих обмоток дросселя становится весьма малым, и поэтому напряжение U_H на нагрузке R_H почти достигает значения напряжения U_{\sim} питания схемы, а ток нагрузки достигает максимального значения I_K . Обычно в паспорте усилителя приводится не ток I_K , а номинальный ток $I_{\text{ном}}$, соответствующий работе усилителя в точке N перегиба кривой зависимости «вход — выход», незначительно отличающийся по величине от тока I_K .

Другой особенностью рассматриваемой характеристики является то, что она симметрична относительно вертикальной оси (оси ординат). Действительно, характеристика «вход — выход», построенная в области отрицательных управляющих токов (рис. 13,2), представляет собой зеркальное изображение относительно оси ординат такой же характеристики при положительных токах управления. Это означает, что работа такого магнитного усилителя протекает совершенно одинаково независимо от направления подмагничивания сердечника потоком Φ_y , т. е. независимо от изменения полярности сигнала (изменения направления тока в обмотке управления).

Следует отметить, что магнитный усилитель может иметь не одну, а несколько управляющих обмоток (см. рис. 8), включенных в схему управления главными электроприводами, и направления токов в них могут быть различные. В таком случае одни обмотки управления будут создавать магнитные потоки $\Phi_{=}$ одного

направления, допустим, будут подмагничивать сердечник МУ; другие обмотки (с противоположной полярностью) будут создавать магнитные потоки $\Phi =$ другого направления, встречно предыдущим, т. е. будут размагничивать сердечник. Следовательно, создаваемые обмотками управления магнитные потоки $\Phi =$ будут как намагничивающими, так и размагничивающими сердечники усилителя, и тогда ток его нагрузки в конечном итоге определится алгебраической суммой н. с. всех обмоток управления, т. е. результирующей н. с.

Коэффициенты усиления являются одними из основных показателей магнитного усилителя. Как известно, в системе управления напряжением генератора с помощью СМУ на вход последнего (на обмотку управления ОЗ) подается управляющий сигнал (рис. 8), который в нем (в усилителе) усиливается за счет потребления энергии от источника переменного тока U_{\sim} , а к выходу СМУ подключается независимая обмотка возбуждения генератора, имеющая значительную мощность. Естественно, что чем большее усиление происходит в магнитном усилителе, тем более легкую и маломощную аппаратуру можно использовать в управляющей цепи СМУ. Поэтому первое основное требование, предъявляемое к магнитному усилителю, — это обеспечение максимального усиления в нем, характеризующегося коэффициентом усиления. Коэффициент усиления по мощности есть отношение мощности на выходе усилителя к мощности на его входе:

$$k = \frac{P_H}{P_Y}.$$

Наряду с коэффициентом усиления по мощности магнитные усилители часто характеризуются коэффициентом усиления по току и напряжению:

$$k_I = \frac{\Delta I_H}{\Delta I_Y}; \quad k_U = \frac{U_H}{U_Y}.$$

Коэффициент усиления по току показывает, во сколько раз нагрузки больше тока управления.

Коэффициент усиления по напряжению характеризует повышение напряжения на нагрузке по сравнению с напряжением, подаваемым на вход усилителя. Так,

например, из кривой зависимости «вход — выход» (рис. 13,2) видно, что коэффициент усиления MU по току в средней части равен $k_I = \Delta I_H / \Delta I_y$.

Положительная обратная связь применяется для увеличения коэффициента усиления по току. Положительная обратная связь может быть внешней (рис. 15,а) или внутренней (рис. 15,б, в). Внешняя обратная связь в усилителе осуществляется с помощью дополнительной обмотки постоянного подмагничивания, называемой обмоткой обратной связи $\omega_{ос}$. Эта обмотка включается через выпрямитель B , собранный по мостовой схеме в рабочую цепь усилителя (рис. 15,а). Таким образом, по обмотке $\omega_{ос}$ проходит выпрямленный ток нагрузки I_H , создающий магнитный поток $\Phi_{ос}$, который дополнительно подмагничивает сталь сердечников и этим помогает управляющему току I_y (потoku Φ_y) изменять подмагничивание сердечников и тем самым увеличивает влияние входного сигнала на рабочий ток усилителя. При этом подмагничивающий магнитный поток $\Phi_{ос}$ обмотки обратной связи $\omega_{ос}$ всегда имеет одно и то же направление независимо от направления тока управления (потoka Φ_y). При совпадении направлений потоков Φ_y и обратной связи $\Phi_{ос}$, т. е. при положительной обратной связи (на рис. 15,а показаны сплошными стрелками потоки Φ_y и $\Phi_{ос}$), ток в цепи нагрузки растет быстрее, чем в усилителе без обратной связи. Это объясняется тем, что при увеличении управляющего сигнала возрастает ток нагрузки, а вместе с ним увеличивается и дополнительное подмагничивание от обмотки обратной связи. Следовательно, в этих условиях рабочий ток увеличится больше, чем при отсутствии обратной связи (сопоставьте на рис. 16,а правые ветви кривой 2 зависимости «вход — выход» MU с обратной связью с кривой 1 без обратной связи, а также соответствующие токи нагрузки I_{H2} с I_{H1} этих усилителей для одного и того же значения управляющего тока I_y).

Итак, положительная обратная связь увеличивает коэффициент усиления. Эффективность действия обратной связи возрастает с увеличением числа витков обмотки обратной связи $\omega_{ос}$ и позволяет увеличивать коэффициент усиления в 10—20 раз. Это означает, что в этих усилителях большую часть подмагничивающего потока составляет магнитный поток обратной связи и лишь

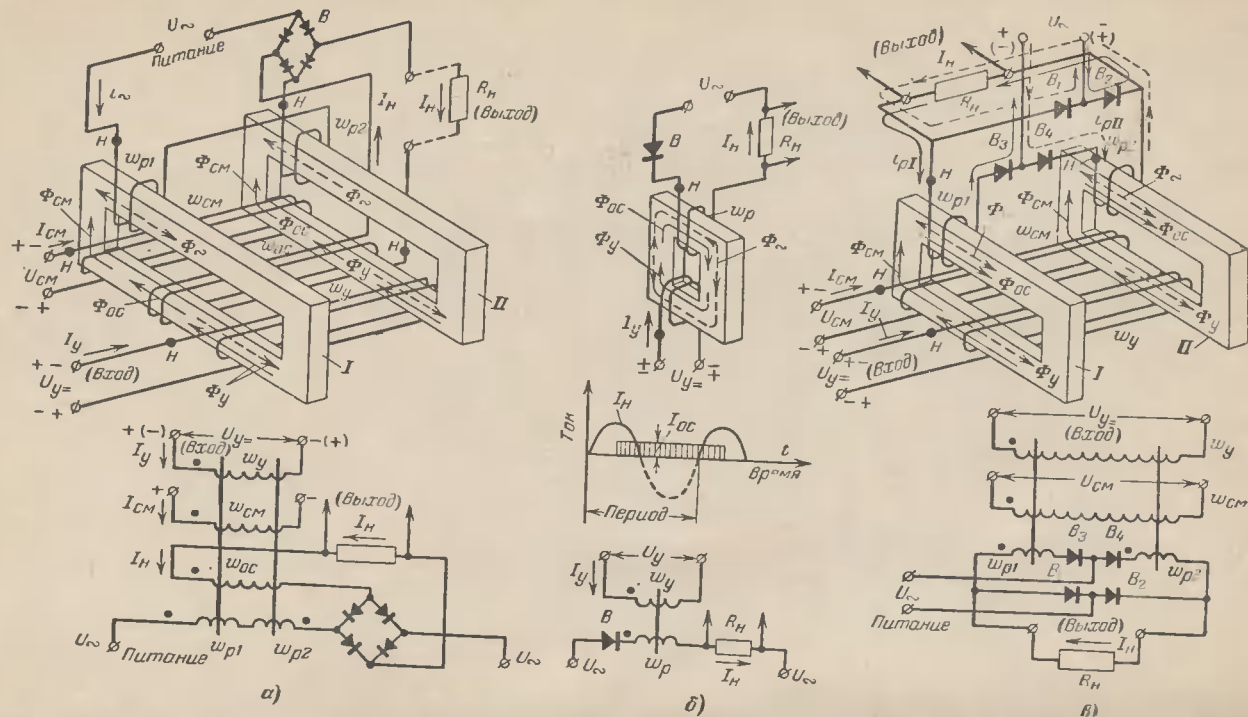


Рис. 15. Однотактные магнитные усилители с выходом на постоянном токе и схемы их замещения.

а — с внешней обратной связью; б — простейший усилитель с внутренней обратной связью; в — с внутренней обратной связью по мостовой схеме; Φ_y , Φ_{OC} , Φ_{CM} — магнитные потоки обмоток: управления w_y , обратной связи w_{OC} и смещения w_{CM} ; B , $B_1 \div B_4$ — выпрямители.

сравнительно небольшую — поток управляющего сигнала.

Отрицательная обратная связь. При изменении направления потока Φ_y (на рис. 15,а показан штриховой линией) в результате изменения направления тока в обмотке управления (отрицательный управляющий сигнал — I_y) тот же поток $\Phi_{ос}$ становится размагничи-

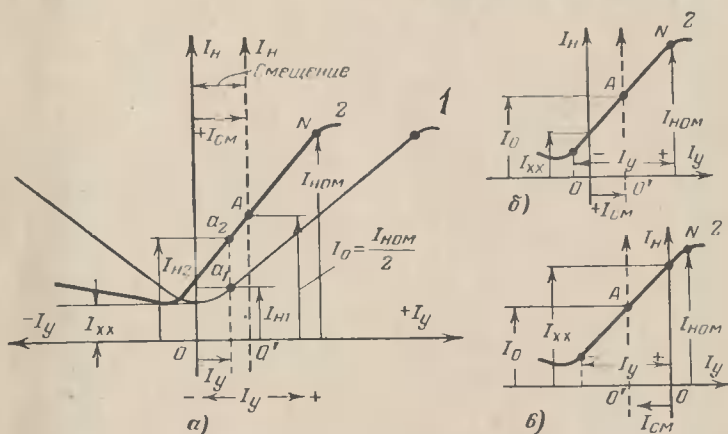


Рис. 16. Статические характеристики (зависимости «вход—выход») магнитных усилителей с положительным смещением (а, б) и отрицательным смещением (в).

1 — без обратной связи; 2 — с обратной связью; I_0 — начальный ток усилителя; точка А — начальная точка работы усилителя (точка отсчета).

вающим (отрицательной обратной связью) и действует теперь навстречу потоку Φ_y , уменьшая коэффициент усиления. Тогда ток нагрузки растет медленнее, чем при положительных сигналах ($+I_y$), и характеристика в левой половине графика приобретает едва заметный подъем (сопоставьте левые ветви кривых 2 и 1 на рис. 16,а). При этом ток $I_{х.х}$ незначительно возрастает по сравнению с $I_{х.х}$ кривой без обратной связи. Из сравнения кривых 1 и 2 видно, что при наличии обратной связи статическая характеристика усилителя становится несимметричной; рабочей является правая ветвь кривой 2 с положительной обратной связью.

Внутренняя положительная обратная связь. Обратную связь в магнитных усилителях можно осуществить и не применяя специальной обмотки обратной связи $\omega_{ос}$,

если использовать для этой цели непосредственно сами рабочие обмотки w_p усилителя. Для этого в них надо создать постоянную составляющую тока, пропорциональную току нагрузки усилителя, которая и создавала бы подмагничивание аналогично постоянному току в специальной обмотке внешней обратной связи w_{oc} . Эта задача легко решается включением последовательно с рабочими обмотками, по которым проходит переменный ток нагрузки полупроводникового вентиля B (рис. 15,б). Вентиль пропускает ток лишь одну половину периода — верхние полуволны тока I_H (рис. 15,б), осуществляя однополупериодное выпрямление рабочего тока. В этом случае по рабочей обмотке проходит пульсирующий ток, который можно условно разложить на переменную и постоянную составляющие. Переменная составляющая по-прежнему будет играть роль рабочего тока в усилителе, а постоянная I_{oc} создает дополнительное подмагничивание сердечника, как и в случае с внешней обратной связью со специальной дополнительной обмоткой w_{oc} . Подобный поток, дополнительно подмагничивающий сердечник, называется иногда потоком самоподмагничивания (самонасыщения). Обратная связь, осуществляемая в магнитных усилителях без специальной обмотки подмагничивания, называется внутренней положительной обратной связью.

Аналогичные функции внутренней положительной обратной связи и выпрямления выполняют выпрямители $B_3—B_4$, включенные последовательно с каждой рабочей обмоткой в усилителе, изображенном на рис. 15,в. Здесь две рабочие обмотки усилителя включаются параллельно и каждая из них работает в течение полупериода. Токи каждого полупериода i_{pI} и i_{pII} на рис. 15,в обозначены сплошными и штриховыми стрелками соответственно; по нагрузке проходит постоянный ток. Схема рис. 15,в получила название схемы с сокращенным количеством вентиляй; иногда ее называют схемой с внутренней обратной связью по мостовой схеме.

Таким образом, между условиями работы и характеристиками усилителей с внутренней и внешней обратными связями принципиального различия не существует.

Для всех описанных выше магнитных усилителей характерно то, что при изменении направления (полярности) тока управления I_y (см. рис. 13,2 и кривые 1 и 2 на рис. 16,а) ток нагрузки I_H , изменяясь по величине (от $I_{х.х}$ до I_K), остается все время положительным, т. е. сохраняет одно направление. Эти усилители не реагируют на полярность сигнала и поэтому называются **нереверсивными** или **однотактными**.

Смещение. В большинстве случаев, однако, требуется, чтобы усилитель был чувствителен к знаку сигнала. Наиболее просто это достигается применением начального подмагничивания, называемого **смещением**. Оно осуществляется с помощью специальных обмоток смещения $w_{см}$, которые размещаются на каждом сердечнике усилителя или охватывают сразу оба сердечника (рис. 15, а и в). Пропуская по обмотке $w_{см}$ постоянный ток $I_{см}$, создают постоянный подмагничивающий поток $\Phi_{см}$ одного направления (начальное подмагничивание), независимый от потока обмотки управления. Таким образом добиваются увеличения тока нагрузки (при отсутствии управляющего сигнала $I_y=0$) до величины I_0 (рис. 16), называемой **начальным током**. Поэтому при отсутствии сигналов управления ($I_y=0$) у магнитных усилителей со смещением на выходе будет всегда значительный ток $I_0 > I_{х.х}$ (см. точку А кривой 2 на рис. 16,а и б).

Смещение дает возможность перемещать статическую характеристику вдоль горизонтальной оси в зависимости от величины тока в обмотке смещения. При этом, поскольку действие обмотки смещения аналогично действию обмотки управления, то с увеличением тока $I_{см}$ характеристика усилителя смещается влево, а начальный ток I_0 возрастает (ср. на рис. 16,б кривую 2 и штриховую вертикальную ось, когда $I_{см} > 0$, с той же кривой 2 и сплошной вертикальной осью, когда $I_{см} = 0$). Обычно статическую характеристику смещают так, чтобы начальная рабочая точка А усилителя лежала примерно посередине ее рабочей части ($I_0 = I_{ном}/2$). Добиваются этого регулированием величины сопротивления в цепи обмотки $w_{см}$.

Обмотка смещения, осуществляющая перемещение характеристики подобно описанному выше, т. е. когда с увеличением тока $I_{см}$ возрастает ток I_H , называется

обмоткой положительного смещения (см. рис. 16,б, где $+I_{см}$).

Обычно самонасыщающиеся магнитные усилители (с положительной обратной связью) имеют такую зависимость «вход — выход» (рис. 16,в), когда при отсутствии сигнала управления ток холостого хода $I_{х.х}$ на выходе усилителя значительно выше половинного значения номинального тока ($I_{х.х} > I_{ном}/2$). В этом случае полярность обмотки смещения выбирают таким образом, чтобы создаваемый ею поток был направлен навстречу потоку $\Phi_{ос}$ самоподмагничивания и, следовательно, снижал бы величину тока $I_{х.х}$ усилителя. Такая обмотка смещения называется обмоткой отрицательного смещения; при увеличении ее тока $I_{см}$ рабочий ток I_H на выходе усилителя уменьшается (ср. на рис. 16,в кривую 2 и штриховую вертикальную ось, когда $I_{см} \neq 0$, с той же кривой и сплошной вертикальной осью, когда $I_{см} = 0$).

Теперь в усилителях с положительно смещенной характеристикой (рис. 16,а и б) изменение тока нагрузки под действием тока управления I_y происходит неодинаково, в зависимости от знака сигнала. Если направление тока I_y соответствует увеличению результирующего подмагничивания сердечников, т. е. совпадает с направлением тока смещения $I_{см}$ (рис. 15,а и в, потоки Φ_y и $\Phi_{см}$, показанные сплошными стрелками), то ток нагрузки будет возрастать с увеличением тока управления. Если же управляющий ток будет иметь противоположное направление (на рис. 15,а и в его поток Φ_y указан штриховой линией), то он вызовет уменьшение тока нагрузки. Таким образом, получается МУ, уже реагирующий на полярность сигнала управляющего тока I_y ; иными словами, положительный ток I_y вызывает возрастание тока нагрузки, а отрицательный — его убывание. Однако при всех значениях I_y ток нагрузки по-прежнему продолжает сохранять свой знак (см. рис. 16,б), т. е. усилитель остается одноктактным (нереверсивным).

Двухтактные (реверсивные) усилители. Во многих случаях, в том числе и для реверсивного управления главными электроприводами системы УМГ—Д (рис. 8), необходимо, чтобы при отсутствии управляющего сигнала ток на выходе усилителя был равен нулю, а при изменении полярности сигнала выходной ток также из-

менял полярность, т. е. имел статическую характеристику 3, изображенную на рис. 17,а. Усилители с характеристиками, подобными кривой 3, называют двухтактными или реверсивными.

