Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLV, вып. 1, 1961 г.

К ВЫБОРУ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЕМ ГЕНЕРАТОРОВ ЭКСКАВАТОРА ЭКГ-8 С МАГНИТНЫМИ УСИЛИТЕЛЯМИ

Р. П. Чичиванов, А. В. Фадеев

Главные приводы экскаватора ЭКГ-8 выполнены по системе Г-Д и имеют схему управления, построенную на базе электромашинного и магнитного усилителей (схема с каскадом ЭМУ—ПМУ). Эта схема, как показали испытания, имеет ряд недостатков [1].

В настоящее время в связи с переходом на серийное производство экскаваторов ЭКГ-8 возникла необходимость в разработке более простых и совершенных схем автоматического управления. Перспективными в этом отношении являются схемы управления электроприводами экскаватора, построенные на базе магнитных усилителей (МУ). При разработке таких схем весьма важно правильное построение схемы возбуждения генератора, так как это в значительной степени определяет структуру и параметры схемы управления в целом и в конечном счете свойства привода.

Из возможных вариантов трехфазных реверсивных схем с МУ для управления полем возбуждения генератора интерес представляют две шестиэлементные схемы: *I* — с общими выпрямителями нагрузки и самонасыщения (рис. 1, *I*), в которой рабочие обмотки МУ включены в плечи выпрямительного моста нагрузки; *II* — с отдельным выпрямительным мостом нагрузки (рис. 1, *II*), в которой рабочие обмотки МУ и выпрямители самонасыщения включены в фазы питающей сети.

Схема *I* применена в электроприводе экскаватора ЭВГ-6 № 1 Уралмашзавода, введенном в 1958 г. ЦКБ «Электропривод» НИИЭП в опытную эксплуатацию [2].

Однако сравнительные испытания и исследования обеих схем, проведенные в лаборатории автоматики и телемеханики в горном деле Ленинградского горного института и на испытательном стенде завода «Электросила», показали, что применительно к экскаваторному приводу лучшими свойствами обладает трехфазная схема с отдельным выпрямительным мостом нагрузки. Основными преимуществами схемы *II* перед схемой *I* при работе на активно-индуктивную нагрузку являются: 1) значительно бо́льшие коэффициенты усиления по току, напряжению и мощности в статических режимах; 2) значительно большее естественное быстродействие схемы в переходных режимах.

Исследование указанных схем производилось на реальных машинах привода экскаватора ЭКГ-8. В качестве нагрузки использовалась обмотка

возбуждения генератора поворота, включенная по мостовой схеме. Трехфазные схемы были собраны на однофазных магнитных усилителях типа МУ-2. Напряжение питания переменного тока 220 *в*. Напряжение питания цепей управления 110 *в*.

Коэффициенты усиления схем определялись по экспериментально снятым статическим характеристикам «вход—выход» (рис. 2, *а*). Значение коэффициентов усиления по току

$$K_т = \frac{\Delta I_{вг}}{\Delta I_у},$$

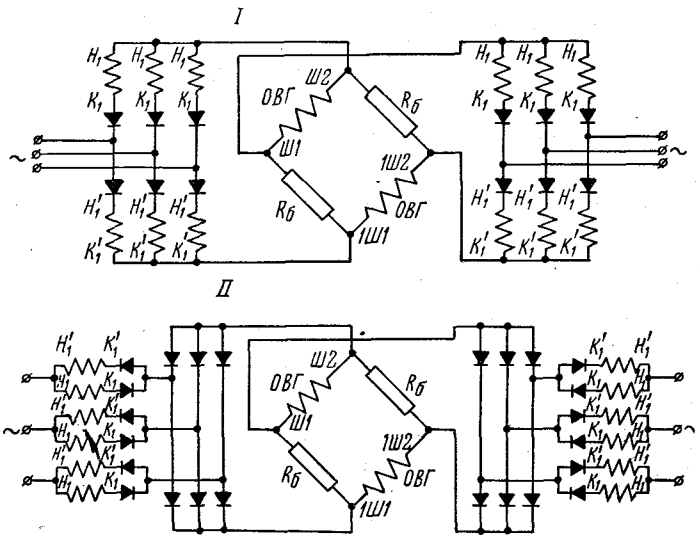


Рис. 1. Трехфазная реверсивная схема управления возбуждением генератора с общими (*I*) и отдельными (*II*) выпрямителями нагрузки и самонасыщения МУ

определенные для прямолинейных участков характеристик «вход—выход», и значения коэффициентов усиления по напряжению

$$K_н = \frac{\Delta U_{вг}}{\Delta U_у} = \frac{R_{вг}}{R_у} K_т$$

и по мощности

$$K_м = \frac{\Delta P_{вг}}{\Delta P_у} = K_т K_н,$$

определенные пересчетом, сведены в таблицу. Бо́льшие значения коэффициентов усиления в схеме с отдельным выпрямительным мостом нагрузки обусловлены следующими факторами.