Обычно двухтактный усилитель выполняется путем соответствующего соединения двух одноктактных усилителей. Поэтому и статическая характеристика двухтактного усилителя является результатом алгебраического суммирования характеристик одноктактных усилителей, что следует из рис. 17,а.

Принцип работы двухтактного усилителя, работающего на две отдельные нагрузки, рассматривается на примере простейшей дифференциальной (встречной) схемы включения двух одноктактных МУ (рис. 17,б). Здесь к выходам одноктактных усилителей (аналогичных МУ, рис. 15,в) встречно подключены две одинаковые полуобмотки независимого возбуждения генератора Говн-I и Говн-II, являющиеся нагрузкой данного двухтактного усилителя. Магнитные потоки этих полуобмоток всегда направлены встречно. Если усилители 1МУ и 2МУ намагничены одинаково, то в полуобмотках возбуждения генератора проходят одинаковые по величине токи выходов усилителей $I_1 = I_2$, а результирующий поток ($F_{рез} = F_1 - F_2$) полуобмоток возбуждения равен нулю. На графике рис. 17,а вместо значений н. с. даны значения токов $I_1 = I_{10}$ и $I_2 = I_{20}$.

Если каким-либо образом подмагнитить один усилитель (допустим, 1МУ) и одновременно размагнитить другой (2МУ), то токи входов одноктактных усилителей уже не будут равны: ток I_1 станет больше тока I_2 . В этом случае н. с. полуобмотки Говн-I будет преобладать над н. с. полуобмотки Говн-II и результирующая н. с. в нагрузке двухтактного усилителя будет направлена в одну сторону (вверх на рис. 17,б). На рис. 17,а вместо результирующего потока показан пропорциональный ему результирующий ток $I_{рез} = I_H = I_1 - I_2$, также направленный вверх.

Если подмагнитить второй усилитель (2МУ) и одновременно размагнитить 1МУ, то результирующая н. с. будет направлена в другую сторону и результирующий ток I_H в этом случае будет определяться в левой части графика рис. 17,а и будет направлен вниз, как и поток на рис. 17,б. Таким образом, получается реверсирование

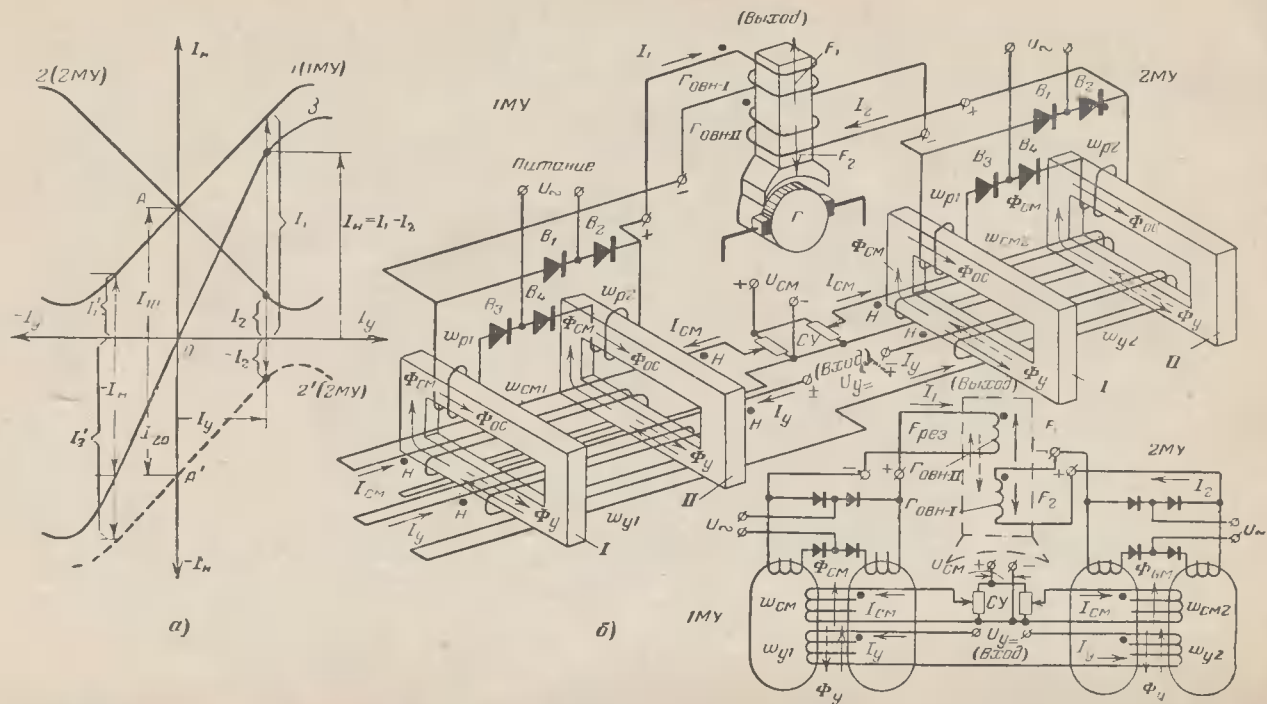


Рис. 17. Двухтактный магнитный усилитель.

а — статическая характеристика; б — включение одноктактных усилителей по двухтактной дифференциальной (встречной) схеме с алгебраическим сложением н. с. двух полуобмоток генератора, возбуждаемого от MY ; 1 и 2 — кривые зависимости «вход — выход» одноктактных усилителей $1MY$ и $2MY$; I_{10} и I_{20} — начальные токи усилителей.

тока (потока) на выходе двухтактного (реверсивного) усилителя.

Указанная система подмагничивания одного усилителя и одновременного размагничивания другого достигается встречно-последовательным включением обмоток управления ω_{y1} и ω_{y2} одноктактных усилителей $1МУ$ и $2МУ$ (рис. 17,б). Тогда соединенные таким образом управляющие обмотки усилителей оказываются встречными по отношению к обмоткам смещения $\omega_{см1}$ и $\omega_{см2}$, которые включены согласно и последовательно. Это означает, что при подаче на вход двухтактного усилителя тока управления (сигнала) одной определенной полярности созданное им магнитное поле в одном (например, в первом усилителе — $1МУ$) совпадает, а во втором направлено против поля обмотки смещения (на рис. 17,б направления потоков Φ_y и $\Phi_{см}$ для этой полярности сигнала обозначены сплошными стрелками). В этом случае ток нагрузки первого усилителя I_1 увеличивается (на рис. 17,а по правой ветви характеристики I одноктактного усилителя $1МУ$), так как ток I_y для $1МУ$ является подмагничивающим (положительным сигналом). Ток нагрузки второго усилителя I_2 уменьшается (по правой ветви характеристики 2), так как тот же ток I_y для $2МУ$ размагничивающий (отрицательный сигнал). Ввиду того что управляющий ток имеет по отношению к току смещения разные направления, то характеристики 1 и 2 (усилителей $1МУ$ и $2МУ$) развернуты относительно вертикальной оси в разные стороны, как показано на рис. 17,а. В свою очередь в связи с тем, что токи нагрузки, проходящие по полуобмоткам возбуждения генератора, всегда встречно направлены (из-за чего результирующая н. с. их в конечном итоге пропорциональна разности этих токов $F_{рез} \equiv I_{рез} = I_H = I_1 - I_2$), характеристики 1 и 2 усилителей располагаются по разные стороны от горизонтальной оси (см. кривую 1, изображенную сплошной линией, и кривую 2', изображенную штриховой линией). На рис. 17,а ток нагрузки двухтактного усилителя I_H определяется вычитанием из отрезка I_1 отрезка I_2 ($I_H = I_1 - I_2$).

При изменении полярности управляющего сигнала картина изменяется на обратную (на рис. 17,б направление потоков сигнала Φ_y для этого случая обозначены штриховыми стрелками), и тогда ток нагрузки I_H

(рис. 17,а) определяется вычитанием из отрезка I_1 отрезка I'_2 , т. е. ток I_H будет иметь другое направление.

Таким образом, получается статическая характеристика двухтактного МУ (кривая 3), реагирующая на знак управляющего сигнала изменением направления тока на нагрузке. Такой усилитель уже может быть использован для управления величиной и полярностью тока возбуждения в полуобмотках генератора.

Силовые магнитные усилители. Подобные мощные магнитные усилители, используемые в качестве возбуждателей генераторов в системе Г—Д, получили название силовых магнитных усилителей (СМУ).

Чтобы характеристика 3 усилителя точно проходила через начало координат (полное отсутствие тока нагрузки при отсутствии сигнала), применяют регулировочные сопротивления СУ в цепях обмоток смещения. Сопротивления позволяют подрегулировать токи смещения в каждом однотактном МУ. При отсутствии управляющих сигналов на входе усилителя добиваются одинакового намагничивания сердечников усилителей 1МУ и 2МУ равными токами смещения $I_{см}$, достигая таким образом равенства начальных токов $I_{10}=I_{20}=I_0 \approx 0,5 I_{ном}$ (рис. 17,а). В этом случае результирующий ток I_H равен нулю, и характеристика 3 проходит через начало координат.

Схема однофазного двухтактного силового магнитного усилителя (рис. 18,а) собрана с помощью тех же однотактных усилителей с той лишь разницей, что к их выходам подключена нагрузка в виде уравновешенного моста. Мост состоит из двух одинаковых самостоятельных полуобмоток независимой обмотки возбуждения генератора ($G_{овп-I}$ и $G_{овп-II}$), включенных в противоположные плечи моста (но так, что потоки, создаваемые ими, складываются), и двух балластных сопротивлений 1СБ и 2СБ, приблизительно равных по величине активному сопротивлению этих полуобмоток возбуждения. Такой подбор сопротивлений всех четырех плеч моста исключает влияние одного МУ, подключенного к одной из диагонали моста, на работу второго МУ, подключенного к другой диагонали.

Так же как и в предыдущей двухтактной схеме, для выбора рабочей точки А на середине статической харак-

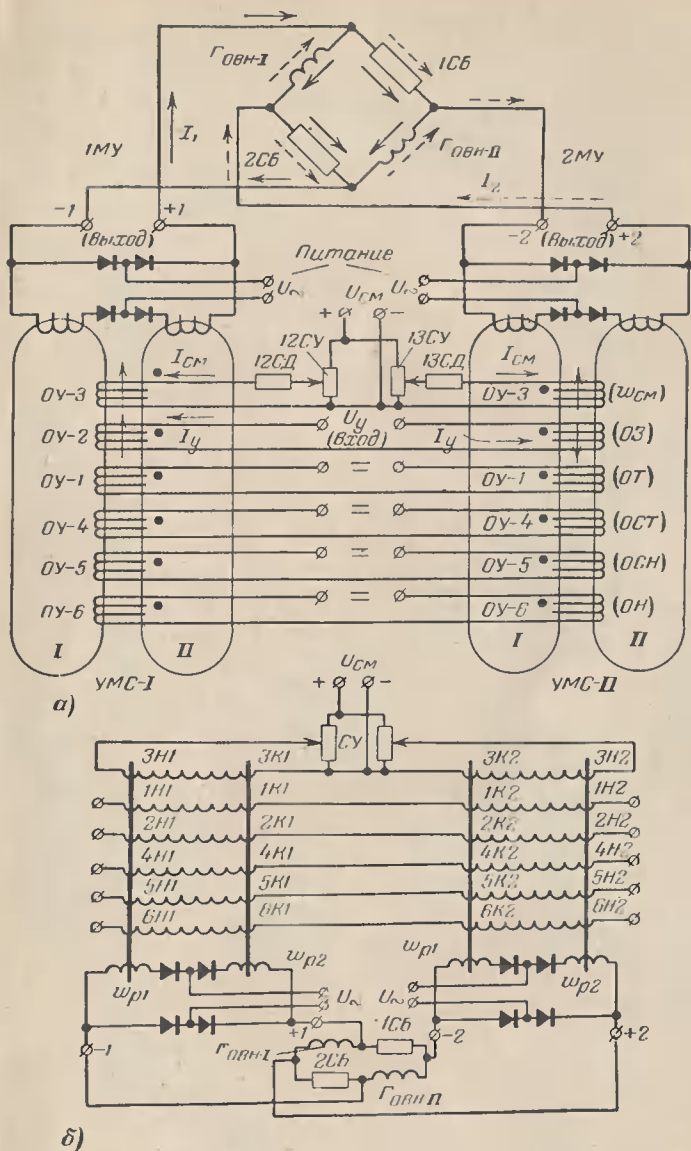


Рис. 18. Однофазный двухтактный магнитный усилитель с нагрузкой в виде уравновешенного моста с балластными сопротивлениями СБ (а); схема замещения усилителя (б).

теристики каждого усилителя при отсутствии тока управления служат обмотки смещения. Обмотки управления $ОУ1—ОУ6$ усилителей различного назначения соединены между собой по-прежнему последовательно и встречно. При отсутствии тока в последних (сигнала) и одинаковом подмагничивании обоих усилителей токами смещения ($I_{10}=I_{20}$) результирующий ток в полуобмотках возбуждения равен нулю. Это вытекает из того, что результирующий ток в полуобмотках возбуждения равен разности токов выходов двух усилителей $I_{ОВН}=I_{10}-I_{20}$, а в балластных сопротивлениях — сумме этих токов $I_{10}+I_{20}$ (см. направление токов на рис. 18,а, где сплошными стрелками указан ток выхода $1МУ$, а штриховыми — ток выхода $2МУ$). При подаче на одну из обмоток управления $ОУ1—ОУ6$ (на вход СМУ) тока управления (сигнала) определенной полярности один магнитный усилитель, например $1МУ$ (как и в предыдущем примере рис. 17,б), подмагничивается, а другой, $2МУ$, размагничивается. При этом ток выхода первого усилителя I_1 становится больше тока выхода второго усилителя I_2 , и по полуобмоткам возбуждения проходит результирующий ток $I_{ОВН}=I_1-I_2$ одного направления.

С изменением направления тока I_y результирующий ток также изменяет свое направление $I_{ОВН}=I_2-I_1$, и величина его будет определяться только величиной тока управления.

Таким образом, полярность обмотки возбуждения генератора определяется полярностью наиболее намагниченного усилителя, и статическая характеристика СМУ имеет вид, подобный кривой 3 рис. 17,а. На рис. 18,б приведена схема замещения описанного двухтактного однофазного усилителя.

Трехфазные силовые магнитные усилители. При питании обмоток независимого возбуждения генераторов от силовых магнитных усилителей большой мощности необходимо, чтобы выпрямленный ток на выходе усилителя имел по возможности меньшую пульсацию. Этому требованию отвечают трехфазные СМУ. Кроме того, трехфазные схемы включения МУ, имея малую величину пульсации, а следовательно, и большую постоянную составляющую пульсирующего тока, обладают большим коэффициентом усиления и меньшими габаритами по

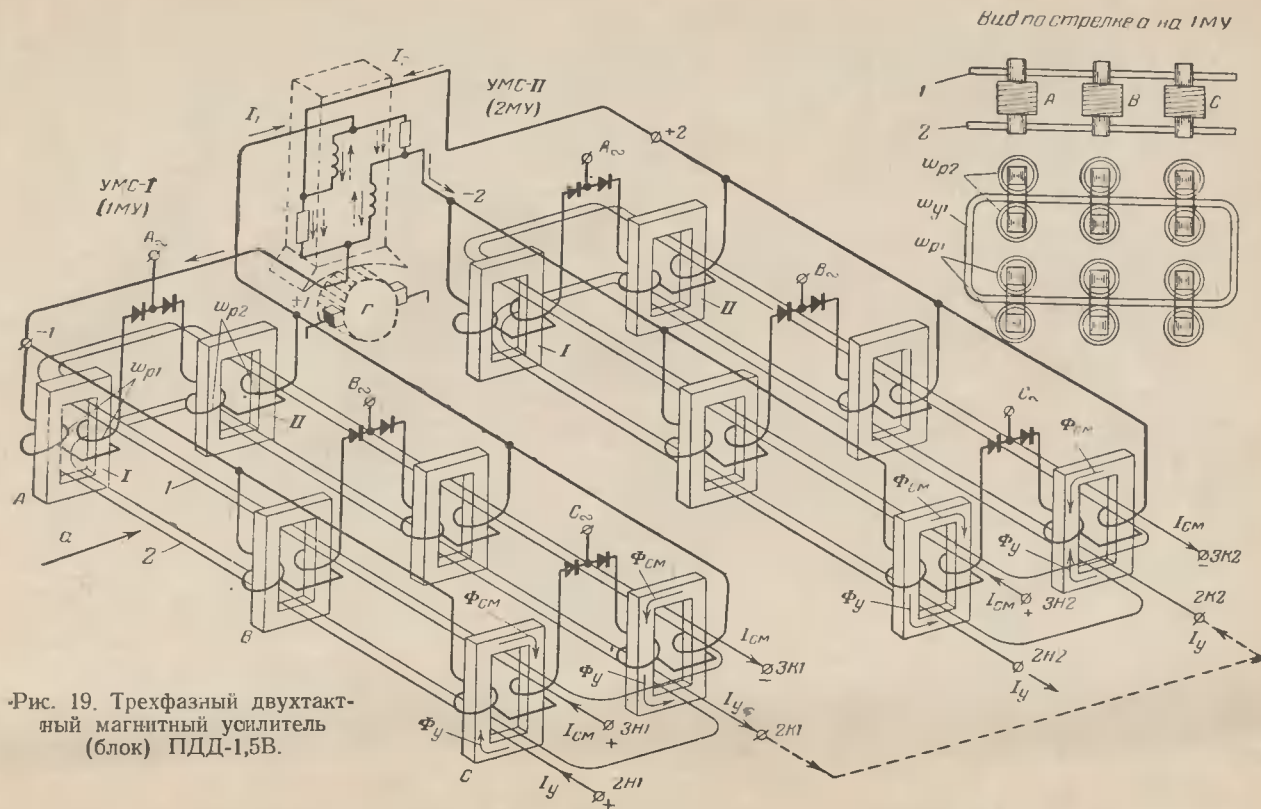
сравнению с однофазными. Поэтому на экскаваторах типа ЭКГ-4,6 применяют для непосредственного управления полем генератора двухтактные усилители (блэки) типа ПДД-1,5В (рис. 19), скомпонованные из двух трехфазных силовых магнитных усилителей.

Каждый трехфазный усилитель ($1МУ$ или $2МУ$) блока состоит из трех однофазных магнитных усилителей (A , B , C), подобных $МУ$ рис. 18,а, и имеет пять обмоток управления (на рис. 19 с целью упрощения изображена только одна обмотка управления) и обмотку смещения, охватывающие оба сердечника однофазного усилителя. В целом эти обмотки охватывают все шесть сердечников трехфазного усилителя, и концы их, маркированные буквами H и K , выведены на зажимные рейки. На каждом сердечнике однофазного усилителя навиты, исходя из конструктивных соображений, по две рабочие катушки ω_p , соединенные последовательно.

Для выпрямления тока нагрузки (рис. 20) в усилителях применяются селеновые выпрямители $1BC$ и $2BC$ типа АВС-100, соединенные по трехфазной мостовой схеме. Каждый выпрямитель включен последовательно с соответствующей обмоткой $МУ$. Таким образом, получается трехфазная схема включения $МУ$ с внутренней обратной связью.

Однофазные усилители A , B , C блока имеют обособленный источник питания от самостоятельных обмоток питающих трансформаторов $1T$, $2T$, $3T$ напряжением 380/220/71,5 в через свой выпрямительный блок. Для питания обмоток смещения каждого магнитного усилителя $1МУ$ и $2МУ$ в блоке предусмотрены выпрямители $3BC$ и $4BC$, имеющие по три селеновых столбика типа АВС-30, собранных в трехфазную мостовую схему. Этот выпрямительный мост включен на те же обмотки трансформаторов, от которых питаются и рабочие обмотки усилителей.

В качестве обмотки смещения используется одна из обмоток управления, а именно третья — $УМС-3$ ($3H-3K$). Выбор рабочей точки на середине характеристики $1МУ$ и $2МУ$ достигается так же, как и во всех усилителях, изменением величины тока в обмотках смещения при помощи регулировочных сопротивлений $12СУ$ и $13СУ$ типа ПЭВ.



Нагрузка в виде уравновешенного моста сопротивлений подключается к выходам усилителей *1МУ* и *2МУ* аналогично рис. 18, где, как уже известно, ток в полуобмотках независимой обмотки возбуждения генератора равен разности токов двух усилителей *1МУ* и *2МУ*, а ток в балластных сопротивлениях — сумме этих токов. Обмотки управления усилителей в блоке включены аналогично рис. 18, т. е. последовательно и встречно, благодаря чему по-прежнему ток управления одного направления намагничивает один усилитель (допустим, *1МУ*) и размагничивает другой усилитель (*2МУ*), и наоборот. Изменение направления тока в обмотках управления усилителей приводит к изменению направления тока и в полуобмотках возбуждения генератора, а изменение его величины — к изменению величины тока возбуждения. Таким образом, трехфазный блок ПДД-1,5В, как и однофазный усилитель, изображенный на рис. 18, является двухтактным и имеет статическую характеристику, подобную кривой 3 рис. 17,а. Конструктивное оформление дроссельной части одного магнитного усилителя блока ПДД-1,5В приведено справа на рис. 19.

Паспортные данные усилителя типа ПДД-1,5В. Номинальное напряжение (линейное) первичной обмотки трансформаторов 220/380 в, вторичных обмоток 71,5 в, номинальный ток нагрузки 28 а. Сопротивление нагрузки на один усилитель 1,9 ом. Начальный ток усилителя 14 а. Сопротивления 12СД (13СД) 680 ом, 12СУ (13СУ) 1 000 ом. Число обмоток управления (без обмотки смещения) 5. Размеры блока ПДД-1,5В 375×550×700 мм, вес 180 кг. Назначение обмоток управления ЭКГ-4,6 и их обмоточные данные приведены в приложении I.

4. НАЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ В СХЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГЛАВНЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С СИЛОВЫМИ МАГНИТНЫМИ УСИЛИТЕЛЯМИ

Обозначения на схемах. Для правильной наладки необходимо ясно представлять работу и назначение как отдельных узлов схемы, так и схемы управления в целом. Поэтому в настоящем разделе подробно описываются узлы схемы и их роль в формировании экскаваторной характеристики. На рис. 21 приведены подробные, в отличие от рис. 8, схемы управления главными приводами подъема и напора (рис. 21,а) и поворота-хода (рис. 21,б). Каждый узел схемы выделен горизонталь-

ными штрих-пунктирными линиями и обозначен слева цифрой, для того чтобы его можно было быстро находить. Одинаковые узлы схем на рис. 21 обозначены одними и теми же цифрами. Кроме того, на рис. 21,б элементы схемы, относящиеся к приводу поворота, обозначены буквой *B*, а к приводу хода — *X*.

Элементы, относящиеся к силовому магнитному усилителю, обозначены УМС (управление магнитное силовое), так как управление напряжением генератора здесь осуществляется с помощью силовых магнитных однотактных усилителей УМС-I и УМС-II, объединенных в двухтактный блок типа ПДД-1,5В.

Из рис. 21 видно, что подобные узлы схем построены одинаково, за исключением некоторых, а именно привода поворота-хода, имеющего свои особенности, о которых будет сказано ниже. Все четыре привода в принципе управляются одинаково.

Действие схемы заключается в следующем. При переводе рукоятки командоконтроллера КК из положения *O* в одно из рабочих положений (допустим, полная скорость IV «Вперед») замыкаются контакты командоконтроллера *K1—K6* и подается полное питание на задающую обмотку УМС-2 силового магнитного усилителя (рис. 21,а). В результате этого н. с. задающей обмотки усилителя будет равна максимальному значению F_3 (см. рис. 22,а) и один из усилителей, допустим УМС-I двухтактного блока ПДД-1,5В, полностью намагничивается (насыщается). Одновременно другой (УМС-II) полностью размагничивается. Следовательно, как уже было описано в п. 3, ток выхода усилителя УМС-I станет максимальным, а УМС-II — минимальным. По полуобмоткам независимого возбуждения $\Gamma_{\text{овн}}$ генератора (рис. 21,а) пройдет ток возбуждения определенного направления (сплошные стрелки), и, спустя некоторое время н. с. $F_{\text{овнг}}$, возбуждение генератора примет максимальное значение $F_{\text{макс}}$, форсируя возбуждение генератора Γ (рис. 22,б). С ростом напряжения генератора в процессе возбуждения начинает участвовать и его параллельная обмотка, в которой изменение (нарастание) тока возбуждения вызовет появление активного и индуктивного падений напряжений. Вследствие этого возникнет небаланс динамического моста (см. подробнее узел 3 на рис. 21) и по обмотке УМС-5 магнитного уси-

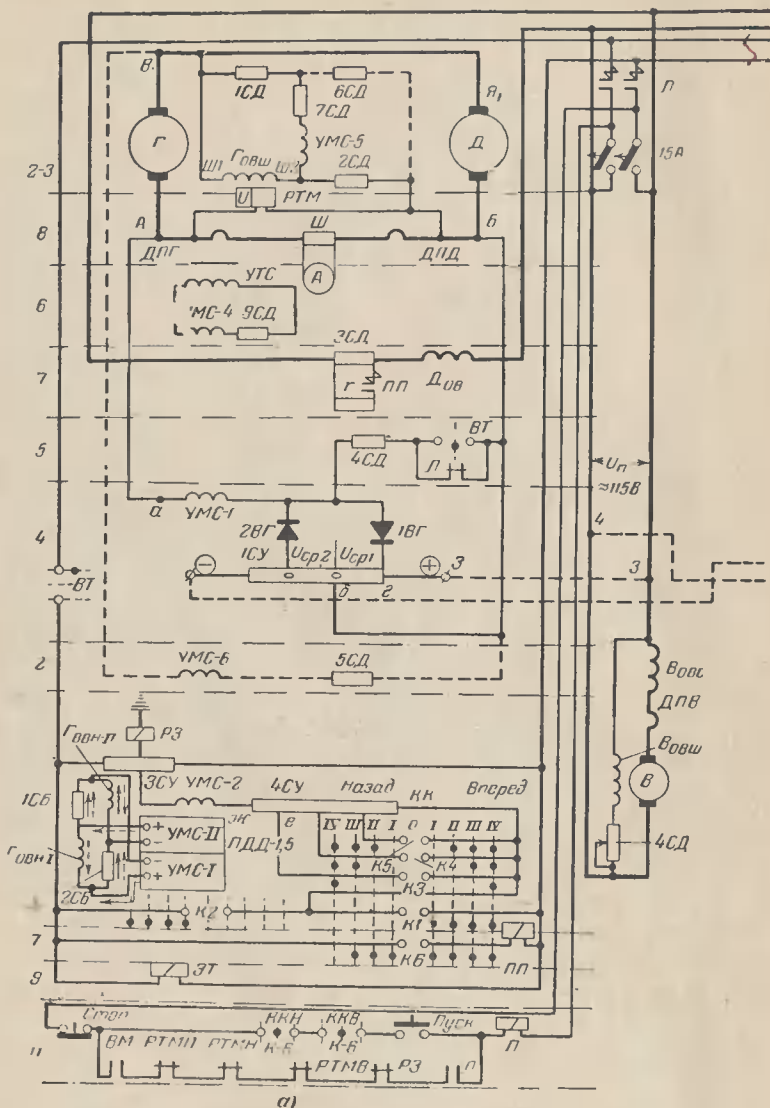
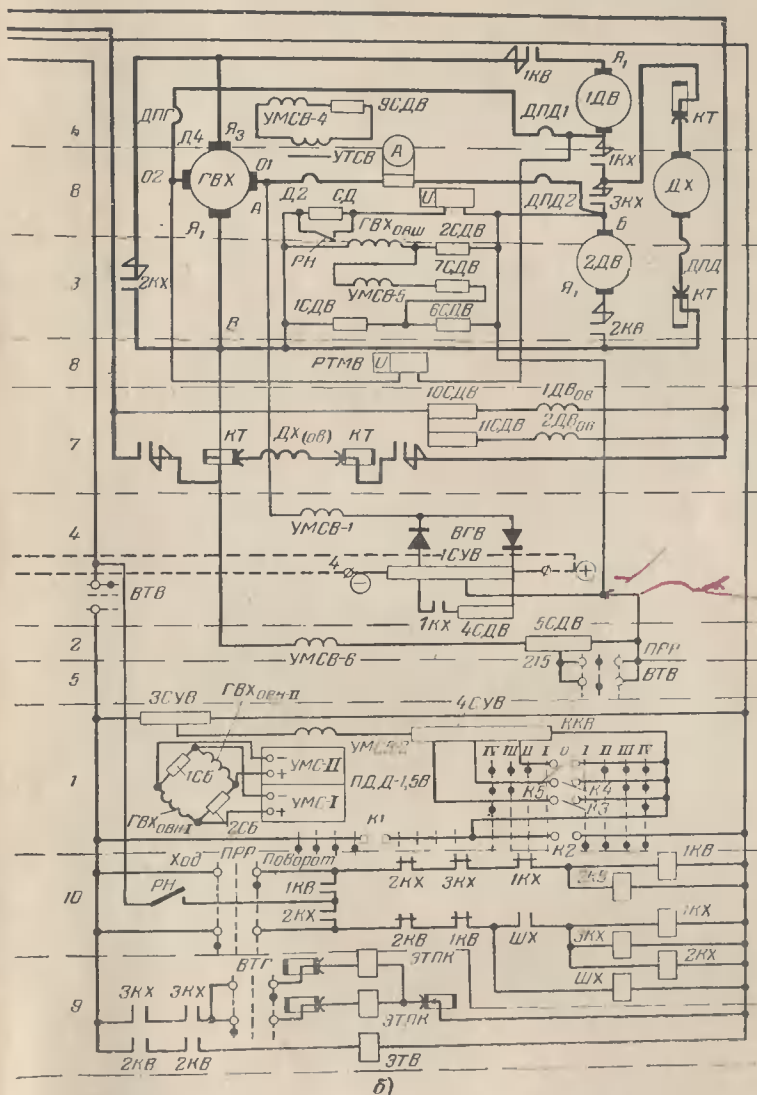


Рис. 21. Схемы управления электроприводом механизмов



подъема и напора (а) и поворота-хода (б).

лителя пойдет ток, который создаст н. с. $F_{\text{сн}}$ в усилителе, направленную навстречу задающей н. с. F_3 (рис. 22, а и 8).

Одновременно в этой начальной стадии процесса пуска происходит быстрое повышение напряжения на зажимах генератора и тока якоря двигателя, а следова-

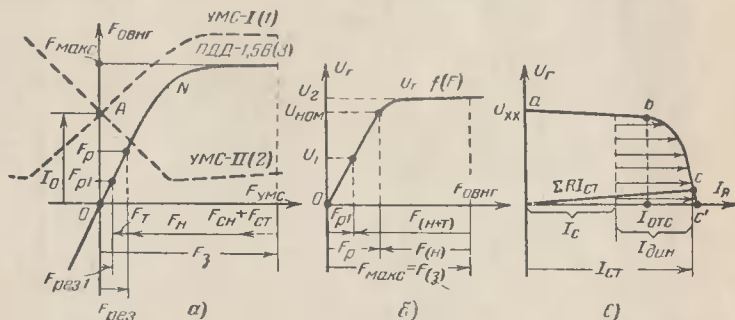


Рис. 22. Кривые: зависимости «вход — выход» двухтактного магнитного усилителя (а), намагничивания генератора (б) и внешней характеристики привода (в).

F_3 — н. с. задающей обмотки усилителя; F_H — н. с. дифференциальной обмотки усилителя; F_T — н. с. токоограничивающей обмотки усилителя; $F_{\text{сн}}$ и $F_{\text{ст}}$ — н. с. стабилизирующих обмоток усилителя; $F_{\text{рез}}$ и $F_{\text{р}}$ — результирующая н. с. усилителя (блока) и соответствующая ей результирующая н. с. независимой обмотки возбуждения генератора до срабатывания токовой отсечки; $F_{\text{рез1}}$ и $F_{\text{р1}}$ — то же при работе токового узла; $F_{\text{макс}}$ — максимальная н. с. при форсировке; U_2 , $U_{\text{ном}}$, U_1 — соответственно напряжения генератора при форсировке, номинальном режиме и режиме на участке bc внешней характеристики привода (при работе токового узла); F_3 , F_H , F_{H+T} — н. с. независимой обмотки возбуждения генератора, соответствующая н. с. обмоток усилителя: задающей, напряжения и их сумме.

тельно, и соответствующих н. с. обмоток усилителя: напряжения УМС-6 (F_H), токоограничивающей УМС-1 (F_T) и токовой стабилизации УМС-4 ($F_{\text{ст}}$).

Результирующая н. с. независимого возбуждения $F_{\text{овп}}$ генератора ($F_{\text{р1}}$) для этого случая обуславливается результирующей н. с. магнитного блока $F_{\text{рез1}}$ (см. рис. 22, а и 8), которая равна:

$$F_{\text{рез1}} = F_3 - F_H - F_T - (F_{\text{сн}} + F_{\text{ст}}).$$

Намагничивающая сила F_H магнитного усилителя хотя и будет увеличиваться по мере роста напряжения генератора, но не уменьшает результирующую н. с.

$F_{\text{ОВНГ}}$, что видно из рис. 22. Только после достижения напряжением генератора 70—85% номинального значения усилитель выйдет из области насыщения и $F_{\text{ОВНГ}}$ начнет уменьшаться (со значения $F_{\text{макс}}$ до F_p), снимая форсировку возбуждения генератора в режиме разгона.

В результате быстрого нарастания тока якоря двигателя последний начнет разгоняться, а с ним и рабочий механизм. Ток в главной цепи двигателя в этом случае можно выразить формулой

$$I_{\text{я}} = I_{\text{дин}} + I_{\text{с}},$$

где $I_{\text{дин}}$ — динамическая составляющая тока, определяемая моментом двигателя, расходуемым на ускорение инерционных масс двигателя и рабочего механизма;

$I_{\text{с}}$ — статическая составляющая тока, обусловленная статическим моментом ($M_{\text{с}}$) нагрузки на валу двигателя.

Величина тока $I_{\text{с}}$ определяется уравнением равномерного движения электропривода

$$I_{\text{я}} = \frac{M_{\text{с}}}{C_{\text{м}} \Phi},$$

где $C_{\text{м}}$ — постоянный коэффициент, зависящий от конструкции двигателя;

Φ — магнитный поток, создаваемый независимой обмоткой возбуждения двигателя.

Величина динамической составляющей тока (рис. 22,в) выбирается такой, чтобы при максимальных статических нагрузках, соответствующих нормальным условиям работы, суммарный ток якоря не превосходил допускаемой величины $I_{\text{ст}}$.

Из рис. 22,в видно, что после достижения током предельного значения, $I_{\text{ст}}$ в течение большей части времени разбега меняется мало. Поддержание постоянства динамического тока обеспечивается действием обеих отрицательных обратных связей — по току якоря $F_{\text{т}}$ и по скорости изменения тока якоря $F_{\text{ст}}$. Происходит это следующим образом. Как только ток в главной цепи увеличится выше допустимого значения (например, при

чрезмерно быстром росте напряжения генератора или же большой нагрузке рабочего механизма), вступает в действие токовая отсечка, т. е. падение напряжения на участке AB (см. рис. 21 и 8) главной цепи становится больше напряжения сравнения соответствующего участка (ab или bg) потенциометра ICU (подробнее см. описание узла 4). Тогда по токоограничивающей обмотке $УМС-1$ пройдет ток и ее н. с. F_T станет действовать против н. с. F_3 ; магнитный усилитель начнет резко размагничиваться (см. рис. 22 и 8). В результате напряжение генератора и ток главной цепи перестанут увеличиваться и токовая отсечка прекратит действие. Подобным образом токоограничивающая обмотка $УМС-1$ усилителя на протяжении всего периода разгона ограничивает ток в главной цепи от $(1,1—1,4) I_{ном.дв}$ до $(2,5—2,9) I_{ном.дв}$, осуществляя отсечку в зависимости от тока якоря, и тем самым наилучшим образом формирует токовую диаграмму главной цепи.

Намагничивающая сила $F_{ст}$ обмотки стабилизации по току якоря $УМС-4$ пропорциональна скорости изменения тока в главной цепи и всегда действует в сторону снижения интенсивности изменения тока $I_{я}$.

По окончании процесса пуска при равномерном вращении двигателя действия гибких обратных связей исчезают и результирующая н. с. магнитного усилителя уже определяется уравнением

$$F_{рез1} = F_3 - F_H - F_T.$$

Узел задающей обмотки управления (узел 1, рис. 21). Обмотка $УМС-2$ создает основной намагничивающий поток — задающую н. с. F_3 усилителя, величина и знак которой определяют величину и полярность напряжения на зажимах якоря генератора (рис. 22,а), а следовательно, скорость и направление вращения двигателя. Таким образом, эта обмотка служит непосредственно для управления главным приводом экскаватора. Изменение величины и направления тока в ней осуществляется через командоконтроллер KK , имеющий пять положений:

0 (нулевое) — для включения контактора $Л$, подающего питание от возбудителя B на цепи управления;

«1» (первое — для включения реверсивных контактов $K1$ (*Вперед*) или $K2$ (*Назад*), осуществляющих из-

менение направления тока в задающей обмотке. Это изменение происходит благодаря тому, что этими контактами подключается конец задающей обмотки УМС-2, соединенный последовательно с задающим потенциометром 4СУ, либо к минусовому зажиму цепи питания (контактом К1), либо к плюсовому зажиму (контактом К2). Одновременно это же положение соответствует первой скорости электропривода.

Положения II, III и IV определяют вторую, третью и четвертую скорости (контактами К5, К4, К3 шунтируются части задающего потенциометра 4СУ).

С целью ускорения возбуждения генератора в обмотку УМС-2 подается значительный ток, в 2,5—5 раз превышающий необходимый для получения номинального $U_{\text{ном}}$ напряжения генератора (см. рис. 22, а и б, где $F_3 > F_{\text{рез}}$ или $F_{\text{макс}} > F_{\text{р}}$ и поэтому $U_2 > U_{\text{ном}}$, а также описание узла 2). Быстродействие, обеспечиваемое таким образом, благодаря применению в схеме магнитного усилителя приближает динамические характеристики к статическим.

Узел отрицательной жесткой обратной связи по напряжению генератора (узел 2, рис. 21). Обмотка отрицательной обратной связи по напряжению генератора УМС-6 создает н. с., пропорциональную напряжению на якоре генератора, и подключена к нему через сопротивление 5СД (см. $F_{\text{н}}$ на рис. 22 и 8). Применение этой обратной связи позволяет осуществлять: форсирование (ускорение) переходных режимов электропривода; автоматическое регулирование скорости, заключающееся в ее стабилизации при каждом рабочем положении рукоятки КК; электрическое торможение привода при удержании поднятого ковша и переключении рукоятки КК в положение 0; борьбу с ползучими скоростями.

Сущность форсировки заключается в следующем. До тех пор, пока генератор не возбудится до величины 70—85% $U_{\text{ном}}$, н. с. обратной связи $F_{\text{н}}$ (рис. 22, а) не оказывает противодействия н. с. задающей обмотки, находящейся под действием повышенного тока ($F_3 > F_{\text{рез}}$). Это обстоятельство вызывает ускоренное нарастание напряжения генератора за счет уменьшения влияния электромагнитной инерции. Генератор, быстро возбуждаясь, вызывает большой ток в главной цепи, а следовательно, значительный вращающий момент двигателя. К концу

переходного процесса увеличивается н. с. обратной связи F_H и поэтому уменьшается разность между ней и н. с. задающей обмотки, пока не наступит установившийся режим ($F_{рез}$ на рис. 22). На этом процесс форсировки завершается.

Отношение величины н. с. задающей обмотки к величине результирующей н. с., соответствующей номинальному напряжению $U_{ном}$ генератора, называется коэффициентом форсировки по величине н. с. усилителя (рис. 22, а и б):

$$k = \frac{F_3}{F_{рез}} = \frac{F_3}{F_3 - F_H}.$$

Коэффициент форсировки выбирается обычно в пределах от 2,5 до 5 (см. описание узла 4 и § 5).

Встречное включение обмоток: задающей УМС-2 и напряжения УМС-6 (из-за чего обмотка напряжения иногда называется дифференциальной обмоткой) обеспечивает стабилизацию напряжения генератора (см. § 2), что ограничивает влияние момента сопротивления рабочего механизма на скорость вращения, т. е. повышает жесткость механической характеристики системы на ее участке ab (рис. 22, в).

Роль дифференциальной обмотки усилителя УМС-6 в осуществлении электрического торможения привода (благодаря чему, например, удерживается ковш в поднятом положении при перестановке КК из положения *Вперед* в положение 0) поясняется рис. 8. Для положения *Вперед* (подъем ковша), т. е. двигательного режима работы генератора (когда напряжение генератора больше э. д. с. E двигателя), на рис. 8 указаны полярность на зажимах генератора (+ на зажиме А и — на В) и сплошными стрелками направления н. с. обмоток усилителя и тока в главной цепи машин, а также направления э. д. с. и вращения двигателя (против часовой стрелки). После переключения рукоятки КК в положение 0 исчезает н. с. F_3 задающей обмотки и напряжение генератора стремится к нулю. Естественно, уменьшается и ток в главной цепи. Тогда ковш под действием веса начинает опускаться и раскручивать двигатель в противоположном направлении (по часовой стрелке).

Двигатель, как и любая машина постоянного тока, обращается в генератор, и в обмотке его якоря начинает индуцироваться э. д. с. (на рис. 8 э. д. с. E обозначена штриховой стрелкой). Вследствие этого полярность на зажимах двигателя меняется на обратную (— на B и + на B), и по обмотке УМС-6 пойдет ток обратного направления (указано штриховой стрелкой). Намагничивающая сила этой обмотки станет подмагничивать усилитель, как ранее это делал задающий магнитный поток. Теперь полярность на зажимах генератора снова будет соответствовать вращению двигателя в сторону подъема ковша, и напряжение U_r совпадет с э. д. с. двигателя: ток главной цепи увеличится, и таким образом будет осуществляться торможение двигателя и удержание ковша в поднятом положении. Действие обмотки УМС-1 в этом случае рассматривается ниже (см. узел 4).

Электрическое торможение привода при переключении рукоятки KK из рабочего в нулевое положение поясняется рис. 8 на примере привода поворота. Если во время работы привода поворота поставить KK , допустим, из положения *Вперед* в положение 0, то задающая н. с. F_3 , как и раньше, становится равной нулю, напряжение генератора начинает спадать, а двигатель под действием маховых масс поворотной части экскаватора продолжает вращаться в прежнем направлении. Тогда э. д. с. двигателя, перешедшего в генераторный режим, превысит напряжение генератора, и ток в якоре двигателя изменит свое направление и станет тормозным. Таким образом будет осуществляться так называемое генераторное торможение (на рис. 8 ток I_d должен быть направлен от двигателя к генератору). Обмотка УМС-6 усилителя оказывается включенной на напряжение, создаваемое двигателем в генераторном режиме. Полярность в этом случае на зажимах двигателя не меняется (+ на зажиме B и — на B). Поэтому направление н. с. обмотки УМС-6 остается прежним (навстречу исчезнувшей н. с. F_3). Это обстоятельство приводит к постоянному размагничивающему действию обмотки OH , в результате чего происходит интенсивное торможение привода до полной его остановки. Действие же токовой обмотки усилителя при этом подробно рассматривается ниже (см. узел 4).

Выше уже отмечалось, что обмотка усилителя УМС-6 включена в схему таким образом, что ее действие при нормальной работе привода является размагничивающим. Это приводит при постановке рукоятки КК в положение 0 к быстрому и почти полному снижению напряжения генератора, поэтому остаточное напряжение его становится значительно меньше, чем в генераторах без жесткой отрицательной обратной связи, а возникающий под его действием остаточный ток (момент) уже не способен к созданию так называемой ползучей скорости. Таким образом, благодаря размагничивающему действию обмотки УМС-6 осуществляется борьба с ползучими скоростями.

В схемах управления электроприводами последних выпусков экскаватора типа ЭКГ-4,6 в качестве обмотки жесткой отрицательной обратной связи по напряжению генератора используется обмотка УМС-5 магнитного усилителя (узел 2—3 на рис. 21,а), а обмотка УМС-6 остается свободной. Поэтому цепь последней (УМС-6), так же как и цепь динамического моста, включенная на напряжение генератора, на рис. 21,а изображены штриховыми линиями как устаревшие элементы схемы.

В новой схеме управления обмотка напряжения усилителя УМС-5 (узел 2—3) выполняет все те функции отрицательной жесткой обратной связи по напряжению генератора, какие выполняла ранее обмотка УМС-6 усилителя, и дополнительно осуществляет функции гибкой отрицательной обратной связи по напряжению генератора. В переходных режимах в обмотке УМС-5 появляется дополнительная н. с. $F_{сн}$, направленная в сторону снижения интенсивности изменения э. д. с. генератора. Посредством обмотки УМС-5 осуществляется регулирование темпа переходных режимов в приводе (затягивание процесса нарастания и спада напряжения генератора) и стабилизация системы от появления устойчивых колебаний напряжения генератора. Аналогичные функции в старой схеме выполняет динамический мост (узел 3).

Узел стабилизации по напряжению генератора (узел 3, рис. 21). Стабилизирующая (или иначе динамическая) обмотка УМС-5 магнитного усилителя подключена к якорию генератора по мостовой схеме, составленной из со-

противлений $1CD$, $2CD$, $6CD$ и параллельной обмотки возбуждения $\Gamma_{\text{овш}}$ генератора Γ .

Плечи динамического моста сбалансированы по активным сопротивлениям и удовлетворяют условию $\frac{\Gamma_{\text{овш}}}{1CD} = \frac{2CD}{6CD}$. Поэтому в установившихся режимах ток в обмотке УМС-5 усилителя не проходит и ее н. с. равна нулю.

В переходных режимах возникает небаланс моста из-за действия индуктивного сопротивления параллельной обмотки $\Gamma_{\text{овш}}$. Благодаря этому появляется н. с. $F_{\text{сн}}$ обмотки УМС-5, направленная навстречу задающей н. с. F_3 усилителя. Эта н. с. $F_{\text{сн}}$ является следствием и действует навстречу причине, ее вызвавшей, т. е. в сторону снижения интенсивности изменения напряжения на зажимах генератора.

Узел отрицательной обратной связи по току главной цепи с отсечкой (узел 4, рис. 21). Токоограничивающая обмотка УМС-1 (ОТ на рис. 8) усилителя включается через потенциометр сравнения $1CU$ на падение напряжения в обмотках дополнительных полюсов ДПП генератора и ДПД двигателя и работает в зависимости от величины тока в главной цепи машин.

Ограничение тока. Величина тока в главной цепи в установившемся режиме зависит только от величины статической нагрузки двигателя I_c , а в неустановившихся режимах — от интенсивности изменения напряжения генератора и э. д. с. двигателя:

$$I_{\text{я}} = \frac{U_{\Gamma} - E_{\text{дв}}}{\Sigma R_{\text{я}}},$$

где $\Sigma R_{\text{я}}$ — суммарное сопротивление главной цепи;

$E_{\text{дв}}$ — э. д. с. двигателя.

Влиянием индуктивностей силовой цепи при этом пренебрегают.

Скорость нарастания напряжения на генераторе обусловливается параметрами его обмоток возбуждения (в основном величиной их электромагнитной инерции) и параметрами системы управления (параметрами цепей

стабилизации). С целью уменьшения электромагнитной инерции применяется форсировка.

В двигателе процесс увеличения э. д. с. связан с ростом скорости. По мере разгона э. д. с. возрастает и ток в главной цепи уменьшается до значения установившегося тока. Интенсивность нарастания э. д. с. двигателя зависит от ряда факторов, в том числе от величины и знака статического момента на валу. Положительный статический момент сопротивления (например, при подъеме груженого ковша) затрудняет разгон двигателя; нарастание его э. д. с. замедляется, что при неизменной скорости нарастания напряжения генератора приводит к увеличению тока якоря. Ток может во много раз превысить допустимый предел по коммутации и нагреву двигателя, если не применить специальных средств ограничения тока. В то же время потенциальная нагрузка, например вес ковша при опускании его вниз (положение *КК Назад*), ускоряет вращение якоря двигателя и нарастание его э. д. с., что снижает ток якоря в переходном режиме. Однако если двигатель раскручивается под действием активной нагрузки (под действием веса ковша) при нулевом или противоположном спуску положении *КК*, то это вызывает (см. описание узла 2) изменение полярности на его зажимах и привод будет работать в режиме противотока, так как генератор в это время обмоткой напряжения УМС-6 будет подмагничиваться в сторону подъема ковша. Ток якоря в этом тормозном режиме противотока может достичь значительной величины:

$$I_{\text{я}} = \frac{U_{\Gamma} + E_{\text{дв.}}}{\Sigma R}.$$

Это обстоятельство тоже требует принятия мер для токоограничения.

В статическом режиме возможен только один способ ограничения тока — путем регулирования тока возбуждения генератора изменением н. с. обмоток управления УМС-2 (ОЗ), УМС-6 (ОН) и УМС-1 (ОТ) силового магнитного усилителя (рис. 21 и 8). В динамическом режиме ограничить ток можно как регулированием н. с. указанных обмоток управления, так и подбором параметров цепей возбуждения генератора и стабилизирующих цепей усилителя. Вследствие различия условий

ограничения тока значения максимально допустимых (стопорных) токов в статическом и динамическом режимах могут получиться разными.

Для ограничения тока в главной цепи в статическом режиме и получения требуемой экскаваторной характеристики, а также для формирования токовой диаграммы главной цепи в переходных режимах применяется узел токовой отсечки (или, иначе, задержанная обратная связь по току). Узел отрицательной обратной токовой связи с отсечкой состоит из обмотки УМС-1, германиевых полупроводниковых выпрямителей 1ВГ и 2ВГ и токового потенциометра сравнения 1СУ (рис. 21 и 8). Работа узла в двигательном режиме и для положения КК Вперед поясняется рисунком 8. При прохождении тока $I_{\text{я}}$ в главной цепи на сопротивлении R (условно обозначающем сопротивление обмоток ДПГ и ДПД) создается падение напряжения U_R . Это контролируемое напряжение непрерывно сравнивается с внешним встречным «напряжением сравнения» (эталонным напряжением или запирающим потенциалом) $U_{\text{ср}}$.

Эталонные напряжения $U_{\text{ср}1}$ и $U_{\text{ср}2}$ определяются падениями напряжения на сопротивлениях участков $вб$ и $бг$ потенциометра 1СУ при прохождении по нему постоянного тока от независимого источника тока (возбудителя В). Для того чтобы под действием эталонных напряжений не проходил ток в цепь токовой обмотки УМС-1 усилителя, к потенциометру 1СУ определенным образом подключены выпрямители 1ВГ и 2ВГ.

При малых значениях тока главной цепи $I_{\text{я}}$ эталонное напряжение $U_{\text{ср}}$ превышает падение напряжения на сопротивлении R (контролируемое напряжение U_R), т. е. $U_{\text{ср}1} > U_R$, и ток проходил бы в направлении, обусловленном полярностью $U_{\text{ср}1}$. Однако этому препятствует выпрямитель 1ВГ. При достижении током главной цепи значения $(1,1 \div 1,4) I_{\text{ном.дв}}$ падение напряжения U_R станет равным $U_{\text{ср}1}$, а затем при дальнейшем увеличении тока якоря превысит его, т. е. $U_R > U_{\text{ср}1}$. При этом ток $I_{\text{т}}$ пойдет от сопротивления R в направлении, указанном штриховой стрелкой на рис. 8, через токоограничивающую обмотку ОТ (УМС-1).

Направление тока в обмотке УМС-1 магнитного усилителя выбирается так, чтобы в двигательном режиме

при работе токового узла усилитель СМУ размагничивался. Тогда напряжение генератора начнет резко уменьшаться, что иллюстрируется на рис. 8 и 22,а по встречным направлениям стрелок н. с. токоограничивающей и задающей обмоток усилителя для положения *Вперед*, причем в первый момент действия обмотки ОТ ее н. с. F_T становится почти равной н. с. F_3 задающей обмотки. Таким образом, экскаваторная характеристика (рис. 22,в) практически горизонтальна до тех пор, пока сохраняется условие $U_R < U_{CP}$.

При $U_R = U_{CP}$ происходит излом в характеристике (точка *b*). Ток главной цепи, соответствующий этому моменту, называется током отсечки $I_{отс}$, а сам момент — началом работы токового узла (токовой отсечки).

Наконец, при $U_R > U_{CP}$ наступает процесс размагничивания генератора и характеристика имеет круто падающую часть (*bc*). Величина тока главной цепи в точке *c*, где заканчивается размагничивание генератора и напряжение на его выходе становится близким нулю (двигатель останавливается), называется стопорным током $I_{ст}$. Величина напряжения генератора в этом режиме упора определяется падением напряжения при прохождении тока $I_{ст}$ по цепи якоря двигателя, т. е. произведением $\Sigma RI_{ст}$.

При другой полярности (по сравнению с показанной на рис. 8) на зажимах генератора (положение *Назад*) контролируемое напряжение U_R уже сравнивается с эталонным напряжением U_{CP2} ; при $U_R > U_{CP2}$ ток I_T проходит через вентиль 2ВГ:

Германиевые выпрямители в цепи узла отсечки служат также и для того, чтобы действие токоограничивающей обмотки ОТ усилителя было встречным по отношению к действию обмотки напряжения ОН при генераторном тормозном режиме двигателя. Из описания узла 2 известно, что при переключении КК из положения *Вперед* в нулевое в результате размагничивающего действия обмотки ОН происходит резкое снижение напряжения генератора, поэтому э. д. с. двигателя становится больше напряжения генератора. При этом тормозной ток проходит в направлении от двигателя к генератору. Это приводит к изменению направления тока и н. с. токоограничивающей обмотки ОТ. Тогда н. с.

обмотки OT станет действовать против н. с. обмотки OH (см. направление н. с. этих обмоток для нулевого положения KK на рис. 8), причем в самый начальный момент торможения она не только компенсирует н. с. обмотки OH , но создает еще дополнительную величину н. с. $F_{рез}$, достаточную для намагничивания генератора и создания в нем э. д. с., направленной навстречу э. д. с. двигателя, ограничивая тем самым величину тормозного тока в главной цепи до $(2,5 \div 2,9) I_{ном.дв.}$. Под действием этого тормозного тока двигатель замедляет свое вращение и его э. д. с. уменьшается. В результате этого спадает и тормозной ток в главной цепи, и в момент, когда он становится меньше $(1,1 \div 1,4) I_{ном.дв.}$ действие токоограничивающей обмотки OT прекращается. Такой процесс форсированного торможения (так же, как и процесс разгона) с максимально допустимым током в цепи якоря значительно сокращает время переходных процессов, способствуя сокращению цикла работы экскаватора.

Итак, в двигательном и генераторном режимах действие токоограничивающей обмотки OT ($УМС-1$) обеспечивает ограничение величины тока в цепи машин до величины стопорного тока.

Токовый узел в схеме привода поворота-хода (рис. 21,б) работает аналогично узлу 4 рис. 21,а. Только в отличие от последнего в нем предусматривается изменение величины эталонного напряжения $U_{ср}$ путем шунтирования части токового потенциометра $1CUB$ сопротивлением $4CDB$ в ходовом режиме экскаватора. Такое уменьшение $U_{ср}$ связано с тем, что при подключении ходового двигателя обмотки дополнительных полюсов генератора соединяются параллельно, отчего вдвое уменьшается их сопротивление, а следовательно, уменьшаются и величины сопротивления R и контролируемого напряжения U_d . Кроме этого, у привода хода значение тока $I_{ст}$ должно быть несколько выше, чем у привода поворота.

Величина коэффициента форсировки определяется возможной величиной н. с. токоограничивающей обмотки OT при заданных параметрах силовой цепи и цепи управления.

Определение максимальной величины н. с. обмотки OT (для данных параметров схемы и заданной внешней характеристики) производится в общем случае, исходя из основной аналитической

зависимости тока от параметров токового узла и допустимого тока главной цепи

$$I_{т.макс} = \frac{U_R}{\Sigma r_T},$$

где $U_R = (I_{ст} - I_{отс})R$,

Σr_T — суммарное сопротивление всех элементов в цепи токоограничивающей обмотки.

Определив $I_{т.макс}$ ($F_{т.макс}$), выбирают примерно равную ей н. с. задающей обмотки, т. е. $F_3 = F_{т.макс}$, чтобы ток главной цепи не превышал в двигательном режиме предельного значения $I_{ст}$. По кривой намагничивания генератора (рис. 22,б) находят для заданного напряжения холостого хода генератора соответствующую ему н. с. возбуждения F_R . Эта н. с. F_R и будет результирующей н. с. усилителя при одновременном действии н. с. обмоток OZ и OH (рис. 22,а), т. е. $F_{рез} = F_3 - F_R$. Отсюда определяется н. с. обмотки OH $F_H = F_3 - F_{рез}$. Зная эти величины, можно определить коэффициент форсировки. При выборе величины коэффициента форсировки следует помнить, что увеличение его приводит к усилению активности токового узла, т. е. при токовой отсечке на заданном токовом интервале bc возрастает н. с. токоограничивающей обмотки. Это понижает устойчивость системы в отношении колебаний.

Узел гашения остаточного магнетизма (узел 5, рис. 21).

При срабатывании защиты (реле PTM в узле 8) отключается контактор L и лишается питания задающая обмотка OZ магнитного усилителя и катушка $ЭТ$ электромагнита (см. узлы 1 и 9). Последняя включает («накладывает») механический тормоз: двигатель мгновенно стопорится. Если при этом недостаточно быстро уменьшается остаточное напряжение генератора из-за слабого размагничивающего действия обмотки OH усилителя, то возможно возникновение значительного тока в цепи якоря двигателя. Этот ток создает опасность перегрева обмоток и подгорания коллекторных пластин. Для предупреждения таких явлений и предусматривается дополнительное гашение остаточного магнетизма путем подключения токоограничивающей обмотки OT непосредственно на дополнительные полюсы $ДПГ$ и $ДПД$, минуя потенциометр сравнения $1СУ$. Это подключение осуществляется либо замыканием контакта L в цепи сопротивления $4СД$ (когда срабатывает защита), либо контактов пакетного выключателя $ВП$ (когда привод отключается вручную). При этом в усилителе начинает действовать размагничивающая н. с. обмотки OT , совпадающая с н. с. обмотки OH (рис. 8), значительно ускоряя этим размагничивание усилителя и генератора.

В схеме привода поворота-хода (узел 5, рис. 21,б) применяется другой способ размагничивания. Здесь при отключении привода пакетным выключателем *ВТВ* или при переводе переключателя режимов работы «поворот-ход» *ПРР* в нулевое положение шунтируется часть сопротивления *5СДВ*, включенного последовательно с обмоткой напряжения *УМСВ-6*. Тогда ток и н. с. F_H обмотки напряжения резко возрастают и значительно усиливается размагничивающее действие обмотки *ОН*. Таким путем осуществляется эффективное гашение остаточного напряжения, а следовательно, и остаточного тока в якорях машин.

Узел стабилизации по току главной цепи (узел 6, рис. 21). Стабилизирующая обмотка усилителя *УМС-4*, выполняющая роль гибкой отрицательной обратной связи по току главной цепи, подключается через сопротивление *9СД* на специальную стабилизирующую (вторичную) обмотку *УТС*, размещенную на полюсах *ДПГ* генератора, где первичной обмоткой является сама (основная) обмотка дополнительного полюса. Во время переходных процессов и при изменениях тока главной цепи I_{Δ} во вторичной (стабилизирующей) обмотке наводится э. д. с., которая и создает ток и н. с. в обмотке *УМС-4*. Действие последней направлено против изменений тока якоря I_{Δ} , а степень ее противодействия тем больше, чем резче происходит изменение тока. Таким образом, уменьшаются толчки тока при резких изменениях нагрузки и достигается стабилизация (устойчивость) работы системы в динамическом режиме.

Узел возбуждения и ослабления поля двигателя (узел 7, рис. 21,а). Независимые обмотки возбуждения двигателей *Дов* подъема и напора подключаются через добавочные сопротивления *3СД* к источнику их питания — возбuditелю *В* (рис. 21,а); у двигателей поворота эти обмотки включаются параллельно (рис. 21,б).

В отличие от всех других приводов, у привода подъема параллельно добавочному сопротивлению *3СД* контактами контактора ослабления поля *ПП* подключается шунтирующее его сопротивление *r*. При этом общее сопротивление в цепи обмотки возбуждения *Дов* уменьшается, а ток возбуждения $I_{ов}$ возрастает. Этот ток и соответствующее ему магнитное поле возбуждения дви-

гателя являются номинальными, так как при таком поле возбуждения и номинальном напряжении на зажиме якоря генератора $U_{\text{ном}}$ двигатель рабочего механизма вращается с номинальной скоростью 740 об/мин.

В случае необходимости дальнейшего увеличения скорости (сверх номинальной) следует ослабить (уменьшить) поле возбуждения двигателя, так как скорость вращения обратно пропорциональна потоку возбуждения. Ослабление поля возбуждения двигателя подъема осуществляется отключением шунтирующего сопротивления r при отключении контактора $ПП$, что происходит только в положении IV $КК$ *Назад* (при спуске ковша). При этом скорость увеличивается до 1100 об/мин, что уменьшает время опускания ковша после разгрузки.

Узел защиты и автоматики (узел 8, рис. 21). Реле максимального тока $РТМ$ срабатывает, если ток в главной цепи становится больше максимальной допустимой величины (свыше 25% стопорного тока) и размыкает цепь катушки контактора питания $Л$. Последний отключает на всех трех приводах задающие обмотки $УМС-2$ магнитных усилителей и одновременно включает механические тормоза.

В схеме привода поворота (рис. 21,б), в отличие от других приводов, имеется реле контроля напряжения $РН$, включенное через добавочное сопротивление $СД$ на напряжение генератора $ГВХ$. Контакт реле $РН$ включается параллельно контактам переключателя режимов $ПРР$ (см. узел 10, рис. 21,б). Реле $РН$ исключает возможность производства при помощи ключа $ПРР$ переключений с режима «ход» на режим «поворот» и наоборот, если генератор находится еще под напряжением (подробно см. ниже узел 10). Только когда напряжение на якоре генератора упадет ниже 20% $U_{\text{ном}}$, может осуществиться указанное переключение, подготовленное ключом $ПРР$.

Реле защиты от замыканий «на землю» $РЗ$ (в схеме привода подъема) подключается между делителем напряжения — потенциометром $ЗСУ$ и «землей». При появлении где-либо «второй земли» в цепях возбудителя $В$ (на плюсовом или минусовом проводе) реле срабатывает и отключает контактор питания $Л$.

Узел управления тормозом (узел 9, рис. 21). Тормоз управляется электропневматическим распределителем,

работающим по принципу трехходового крана, управляемого электромагнитом *ЭТ*. При включении катушки *ЭТ* магистраль давления соединяется с оттормаживающим цилиндром и машина растормаживается (тормоз отключается).

При отключении катушки *ЭТ* оттормаживающий цилиндр соединяется с атмосферой. Тогда под действием сильных пружин механический тормоз «накладывается» на машину (тормоз включается). Электромагнит *ЭТ* включается и отключается пакетным выключателем *ВТ*, при этом включается и отключается и задающая обмотка *УМС-2* усилителя. Механическим тормозом обычно пользуются при длительных перерывах в работе.

Во время же экскавации торможение привода осуществляется электрически: рукоятку *КК* переводят в нулевое или противоположное положение.

Механические тормоза могут включаться и автоматически при срабатывании реле защиты *РТМ* и *РЗ*. В приводе поворота-хода (рис. 21,б) подобным механическим торможением левой и правой гусениц выбирается направление движения экскаватора. Эта операция производится ключом *ВТГ*.

Узел переключения с поворота на ход (узел 10, рис. 21,б). Переключение генератора *ГВХ* с поворотных двигателей на ходовой и наоборот осуществляется в результате соответствующих переключений в главных цепях машин с помощью пяти силовых контакторов — двух поворотных *1КВ* и *2КВ* и трех ходовых *1КХ*, *2КХ*, *3КХ*. В это время питание на обмотку возбуждения двигателя хода подается контактором *ШХ*. Режим работы «поворот-ход» выбирается переключателем *ПРР*, подающим питание либо на контакторы поворота, либо на контакторы хода. При этом во время работы, допустим, привода поворота можно заранее переключить *ПРР* в режим хода. От этого контакторы поворота *1КВ* и *2КВ* не отключатся, так как их катушки будут подпитываться через контакт реле *РН*, который в это время еще замкнут. Как только напряжение на якоре генератора *ГВХ* упадет ниже 20% $U_{ном}$, произойдет отключение реле *РН* и его контакт разомкнется. Тогда катушки контакторов *1КВ* и *2КВ* отключатся, якоря контакторов отпадут и включат контакторы хода, цепь питания катушек которых была подготовлена переключателем *ПРР*.

Узел подачи питания постоянного тока на цепи управления (узел II, рис. 21, а). Контактор питания *Л* включается при постановке рукояток командоконтроллеров (*ККН* и *ККВ*) в нулевое положение кнопкой «Пуск», обычно расположенной сбоку, на *КК* привода подъема. На этом же *КК* спереди помещается кнопка «Стоп» для отключения контактора *Л*. Автоматическое отключение контактора *Л* происходит при срабатывании любого реле защиты: токовой *РТМ*, земляной *РЗ* и нулевой *ВМ*.

Схема управления приводом открывания днища ковша (рис. 9). Якорь двигателя *ДК* механизма открывания днища ковша подключается к возбудителю *В* через добавочное сопротивление *СДК*, часть которого может шунтироваться силовым контактом контактора *КД*. Когда сопротивление *СДК* не шунтировано, ток якоря двигателя невелик и создаваемый им момент недостаточен для вращения двигателя, а создает лишь натяжение разгрузочного канатика. Для открывания днища ковша (например, при разгрузке) нажимают кнопку «открывания днища» *КОД*, встроенную в командоконтроллер напора, включая этим контактор *КД*. Это вызывает шунтирование части сопротивления *СДК* и, таким образом, увеличение тока в цепи якоря двигателя *ДК*, а следовательно, и момента на его валу, который будет в этом случае достаточен для приведения во вращение двигателя.

5. ПОДГОТОВКА К НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Проверка правильности электрических соединений осуществляется обычно «прозвонкой» с помощью омметра. Вначале прозванивают все силовые цепи машин, а затем цепи их управления. В процессе прозвонки проверяют маркировку и сечение проводов и кабелей и соответствие их соединений проекту (схемам внешних соединений и элементным схемам). При этом особо тщательно проверяют схемы токового узла, узла напряжения и реле защиты, в частности провода, присоединенные к точкам *А*, *Б*, *В* силовой цепи (рис. 8 и 21). Так же тщательно проверяют схему, относящуюся к выходам *Я₁* и *Я₃* генератора *ГВХ*. При этом следует помнить, что выводы *Я₁* и *Я₃* генератора не равнозначны и нельзя путать их при подключении проводов.

Испытания и настройка контакторно-релейной аппаратуры. Все контакторы постоянного тока типов КРВ-504 и КРД-121 должны четко включаться при холодных катушках (температура окружающей среды 20°C) при напряжении возбuditеля B (рис. 21)—75 в, а в натрето́м состоянии 93 в, что составляет 85% номинального напряжения. Напряжение отпадания нормами не определено.

Во избежание сокращения срока службы катушек напряжение U_{Π} возбuditеля B не должно превышать 115 в.

Реле постоянного тока серии РЭ-510, используемые как реле напряжения, проверяют сначала на срабатывание, а затем их настраивают с помощью схемы, показанной на рис. 23. При перемещении движка потенциометра $\Pi\Gamma$ из положения m в положение n плавно повышают напряжение от нуля до полного включения реле, отмечая при этом напряжение срабатывания реле. Затем обратным движением движка уменьшают напряжение и фиксируют напряжение отпадания. На основании полученных данных вычисляют коэффициент возврата, представляющий собой отношение напряжения отпадания к напряжению срабатывания. Напряжение срабатывания регулируется за счет изменения воздушного зазора с помощью упорного винта и натяжения возвращающей пружины (чем сильнее натянута пружина, тем напряжение срабатывания выше). Толщиной немагнитных прокладок регулируют в основном напряжение отпущения. Немагнитная прокладка предохраняет от залипания якоря, и потому совсем снимать прокладки ни в каком случае нельзя.

Уставки реле в схемах управления. Реле максимального тока РТМ типа РЭ-510 (рис. 21, катушка 48 в) включено параллельно обмоткам полюсов ДПГ и ДПД (сопротивлению R) и настраивается на ток $I_{\text{я. макс}} = 1,25I_{\text{ст}}$. Напряжение срабатывания (втягивания) определяется как $U_{\text{в}} = 1,25I_{\text{ст}}R$, где $I_{\text{ст}}$ —стопорный ток

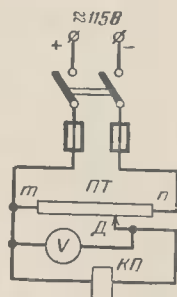


Рис. 23. Схема для проверки напряжения срабатывания и отпадания контакторов и реле постоянного тока.

$\Pi\Gamma$ — реостат 150—300 вт; 500—1 000 ом;
 V — вольтметр; Д — движок реостата.

в главной цепи при IV положении KK ; $R = 1,2R_{\text{хол}}$ — суммарное сопротивление обмоток дополнительных полюсов генератора и двигателя в горячем состоянии; $R_{\text{хол}}$ — то же в холодном состоянии (15°C) и равно для привода подъема $0,0132\text{ ом}$, шапора — $0,0395\text{ ом}$, поворота — $0,02855\text{ ом}$ и хода $0,0142\text{ ом}$. Расчетные напряжения втягивания $U_{\text{в}}$ получаются для реле РТМП около 25 в , РТМН — 21 в и РТМВ — 17 в . Эти расчетные уставки реле окончательно уточняются при снятии статической характеристики привода (см. ниже).

Реле контроля напряжения РН типа РЭ-510 без демпфера с катушкой на 110 в не допускает переключений в главной цепи двигателей поворота и хода при наличии напряжения на зажимах генератора выше 20% $U_{\text{ном}}$ и настраивается на напряжение отпадения $U_{\text{отп}} \approx 14\text{ в}$. Напряжение трогания реле РН при данном напряжении отпадения обычно составляет величину порядка $U_{\text{в}} = 15\text{ в}$.

Реле защиты от замыкания на землю РЗ типа РЭ-510 без демпфера с катушкой напряжения на 110 в должно четко срабатывать при замыкании на землю плюсовой или минусовой цепи питания от возбуждателя В.

Измерение сопротивлений обмоток электрических машин и усилителей, проволочных сопротивлений постоянному току производится с целью проверки их исправности и соответствия замеренных данных заводским (проектным). При сопротивлении обмоток до 10 ом измерение выполняют одинарным мостом типа Р-333. При сопротивлении менее $1,0\text{ ом}$ — двойным мостом типа МД-6.

Сравнивая замеренные величины сопротивления обмоток электрических машин с заводскими (паспортными), их приводят к единой температуре по формуле

$$R_2 = R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1},$$

где R_1 — сопротивление, измеренное при температуре t_1 ;
 R_2 — сопротивление, приведенное к температуре t_2 (паспортной).

Одновременно с измерением подбирают и регулируют некоторые сопротивления. Так, например, доби-

ваются деления на две равные части по величине сопротивлений потенциометра (делителя напряжения) ЗСУ во всех трех приводах. Регулируют величину и балластных сопротивлений 1СБ и 2СБ в цепи нагрузки магнитных блоков в зависимости от измеренных величин активных сопротивлений полуобмоток (H_1-H_2 и H_3-H_4 рис. 10) независимой обмотки возбуждения генератора, так как плечи моста должны быть сбалансированы по активным сопротивлениям и удовлетворять условию

$$\frac{r_{ОВН-I}}{1СБ} = \frac{2СБ}{r_{ОВН-II}}.$$

Следует, однако, учесть то обстоятельство, что при нагреве сопротивления полуобмоток возбуждения увеличиваются приблизительно на 20—30%. Обычно величина каждого балластного сопротивления СБ составляет для приводов подъема и напора по 1,8—1,96 ом и поворота 2,0—2,1 ом (по данным наладки).

Проверка выпрямителей. Для оценки внутреннего состояния германиевого выпрямителя ВГ типа Д303-305 снимают вольт-амперную характеристику, т. е. определяют зависимость тока, проходящего через выпрямитель, от приложенного напряжения прямой и обратной полярности. Замеряют 5—6 точек при прямом и 4—6 при обратном токе. При снятии характеристик следует осторожно приближаться к предельным паспортным значениям величин тока и напряжения, так как перегрузка приводит к непоправимому повреждению выпрямителя. Построенные по данным замеров характеристики сравнивают с каталожными. При значительных отклонениях характеристик выпрямитель заменяют новым.

Более простым способом проверки качества выпрямителя является измерение его прямого и обратного сопротивлений с помощью измерительного моста или омметра. Так, например, диод типа Д-304 в прямом направлении имеет сопротивление порядка 1,5—10 ом, а в обратном — 50—100 ком. Чем выше качество выпрямителя, тем меньше его внутреннее «прямое» сопротивление и больше «обратное». При измерении сопротивления выпрямителя одновременно проверяют правильность разметки зажимов на корпусе для прямого направления тока и соответствие параметров диода проекту (зажим

для выхода прямого тока из выпрямителя должен быть обозначен знаком $+$). Как правило, в цепи токовой отсечки устанавливаются диоды типа ДЗ04. В случае отсутствия их применяют диоды ДЗ03, соединяя параллельно.

Для параллельного соединения следует подбирать диоды с близкими значениями «прямого» падения напряжения.

Проверять со снятием вольт-амперной характеристики следует также и селеновые выпрямители магнитных усилителей. Если МУ более 6 месяцев находился без напряжения, то его селеновые вентили необходимо формировать. Для этого усилитель вместе с подключенной нагрузкой следует включить на 10 мин к источнику переменного напряжения, равного половине номинального значения, т. е. обмотки питающих трансформаторов 1Т, 2Т, 3Т (см. рис. 20) включить в звезду и подключить к сети 220 в, а затем, переключив в треугольник на 2 ч, — к номинальному напряжению (220 в). Пробой запорного слоя при этом обнаруживается по появлению искры и оплавлению слоя селена. В этом случае напряжение следует снова снизить. Неисправные элементы можно определить на ощупь: нормально работающие элементы будут теплыми, неисправные — холодными. Неисправные выпрямители можно определить также по омметру: у неисправного элемента величина сопротивления прямому и обратному току будет одинакова. Качество селеновых выпрямителей в магнитных усилителях сильно влияет на коэффициент усиления.

Наладка и испытание силового двухтактного магнитного усилителя (блока) типа ПДД-1,5В должна выполняться в полном объеме по программе, приведенной в брошюре [Л. 5]. Здесь же описаны только балансировка блока, измерение токов смещения каждого усилителя и снятие статической характеристики.

Балансировка блока означает получение на его нагрузке н. с. $F_{\text{ОВНГ}}$, равной или близкой нулю при отсутствии управляющих сигналов (см. точку 0 кривой на рис. 17,а и 22,а). Это достигается следующим путем (рис. 24). Подключают к зажимам $+1$, -1 и $+2$, -2 нагрузочных цепей усилителей (УМС-I и УМС-II) нагрузку блока в виде уравновешенного моста, состоящего из двух полуобмоток возбуждения генератора Говн и

двух балластных сопротивлений *СБ*. В эти же цепи усилителей последовательно (в рассечку) включаются шунты *Ш1* и *Ш2*. Затем к ним подключают соответствующие амперметры *А*, работающие в зависимости от величины падения напряжения в шунте при прохождении по нему тока. Чем больше протекает ток по шунту, тем больше падение напряжения на нем и, следовательно, тем больше отклонение стрелки измерительного прибора.

Таким же образом включаются шунты *Ш3* и *Ш4* с амперметрами *А₃* и *А₄* в цепи полуобмоток возбуждения генератора, а шунты *Ш5* и *Ш6* с амперметрами *А₅* и *А₆* в цепи обмоток смещения каждого магнитного усилителя (присоединяются к зажимам *ЗН1* и *ЗН2*). От остальных зажимов усилителей отсоединяют по одному выводу каждой обмотки управления, допустим *1Н1*, *4Н1*, *5Н1*, *6Н1*, и выключают рубильник *Р* постороннего источника питания.

Включением автомата на блок подают номинальное трехфазное перемешное напряжение питания 380 в или 220 в в зависимости от соединения первичных обмоток трансформаторов *1Т*, *2Т*, *3Т* и затем проверяют наличие напряжения на селеновых выпрямителях *ЗВС* и *4ВС* блока смещения. После этого, регулируя сопротивление *12СУ* в цепи смещения первого усилителя (*УМС-I*), устанавливают величину тока выхода этого усилителя по амперметру *А₁* равной $I_{10} = I_{\text{ном}}/2 = 14 \text{ а}$ (см. точку *А* на рис. 17,а и 22,а). Обмотку смещения считают правильно включенной, если при возрастании тока в ней (показание амперметра *А₅*) ток *I₁₀* на выходе усилителя увеличивается (так как поток обмотки смещения совпадает с потоком внутренней обратной связи). Затем, регулируя сопротивление *13СУ* в цепи смещения уже другого усилителя (*УМС-II*), добиваются показаний амперметров *А₃* и *А₄*, равных или близких к нулю (см. точку *О* кривой *З* на рис. 22,а). В то время амперметр *А₂* будет показывать ток выхода усилителя *УМС-II* (порядка 14 а). Таким образом достигают полного баланса блока с подключенной к нему нагрузкой.

Измерение величины токов смещения (порядка 35—70 ма) каждого усилителя производят после достижения баланса блока миллиамперметрами *А₅* и *А₆*. После измерения шунты *Ш5* и *Ш6* отклю-

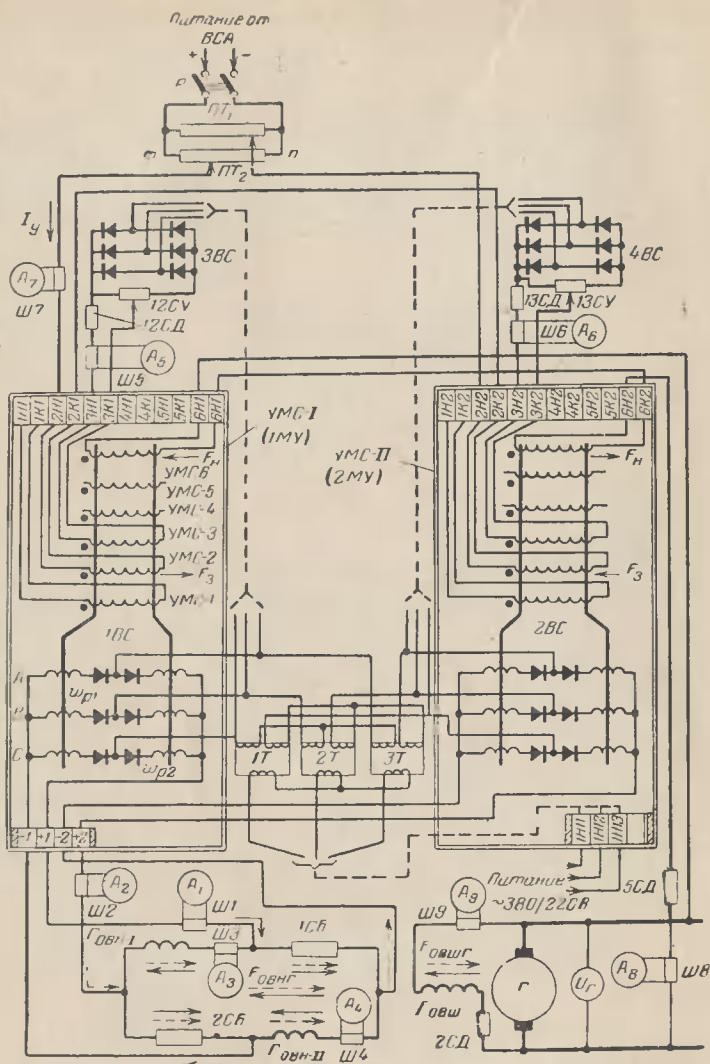


Рис. 24. Балансировка блока силовых магнитных усилителей типа РДД-1,5В и снятие характеристики холостого хода генератора.

РТ₁, РТ₂ — реостаты; 2СД, 5СД, 12СД, 13СД — добавочные сопротивления; 12СУ, 13СУ — установочные сопротивления; Ш1—Ш9 — измерительные шунты с милливольтметрами А1—А9. (При балансировке и снятии зависимости «вход — выход» усилителей шунты устанавливают на токи: Ш1, Ш2 — 30 а; Ш3, Ш4 — 1,5 а; Ш5, Ш6, Ш7 — 0,75 а; при снятии характеристики холостого хода генератора — Ш3 — 30 а; Ш7, Ш8 — 0,75 а; Ш9 — 7,5 а.)

чают, и схема цепей смещения полностью восстанавливается.

Снятие статической характеристики (зависимость «вход-выход») магнитного блока производят по той же схеме рис. 24, но уже с подключенными проводами от потенциометров $ПТ_1$ и $ПТ_2$ к зажимам $2Н1, 2К1$ и $2Н2, 2К2$ усилителей, как показано на рисунке. Таким образом, обмотки управления УМС-2 усилителей оказываются включенными последовательно и встречно. Включают рубильник P и подают питание от постороннего источника постоянного тока, допустим, от ВСА — выпрямительного селенового агрегата. Теперь, изменяя величину и направление тока управления обмотки УМС-2 при помощи потенциометров $ПТ_1$ и $ПТ_2$, изменяют величину и направление тока нагрузки каждого усилителя (контролируется амперметрами A_1 и A_2), а следовательно, и тока полуобмотки возбуждения генератора (контролируется амперметром A_3 или A_4). По данным замеров, произведенных с помощью амперметров A_7 (ток входа), A_1 (ток выхода усилителя УМС-I), A_2 (ток выхода усилителя УМС-II) и A_3 или A_4 (ток выхода блока), строят статические нагрузочные характеристики каждого усилителя и двухтактного блока. Эти характеристики должны быть подобными кривым 1, 2 и 3 на рис. 17,а. Величина тока нагрузки блока (показания A_3) в амперах должна быть при соответствующих токах управления прямой и обратной полярности (показания A_7) в миллиамперах в пределах, указанных ниже:

I_y	0	20	50	70	100	200	300	400
I_H	-0.5+0.5	8—14	16—22	19—26	25—27	27—29	29—30	32

Аналогичным образом производят балансировку и снятие статической характеристики силовых магнитных усилителей на главных приводах подъема, напора и поворота.

Проверка чередования главных и дополнительных полюсов и правильности соединения последних с обмоткой якоря, а также установка на нейтраль щеток генераторов и двигателей. Проверка чередования главных полюсов у электрических машин производится внешним осмотром. Задаваясь условно каким-либо направлением тока, проверяют направление прохождения его

по обмоткам возбуждения и по правилу буравчика определяют полярность полюсов. За каждым северным полюсом должен следовать южный (см. рис. 10 и 12). Дополнительно у генераторов при этом проверяют правильность маркировки и полярность обеих полуобмоток возбуждения $G_{\text{овн}}$. Одна из них должна размещаться на северных полюсах, а другая — на южных (рис. 10).

Проверка чередования главных и дополнительных полюсов производится при снятых щетках с помощью вспомогательной рамки, сделанной из нескольких витков провода небольшого сечения, на концах которой подключается милливольтметр следующим образом. К параллельной обмотке возбуждения генератора (на выводы $Ш_2$ и $Я_1$) через рубильник P (рис. 10,а) подключается переносная аккумуляторная батарея 6—12 в. При этом зажим аккумулятора «+» подключается к выводу $Я_1$ (начало обмотки). Затем к поверхности главного полюса прикладывается рамка. В моменты включения рубильника P в рамке наводится э. д. с., что вызывает отклонение стрелки прибора в одну сторону, а при выключении P — в другую; удобнее всего учитывать отклонения в моменты включения P . Повторив для уверенности опыт с включением P несколько раз, замечают знак отклонения прибора. Затем рамка с подключенным прибором переносится той же плоскостью на поверхность предыдущего по направлению вращения якоря дополнительного полюса (только у генераторов), а батарея переключается на выводы обмоток дополнительного полюса ($Д_2$ и $О1$), причем плюс ее подключается к выводу $О1$ (начало обмотки). При включении батареи вновь замечают знак отклонения прибора, и если он совпадает со знаком предыдущего опыта, то для данного направления вращения якоря чередование главных и дополнительных полюсов правильно. При подобной проверке у двигателей рамка переносится по ходу вращения.

Проверка правильности соединения обмотки якоря с обмоткой дополнительных полюсов, поток которой $\Phi_{\text{дп}}$ должен быть во время работы машины направлен навстречу потоку реакции якоря $\Phi_{\text{я}}$ (см. рис. 5,д), производится подобно предыдущей проверке, но уже с установленными на свои места щетками. В зазор между дополнительным полюсом и

якорем вставляется рамка, подобная предыдущей, а затем по-прежнему к выводам обмоток якоря ($Я_1$ и 01) и дополнительных полюсов (01 и $Д_2$) поочередно подключается кратковременно батарея (в обоих случаях зажигом «+» к началу обмоток). При противоположных отклонениях милливольтметра следует считать, что соединение обмоток выполнено верно. После этого приступают к проверке установки щеток на нейтраль.

Щетки, исходя из наличия во всех машинах дополнительных полюсов, устанавливаются всегда строго на геометрической нейтрали. Установка щеток на нейтраль проверяется индуктивным методом с помощью милливольтметра и аккумуляторной батареи при неподвижной машине. Милливольтметр подсоединяется к щеткам. Аккумуляторная батарея через рубильник P подключается к параллельной или независимой обмотке возбуждения. Кратковременные включения рубильника P вызывают отклонения стрелки прибора. При этом чем больше смещены щетки с нейтрали, тем больше отклоняется стрелка прибора, что удобнее всего наблюдать в моменты выключения батареи. При кратковременных включениях батареи, перемещая щеточную траверсу (предварительно ослабив крепящие винты), находят такое ее положение, при котором отклонения стрелки милливольтметра (в моменты выключения батареи) минимальны. При положении траверсы точно на нейтрали стрелка перестанет отклоняться.

Если при определении нейтрали стрелка будет отклоняться в моменты выключения батареи в обратную сторону, то это свидетельствует о переходе траверсы через нейтраль.

Правильность положения траверсы рекомендуется проверять при нескольких положениях якоря во избежание случайного результата из-за возможного несимметричного расположения обмотки якоря по отношению к щеткам. При этом во избежание влияния перемещения щеток на показания прибора якорь поворачивают в одном направлении. При симметричном расположении обмотки якоря должны иметь место четкие нулевые показания прибора в положении щеточной траверсы на геометрической нейтрали. В таком положении траверса закрепляется, и после этого производится контрольная проверка.

Пробный пуск преобразовательного агрегата. Перед пуском приводного асинхронного двигателя пакетными выключателями *ВТ* (рис. 21) отключают цепи управления приводами; еще раз убеждаются в отключении перечисленных выше выводов обмоток управления усилителей (*УМС-1*, 4, 5, 6) от ряда зажимов магнитного блока; отключают обмотки возбуждения генераторов и двигателей и один из концов (3 или 4) цепи питания токовых потенциометров от возбудителя *В*; отсоединяют конец 215 от сопротивления *5СДВ*; на всех генераторах вынимают щетки из щеткодержателей; разрывают главные (силовые) цепи машин. На эту последнюю операцию обращается особое внимание. Главную цепь разъединяют в таком месте, чтобы не создать параллельного (обходного) контура для прохождения тока $I_{я}$ по цепям управления. Так, например, если ошибочно разорвать силовую цепь на шунте *Ш* (рис. 21,а), т. е. между точками *А* и *Б*, то при работе генератора ток пойдет через реле *РТМ*. Поэтому рекомендуется разрыв главной цепи осуществлять только на доске зажимов всех двигателей отключением с зажима $Я_1$ конца силового питающего кабеля.

Затем включают силовой трансформатор (рис. 9) и автоматы *1ЗА* и *3А*, чтобы подать напряжение на нулевую катушку *НК* привода масляного выключателя *МВ*. Кратковременным включением привода *МВ* определяют соответствие направления вращения сетевого приводного двигателя стрелке, укрепленной на корпусе одного из генераторов агрегата. Двигатель должен вращаться против часовой стрелки, если смотреть со стороны генератора подъема.

В период пробного пуска агрегата проверяется отключающее действие нулевой катушки *НК* от аварийной кнопки «*Стоп*» агрегата, расположенной на командоконтроллере привода напора.

После пробного пуска двигателя подготавливаются к работе генераторы агрегата. Для этого устанавливают щетки в обоймы строго в прежнем положении (положении притирки), т. е. так, чтобы зеркальная поверхность, составляющая большую часть площади щетки, точно совпадала с поверхностью коллектора. Хорошо притертые щетки должны иметь «зеркало» не менее $\frac{2}{3}$ всей площади щетки. В противном случае их притирают к по-

верхности коллектора машин при вращении генератора на холостом ходу в течение 5—6 ч. Затем прочищают твердым картоном или фиброй дорожки между пластинками коллектора и продувают машину сухим и чистым сжатым воздухом.

Перед пуском агрегата у генератора-возбудителя *В* проверяют правильность соединения его обмоток для данного направления вращения агрегата и подключение регулировочного реостата. На работающем агрегате проверяют величину и полярность напряжения возбудителя. Напряжение его устанавливают с помощью реостата *4СД* равным 115 в, при этом зажим *З* должен иметь положительный потенциал, так как при неправильной полярности ток возбудителя пройдет через германиевые выпрямители *ВГ* (рис. 21) токовых потенциометров и это может вывести вентили из строя. При включении и выключении в дальнейшем различных цепей, питающихся от возбудителя, напряжение его не должно изменяться более чем на 2—6 в. В случае резкого уменьшения напряжения проверяют правильность подключения последовательной обмотки возбуждения *В_{ОВС}*, которая должна быть включена по компаундной схеме, или устраняют короткое замыкание в присоединенных цепях.

Во время вращения агрегата вольтметром проверяют остаточные напряжения на генераторах.

Проверка правильности замыканий контакторов и действия механических тормозов (рис. 21) осуществляется при номинальном напряжении (115 в) на возбудителе *В* посредством включения соответствующей коммутационной аппаратуры: *ВТ*, *КК*, *ПРР*, *ВТГ* и кнопок «Пуск контактора» *Л* и *КОД* (контактор открывания днища). Действия, вызываемые ими, известны из изложенного ранее. Следует лишь отметить, что контактор ослабления поля двигателя подъема *ПП* (узел 7) должен отключаться только при переводе рукоятки *КК* подъема в *IV* положение «Назад» (от себя).

6. НАЛАДКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ХОЛОСТОМ ХОДУ ГЕНЕРАТОРА

Подключение обмоток возбуждения генератора и установление коэффициентов соотношения их н. с. и форсировки. Для наладки привода на холостом ходу генерато-

ра собирают схему, приведенную на рис. 24. Необходимые для проверки реостаты $ПТ_1$ и $ПТ_2$ и измерительные приборы (амперметры A_7, A_3, A_9, A_8 и вольтметр U_r) размещают на столе у панели блоков силовых магнитных усилителей.

Перед запуском агрегата подключаются лишь полуобмотки независимого возбуждения генератора $\Gamma_{ОВН-I}$ и $\Gamma_{ОВН-II}$, все остальные перечисленные ранее цепи остаются по-прежнему отключенными.

Пускают генераторы и с помощью потенциометров $ПТ_1$ и $ПТ_2$ устанавливают ток порядка 100 *ма* в задающей обмотке УМС-2 усилителя привода подъема. При этом фиксируют величину напряжения холостого хода генератора подъема, создаваемую только обмоткой независимого возбуждения $\Gamma_{ОВН}$. Она должна быть порядка 450—480 *в*. Затем, предварительно остановив агрегат, подключают и параллельную обмотку возбуждения $\Gamma_{ОВШ}$ генератора (конец $Ш_2$). При том же токе 100 *ма* в обмотке УМС-2 вновь проверяют по вольтметру U_r величину холостого хода генератора подъема, теперь создаваемую обеими обмотками возбуждения $\Gamma_{ОВН}$ и $\Gamma_{ОВШ}$. Она должна быть выше предыдущего показания (порядка 500—520 *в*) при правильном подключении обмотки $\Gamma_{ОВШ}$. В противном случае выводы обмотки $\Gamma_{ОВШ}$ следует поменять местами.

После этого на остаточном напряжении генератора (достигающем примерно 30 *в*) кратковременным присоединением вывода обмотки управления УМС-6 (ранее отключенного от зажима $6Н1$ или $6Н2$) проверяют правильность подключения узла жесткой обратной связи по напряжению генератора. Если при его подключении напряжение на генераторе уменьшается до 2—5 *в*, значит связь включена правильно. Если же при кратковременном включении обмотки УМС-6 напряжение начинает возрастать (генератор самовозбуждается); то следует изменить полярность обмоток УМС-6 на обоих усилителях. Для этого меняют местами на зажиме выводы каждой обмотки УМС-6 на обоих усилителях $1МУ$ и $2МУ$.

В схемах управления, где в качестве жесткой обратной связи по напряжению генератора используется об-

мотка УМС-5, подключение ее производится аналогично описанному выше.

Аналогично проверяются на приводах напора и поворота (при токе 80 ма в задающей обмотке УМС-2) напряжение холостого хода генератора, создаваемое вначале лишь одной независимой обмоткой возбуждения генератора, а затем обеими обмотками возбуждения (при подключении параллельной обмотки), а также правильность подключения узла обратной связи по напряжению генератора.

Для определения коэффициента форсировки и процентного соотношения участия н. с. обеих обмоток возбуждения генератора в создании напряжения генератора снова в задающую обмотку УМС-2 подается ток и устанавливается по вольтметру U_{Γ} напряжение генератора, соответствующее IV положению КК (см. приложение 2). При этом фиксируются показания амперметров A_7 , A_8 , A_3 и A_9 . Зная величины токов и количество витков обмоток (усилителя и генератора), по которым они проходят, легко определить н. с. (ав) любой обмотки.

Коэффициент форсировки k определяется из соотношения соответствующего этому режиму холостого хода генератора:

$$F_{\text{резIV}} = F_{3\text{IV}} - F_{\text{HIV}} \quad \text{или} \quad a\omega_{\text{резIV}} = a\omega_{3\text{IV}} - a\omega_{\text{HIV}},$$

откуда

$$k_{\text{IV}} = \frac{F_3}{F_{\text{рез}}} = \frac{a\omega_{3\text{IV}}}{a\omega_{3\text{IV}} - a\omega_{\text{HIV}}} = \frac{I_{A7\text{IV}}\omega_{\text{УМС-2}}}{I_{A7\text{IV}}\omega_{\text{УМС-2}} - I_{A8\text{IV}}\omega_{\text{УМС-6}}}.$$

Коэффициент форсировки должен быть порядка 3—5.

Процентное соотношение н. с. определяется по выражению

$$\begin{aligned} \frac{F_{\text{ОВШГIV}}}{F_{\text{ОВШГIV}} + F_{\text{ОВНГIV}}} &= \frac{a\omega_{\text{ОВШГIV}}}{a\omega_{\text{ОВШГIV}} + a\omega_{\text{ОВНГIV}}} = \\ &= \frac{I_{A9\text{IV}}\omega_{\text{ОВШГ}}}{I_{A9\text{IV}}\omega_{\text{ОВШГ}} + I_{A3\text{IV}}\omega_{\text{ОВНГ}}} \end{aligned}$$

и должно составлять для приводов подъема около 25%, напора — 22%, поворота 30—35%. Это соотношение показывает, какая доля общего возбуждения приходится на параллельную обмотку возбуждения генератора.

Требуемые величины коэффициента форсировки и соотношения н. с. достигаются путем соответствующего регулирования сопротивлений $5CD$ в цепи обмотки напряжения УМС-6 усилителя (см. рис. 24) и $2CD$ в цепи обмотки возбуждения Γ_{O3W} . Так, например, уменьшение коэффициента форсировки достигается увеличением сопротивлений $2CD$ или $5CD$; уменьшение соотношения н. с.—увеличением сопротивления $2CD$.

Снятие характеристики холостого хода генератора непосредственно от командоконтроллера и подбор задающего потенциометра производятся после установления коэффициента форсировки и соотношения н. с. При этом испытания потенциометры PT_1 и PT_2 отключаются, а цепи задающих обмоток УМС-2 усилителей восстанавливаются в соответствии со схемой рис. 21. Затем запускается преобразовательный агрегат и включением контактора L и пакетного выключателя BT подается питание на цепи управления. Постепенно переводя рукоятку KK из нулевого до самого крайнего IV положения, ведут постоянное наблюдение за показанием вольтметра U_r , чтобы напряжение нигде не превысило максимального значения, приведенного в приложении 2. В случае превышения напряжения на любом из положений KK дальнейшую перестановку рукоятки KK прекращают и приступают к регулированию напряжения генератора за счет изменения величины сопротивления задающего потенциометра $4CY$ (на участке $eж$). Увеличение сопротивления на этом участке приводит к уменьшению напряжения генератора; уменьшение сопротивления вызывает увеличение напряжения. Подбор таким путем задающего потенциометра производится до момента получения на IV положении KK напряжения генератора, равного заданному (см. приложение 2).

Для получения одинакового по величине напряжения U_r при переводе KK из одного крайнего положения в противоположное другое следует добиться примерно равного деления сопротивления $3CY$ на две части. Промежуточные скорости I, II, III получаются за счет заводской разбивки потенциометра $4CY$ на участки и должны составлять соответственно 25%, 45%, 70% от U_{IV} . Окончив подбор задающего потенциометра, приступают к снятию характеристики холостого хода генератора от

командоконтроллера путем постепенного перевода его рукоятки от нулевого до IV положения. При этом на всех ступенях скоростей фиксируют показания амперметров A_7 , A_8 , A_3 и A_9 и вольтметра U_r . Их показания должны примерно соответствовать данным, приведенным в приложении 2. Снятие характеристики холостого хода генератора производится для всех положений КК «Вперед» и «Назад».

Подключение обратной гибкой связи по напряжению генератора. Правильность подключения и действие гибкой обратной связи по напряжению генератора (обмотки УМС-5 усилителя) определяется при ее включении на холостой ход генератора по показаниям вольтметра U_r . Однако до этого предварительно балансируется динамический мост (узел 3 рис. 21) изменением величины сопротивления только в одном его плече, — в том, где включено сопротивление 1СД. Сопротивление 1СД регулируют до тех пор, пока показание вольтметра, включенного в диагональ моста вместо обмотки УМС-5 усилителя, не станет близким, но не равным нулю. Этот незначительный небаланс моста необходим для выявления намагничивающего или размагничивающего действия обмотки УМС-5 в момент ее включения к зажиму 5Н1 блока усилителей. Если при этом процесс изменения напряжения генератора происходит без колебаний, то полярность обмотки УМС-5 правильна. При качаниях (колебаниях) напряжения генератора следует выводы обмоток УМС-5 на каждом усилителе поменять местами. Операция по подключению обмотки УМС-5 производится на I положении КК.

Степень действия стабилизирующей обмотки УМС-5 проверяется при резких перемещениях рукоятки КК из одного положения в другое с одновременным наблюдением за ходом (скоростью) перемещения стрелки вольтметра U_r : при сильной стабилизации стрелка медленно движется к значению напряжения, соответствующего этому положению рукоятки КК.

Естественно, что в новой схеме (см. рис. 21,а), где нет динамического моста, нет необходимости в подобном подключении обратной гибкой связи, и поэтому наладка значительно упрощается. В новой схеме обмотка жесткой обратной связи УМС-5 одновременно выполняет

роль гибкой обратной связи, а подключение ее производится так, как описано выше подключение обмотки жесткой обратной связи УМС-6.

Определение полярности выхода генератора в зависимости от положения рукоятки командоконтроллера производится во время снятия характеристики холостого хода генератора для каждого привода в отдельности. Знание полярности на зажимах необходимо в дальнейшем при подключении токоограничивающей обмотки УМС-1 в схему, так как вывод ее 1Н1 остается все еще отключенным от зажима блока усилителей. Полярность определяется при переводе в I положение КК (например, подъем ковша), и в это время наблюдают за показанием вольтметра. В этом положении КК отмечают полярность якоря генератора и в протокол испытаний записывают: подъем «На себя», + (плюс) генератора на зажиме ..., — (минус) на зажиме ... Таким же образом проверяют полярность генератора при другом положении КК, а также у всех других приводов. Следует знать, что на всех экскаваторах принят общий порядок расположения КК и управления ими (см. рис. 2). Положение рукояток КК настраивают так, чтобы правый командоконтроллер (14) управлял двигателем подъема, левый (13) — двигателем напора, а ножной (15) — двигателями поворота или хода в зависимости от положения ключа ПРР.

Для подъема ковша рукоятка КК должна перемещаться «на себя» («Вперед») и «от себя» («Назад») для опускания ковша. Для выдвижения рукояти ковша к забою рукоятку КК напора перемещают «от себя» («Вперед») и «на себя» («Назад») для возврата рукоятки. Поворотная часть экскаватора должна вращаться вправо («Вперед») при нажатии правой педали и влево («Назад») при перемещении левой педали.

Подключение узла токовой отсечки. Определение полярности и подключение токоограничивающей обмотки УМС-1 усилителя производится в следующем порядке:

1. В соответствии с полярностью на зажимах генератора, т. е. в точках А и В (рис. 8, 21, 25), определяют полярность точки В относительно точки А, которую точка В имела бы при замкнутой главной цепи. Допустим, при положении КК «Вперед» точка А имеет положительную полярность, а точка В отрицательную (см.

рис. 8). Следовательно, ток при замкнутой главной цепи проходил бы от точки *A* с более высоким потенциалом к точке *B* с меньшим потенциалом. Поэтому в точке *B*, расположенной между ними, потенциал ниже, чем в точке *A*, и ток по узлу отсечки при его действии проходил бы в направлении, указанном на рис. 8 штриховыми линиями.

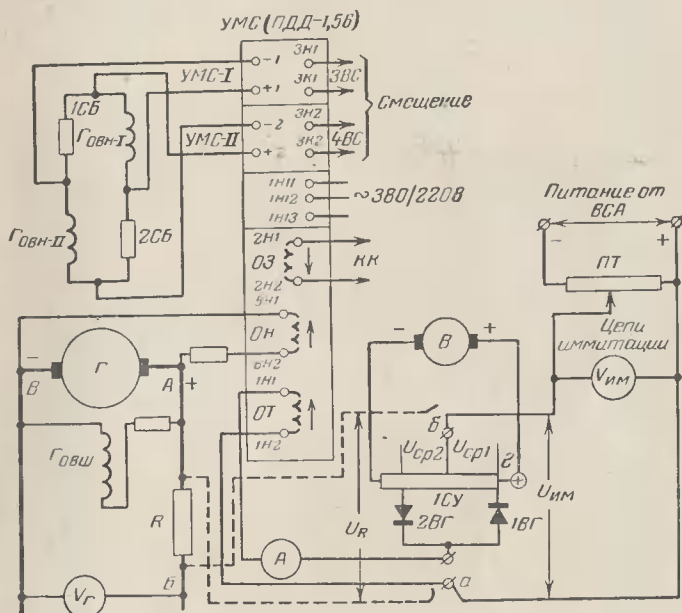


Рис. 25. Снятие статической внешней характеристики электропривода Г—Д.

2. Исходя из этого условного направления тока в узле токовой отсечки и полярности точек *A* и *B* (для определенного положения *КК*), подключают к точкам *a* и *б* узла отсечки (рис. 25 и 8) через потенциометр *ПТ* посторонний источник тока (*ВСА*), электрически не связанный с цепью возбудителя *B* и таким образом, чтобы создаваемый им (*ВСА*) ток по обмотке *ОТ* (*УМС-I*) проходил в прежнем условном направлении. Поэтому положительный полюс постороннего источника подключают к точке *a*, отрицательный — к точке *б*. Все провода, ранее подключенные к точкам *a* и *б*, отключают.

3. Восстанавливают (подключением конца 3 или 4, см. рис. 21) цепь питания токовых потенциометров от возбудителя B и устанавливают на каждом потенциометре $1CУ$ соответствующие запирающие потенциалы $U_{ср1}$ и $U_{ср2}$ (одинаковые по величине на каждом плече) и равные величинам $\Delta U_{зап.}$, приведенным ниже.

Устанавливают запирающий потенциал привода подъема порядка 14—16 в; привода напора — 12,5—16 в; привода поворота — 10,8—11,8 в и привода хода порядка 6,5—8 в.

4. Командоконтроллер переводят в положение I «Вперед».

5. На зажимах токового узла ab постепенно увеличивают напряжение от ВСА ($U_{им}$), имитирующее падение напряжения U_R в главной цепи на сопротивлении R . После того как оно станет больше запирающего потенциала $U_{ср}$ плеча $bг$ потенциометра $1CУ$, ток пойдет по обмотке $УМС-1$ (OT), вызывая уменьшение напряжения холостого хода генератора, если обмотка $УМС-1$ подключена правильно. В противном случае полярность обмоток $УМС-1$ на усилителях необходимо изменить на обратную.

6. Аналогично проверяют правильность подключения обмотки $УМС-1$ и для другого положения KK «Назад». При этом в связи с изменением полярности генератора следует обязательно изменить и полярность источника питания ВСА на зажимах ab токового узла. В этом случае ток будет проходить по выпрямителю $2ВГ$ токового узла.

Подбор запирающего потенциала и снятие статической внешней характеристики электропривода. После подключения токоограничивающей обмотки OT ($УМС-1$) приступают к снятию статической внешней характеристики электропривода. Как видно из рис. 22, в, для ее графического построения необходимо знать несколько значений напряжения генератора и соответствующие им значения тока в главной цепи.

Точку a характеристики легко определить, так как она соответствует режиму холостого хода генератора.

Точку c характеристики определить несколько сложнее, так как она соответствует стопорному режиму и, главное, величина тока здесь зависит от величины уста-

новленного запирающего потенциала $\Delta U_{\text{зап}}$ на токовом потенциометре. Тогда с целью определения действительного значения стопорного тока $I_{\text{ст}}$ в главной цепи при установленных согласно приведенных выше значениях запирающего потенциала $\Delta U_{\text{зап}}$ создается искусственно стопорный режим привода. Для этого следует остановить преобразовательный агрегат; собрать (замкнуть) главную цепь путем подключения силового кабеля к зажиму $Я_1$ двигателя; выпустить («стравить») весь воздух из пневматической системы, чтобы двигатель не растормаживался при включениях пакетного выключателя $ВТ$; оставить отключенными обмотки возбуждения двигателей и подключить токовый узел снова в схему управления (рис. 21), отключив его от ВСА.

Если в этом случае перевести рукоятку $КК$ из нулевого в рабочее положение, двигатель будет оставаться заторможенным, а напряжение на его зажимах и ток в якоре будут расти (такое его состояние будет являться режимом стопорения или короткого замыкания). Поэтому, наблюдая на пульте машиниста за показаниями амперметра, который включен в главную цепь, осторожно и в то же время быстро, чтобы не сжечь двигатель, переводят рукоятку $КК$ в IV положение и запоминают величину действительного значения стопорного тока для этого положения $КК$, а затем рукоятку снова возвращают в нулевое положение. Полученное таким путем действительное значение стопорного тока сравнивают с допустимым $I_{\text{ст IV}}$, приведенным в таблице § 7 для положения IV $КК$. В случае их расхождения в ту или иную сторону (предположим, что действительный ток больше допустимого $I_{\text{ст IV}}$) следует уменьшить величину ранее установленного запирающего потенциала, уменьшая величину сопротивления плеч $вб$ и $бг$ потенциометра $1СУ$. Потом снова следует перевести $КК$ в IV положение и зафиксировать новую величину действительного значения стопорного тока.

Действуя таким методом, можно подобрать такую величину запирающего потенциала $\Delta U_{\text{зап}}$ на токовом потенциометре, когда действительное значение тока $I_{\text{ст}}$ будет точно соответствовать допустимому $I_{\text{ст IV}}$. При этих опытах следует руководствоваться следующим: во-первых, измерения $I_{\text{ст}}$ производить быстро, не более 8 сек, чтобы не повредить коллекторы машин и не пере-

гревать якоря; во-вторых, при определении действительного значения тока $I_{ст}$ на «холодной машине» (когда температура их обмоток $t=15-20^{\circ}\text{C}$) считается нормальным его превышение на 15—20% по отношению к допустимому, приведенному в таблице.

Подобрав таким образом требуемый запирающий потенциал $\Delta U_{зап.}$, снимают полную статическую внешнюю характеристику привода уже при разомкнутой главной цепи, чтобы не перегревать больше якорей машин. Характеристику снимают по схеме рис. 25 для положения $IV\ K\ K$ на холостом ходу генератора, как объяснено выше, при описании техники определения правильности подключения токового узла. Напряжение, подаваемое от ВСА (рис. 25) на зажимы ab токового узла, постепенно увеличивают и одновременно наблюдают за показаниями амперметра A в цепи обмотки OT (УМС-1) и вольтметра U_r на выходе генератора. Пока отсутствует ток в цепи обмотки OT (показание амперметра равно нулю), напряжение генератора наибольшее и равно $U_{г.х.х.}$. Это соответствует точке a характеристики и означает, что токовая отсечка еще не работает, т. е. $U_{им} < U_{ср1}$. Как только станет $U_{им} > U_{ср1}$, по цепи имитации, а следовательно, и по обмотке OT пойдет ток, что вызовет уменьшение напряжения генератора. Этот момент будет соответствовать точке b характеристики. Так, постепенно увеличивая напряжение $U_{им}$ на зажимах ab токового узла, а следовательно, и величину тока в обмотке OT , добиваются полного размагничивания усилителя и генератора ($U_r=0$) и фиксируют по вольтметру $U_{им}$ соответствующую этому моменту величину напряжения, которую обозначают $U_{им1}$. Этот момент, когда напряжение U_r становится равным нулю, является полной имитацией стопорного режима и соответствует точке c характеристики, так как в действительности такое полное размагничивание усилителя и генератора обмоткой OT происходит только при прохождении стопорного тока по сопротивлению R . Величина падения напряжения на нем (U_R) в этом случае равна величине напряжения $U_{им1}$, а величина н. с. обмотки OT становится равной величине н. с. задающей обмотки, отчего напряжение генератора уменьшается до нуля. Зная величину напряжения $U_{им1}$ и ранее опреде-

ленную величину действительного значения стопорного тока для IV положения КК, вычисляют действительную величину сопротивления в главной цепи R :

$$R = \frac{U_{\text{им1}}}{I_{\text{ст}}} = \frac{U_R}{I_{\text{стIV}}}.$$

Эта величина может значительно отличаться от расчетной $R = 1,2R_{\text{хол}}$, приведенной в разделе выбора уставки реле, в силу ряда причин (различных переходных сопротивлений в контактах и отличия величин омических сопротивлений самих обмоток ДПГ и ДПД от паспортных и т. д.). Определив действительную величину R , начинают уменьшать с помощью потенциометра ПТ величину напряжения $U_{\text{им}}$ до нуля, одновременно измеряя как напряжение на зажимах ab токового узла (по вольтметру $U_{\text{им}}$), так и напряжение генератора (по вольтметру $U_{\text{г}}$). Выполняют 8—10 таких измерений и по ним строят полную внешнюю характеристику. Промежуточные значения тока в главной цепи, необходимые для построения внешней характеристики, для любого значения напряжения генератора определяют из выражения

$$I'_{\text{ст}} = \frac{U'_{\text{им}}}{R},$$

где $I'_{\text{ст}}$ и $U'_{\text{им}}$ — соответственно расчетный ток главной цепи и величина напряжения цепи имитации при данном измеренном значении напряжения генератора;

R — действительная величина сопротивления главной цепи.

Аналогично снимают характеристику и для другой полярности генератора («Назад»). При этом следует изменить полярность питающего (от ВСА) напряжения на зажимах ab токового узла. Также снимают внешние характеристики и для всех остальных положений КК — I, II, III.

Статическая характеристика привода, построенная по результатам измерений для IV положения КК, имеет вид кривой abc на рис. 22, в.

Отношение площади, ограниченной кривой *abc*, к площади, представляющей произведение максимальной скорости на максимальный момент (кривой *adc* рис. 3), называется коэффициентом заполнения. Этот коэффициент составляет обычно 0,8—0,9.

7. НАЛАДКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЗАМКНУТОЙ ГЛАВНОЙ ЦЕПИ

Измерение стопорных токов от командоконтроллера производят при замкнутой главной цепи так, как это уже описывалось выше для каждого положения *КК*. До производства измерения на приводе поворота-хода следует подключить конец 215 узла гашения остаточного магнетизма (рис. 21,б).

При нескольких измерениях якорь двигателя следует поворачивать, чтобы не нагревались одни и те же пластины коллектора. Стопорные токи для холодных машин устанавливают на 15—20% больше расчетных, но не выше допустимых по паспорту кратковременных перегрузок по току якоря двигателя. Расчетные (допустимые) величины стопорных токов главных приводов по степеням *КК* приведены в таблице.

Положе- ние коман- докон- троллера	Стопорные токи привода, а			
	Подъем	Напор	Поворот	Ход
<i>I</i>	950	305	250	360
<i>II</i>	1 050	310	260	375
<i>III</i>	1 150	320	290	385
<i>IV</i>	1 200	320—330	290—300	400

Примечание. Стопорные токи даны для машин в горячем состоянии.

В случае аварийного увеличения тока в главной цепи во время измерения стопорных токов следует немедленно выключить контактор питания *Л* и преобразовательный агрегат.

Пробный пуск двигателя и проверка цепи его возбуждения. Наладка узла возбуждения двигателя заключается в согласовании направления вращения двигателя с на-

правлением движения механизма и положением рукоятки *КК*. Для этого подключают обмотку возбуждения двигателя и растормаживают машину. Затем рукоятку *КК* переводят в положение *I*, фиксируют направление и соответствие вращения двигателя рабочему механизму и положению рукоятки *КК*. В случае необходимости изменение направления вращения двигателя достигают, изменяя направление тока в обмотке возбуждения. Одновременно измеряют и регулируют токи возбуждения в обмотках двигателей. Токи возбуждения каждого холодного двигателя должны быть на 15—20% выше номинального и составляют для привода подъема при номинальном потоке 25 *a*, тяги 13,5 *a*, поворота 12—13 *a* и хода 15—20 *a*.

Подключение токовой обмотки *УМС-4* узла стабилизации по току главной цепи (узел 6, рис. 21). Обмотку *УМС-4* усилителя подключают во время измерения стопорных токов. При неправильном включении обмотки стрелка амперметра на пульте машиниста сильно колеблется, особенно в нулевом положении *КК*. Эти колебания исчезают лишь при отключении обмотки *УМС-4*. Затем следует вновь включить обмотку, но прежде изменив ее полярность на каждом из усилителей. Степень действия стабилизирующей обмотки определяется по результатам сравнения темпа нарастания тока в главной цепи. Для этого вначале без включенной обмотки *УМС-4* замечают быстроту нарастания и спадания тока по амперметру на пульте машиниста при резких переводах *КК* из положения *0* в *IV*. Затем подключают обмотку стабилизации *УМС-4* и снова проверяют (уже сравнивают) темп нарастания и спадания тока. Чем сильнее действие обмотки *УМС-4*, тем медленнее нарастает ток в главной цепи.

Назначение и обмоточные данные трехфазного

Назначение обмотки усилителя	Обозначение обмотки по схеме	
	рис. 8	рис. 21 и 24
Задержанная жесткая отрицательная обратная связь по току главной цепи (токовая отсечка) — токоограничивающая обмотка	<i>ОТ</i>	<i>УМС-1</i>
Задающая обмотка	<i>ОЗ</i>	<i>УМС-2</i>
Обмотка смещения	Обмотка смещения	<i>УМС-3</i>
Гибкая отрицательная обратная связь по току главной цепи — стабилизирующая токовая обмотка	<i>ОСТ</i>	<i>УМС-4</i>
Гибкая отрицательная обратная связь по напряжению генератора — стабилизирующая обмотка напряжения ¹	<i>ОСН</i>	<i>УМС-5</i>
Непрерывная жесткая отрицательная обратная связь по напряжению генератора — дифференциальная обмотка ²	<i>ОН</i>	<i>УМС-6</i>
Рабочие обмотки переменного тока	ω_p	ω_{p1}, ω_{p2}

¹ В последних выпусках экскаватора ЭКГ-4,6 обмотка *УМС-5* выполняет две генератора.

² В указанных п. 1 экскаваторах обмотка *УМС-6* остается свободной.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Напряжение генератора и токи в обмотках управления силового магнитного усилителя и возбуждения генератора при холостом ходе генератора (данные наладки)

Положение командокон-троллера	Ток в обмотках				Напряжение генератора, в (U_r)
	m_a		a		
	задающей УМС-2 (показание амперметра A_7 , рис. 24)	дифференциальной УМС-6 (A_8)	независимой ГОВШ (A_9)	параллельной ГОВШ (A_9)	
Привод подъема					
I	100	44	2,4	1,25	180
II	210	88	5,0	2,45	340
III	290	113	8,6	3,15	460
IV	480	130	14,2	3,5	520

силового магнитного усилителя (блока) типа ПДД-1,5В

Маркировка выводов обмоток каждого усилителя	Обмоточные данные одного усилителя (1МУ или 2МУ)			Длительно допустимая нагрузка, а
	Число витков	Сопротивле- ние обмотки при 20° С, ом	Марка и диаметр провода, мм	
1Н1—1К1	60	0,224	ПЭЛБО Ø 1,74	5,2
1Н2—1К2				
2Н1—2К1	280	11,3	ПЭВ-2 Ø 0,57	0,6
2Н2—2К2				
3Н1—3К1	140	17,5	ПЭВ-2 Ø 0,33	0,2
3Н2—3К2				
4Н1—4К1	315	11,1	ПЭВ-2 Ø 0,57	0,6
4Н2—4К2				
5Н1—5К1	315	12,3	ПЭВ-2 Ø 0,57	0,6
5Н2—5К2				
6Н1—6К1	560	69	ПЭВ-2 Ø 0,33	0,2
6Н2—6К2				
A ₁ —X ₁ ; B ₁ —Y ₁ ; C ₁ —Z ₁ ; A ₂ —X ₂ ; B ₂ —Y ₂ ; C ₂ —Z ₂	2×95	2×0,55	ПБД-1,25×3,28	8,9

функции: жесткой и гибкой отрицательных обратных связей по напряжению

Продолжение приложения 2

Положение командно- троллера	Ток в обмотках				Напряжение генератора, в (U _Г)
	ma		a		
	задающей УМС-2 (показания ампер- метра A ₇ , рис. 24)	дифференци- альной УМС-6 (A ₈)	независи- мой ГОВШ (A ₉)	параллельной ГОВШ (A ₉)	
Привод напора					
I	40	20	0,7	0,3	80
II	120	52	2,2	0,8	165
III	215	92	4,5	1,35	290
IV	385	132	11,4	1,9	400
Привод поворота					
I	90	40	1,0	0,6	120
II	155	72	1,8	1,1	190
III	330	144	4,0	2,15	360
IV	460	186	11,2	2,7	470

Технические данные машин постоянного тока пятимашинного агрегата

Данные машин	Генератор подъема типа ПЭМ-2000	Генератор поворота и хода типа ПЭМ-1000	Генератор напора типа ПЭМ-400	Возбудитель типа МП-542-1/2
Общие				
Номинальная мощность, <i>квт</i>	192	80	42	12
Скорость вращения, <i>об/мин</i>	1 480	1 480	1 480	1 480
Номинальное напряжение, <i>в</i>	451	383	375	115
Номинальный ток, <i>а</i>	425	209	112	104,5
Ток независимой обмотки возбуждения, <i>а</i>	12,8	9,3	10	—
Ток обмотки самовозбуждения при холостом ходе, <i>а</i> . . .	4,14	2,28	2	3,7
Число полюсов	4	4	4	4
Обмотка независимого возбуждения				
Число витков в катушке . . .	300	330	287	—
Сопротивление всей обмотки, (холодной), <i>ом</i>	1,5	1,72	1,73	—
Обмотка самовозбуждения (параллельная)				
Число витков в катушке . . .	400	600	510	590
Сопротивление всей обмотки (холодной), <i>ом</i>	17,8	32	30	18,8
Последовательная обмотка				
Число витков в катушке . . .	—	—	—	5
Сопротивление всей обмотки (холодной), <i>ом</i>	—	—	—	0,00432
Обмотка вспомогательных (дополнительных) полюсов				
Число витков в катушке . . .	14	36	33	25
Сопротивление обмотки (холодной) при 15° С, <i>ом</i> . . .	0,0044	0,00755	0,01848	0,0164
Щетки марки ЭГ-4				
Размер, <i>мм</i>	25×32	20×32	20×32	15×25
Количество щеток на бракет	5	3	2	2

ЛИТЕРАТУРА

1. Крайцберг М. И., Электроприводы строительных машин и механизмов, Госэнергоиздат, 1958.
2. Рудоискатель В. В. и др., Экскаваторы ЭКГ-4 и СЭ-3. Машгиз, 1960.
3. Стефанович Т. Х., Магнитные усилители для автоматизации промышленных установок, Госэнергоиздат, 1961.
4. Тун А. Я. и Иванов А. О., Наладка электрических аппаратов и машин в схемах электропривода, Госэнергоиздат, 1958.
5. Бариев Н. В., Схемы управления электроприводами мощных экскаваторов и их наладка, Госэнергоиздат, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Электропривод экскаваторов	3
2. Электропривод экскаватора типа ЭКГ-4,6 с силовым магнитным управлением	20
3. Технические данные основного электрооборудования и элементов схемы управления экскаватором типа ЭКГ-4,6	26
4. Назначение отдельных узлов в схеме управления главными электроприводами с силовыми магнитными усилителями . .	58
5. Подготовка к наладке электропривода	78
6. Наладка электропривода на холостом-ходу генератора . . .	89
7. Наладка электропривода при замкнутой главной цепи . . .	100
Приложения	102
Литература	3-я стр. обл.

Цена 21 коп.