1. Меньшими обратными токами вентилей самонасыщения, размагничивающими МУ. Величина этих токов определяется падением напряжения на рабочих обмотках МУ и вентилях самонасыщения проводящего направления. В схеме с общими выпрямителями нагрузки и самонасыщения обратные токи вентилей определяются полным линейным напряжением сети и их размагничивающее действие значительно больше.

2. Меньшим действием дополнительного тока $I_ш$ обусловленного разбалансом напряжений активно-индуктивного моста нагрузки.

Разбаланс напряжений в статических режимах объясняется действием высших гармонических составляющих в кривой выпрямленного

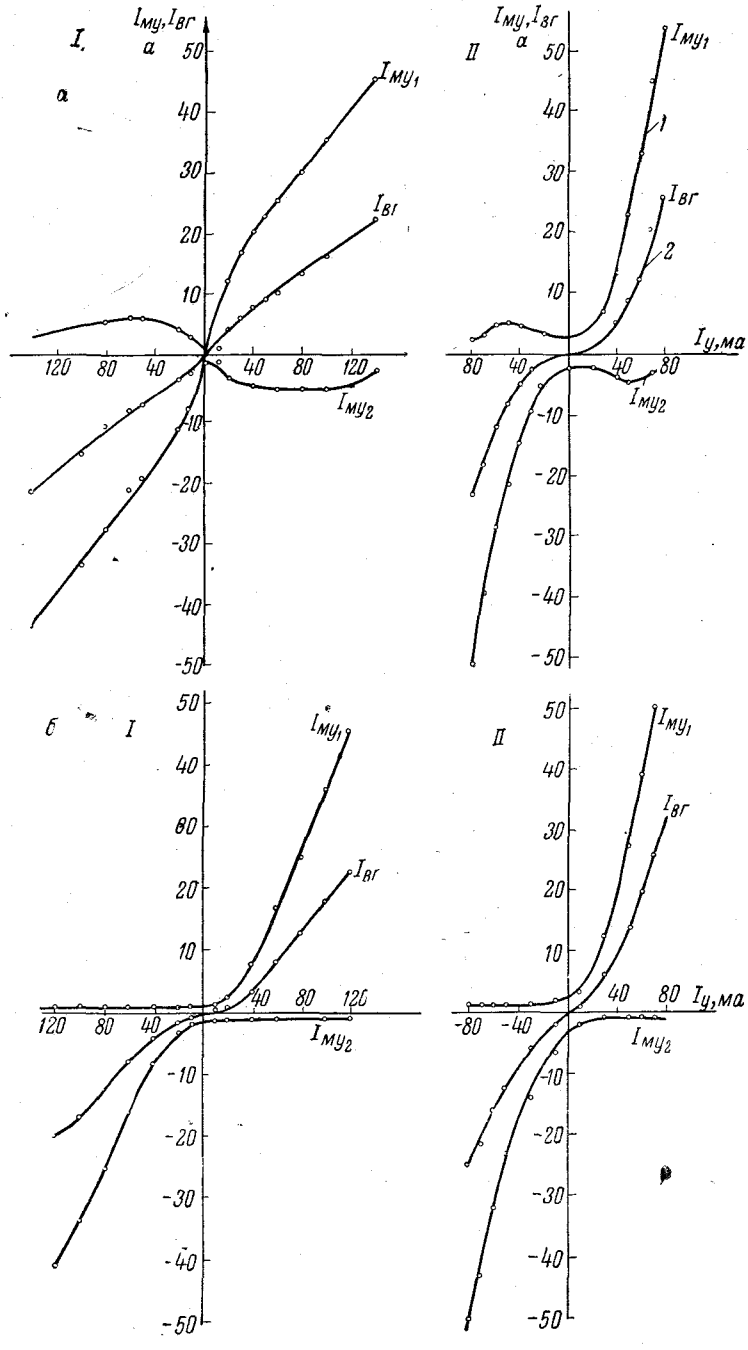


Рис. 2. Характеристики «вход—выход» $I_{вг} = f(I_у)$ схем *I* и *II* при работе:

а — на активно-индуктивный мост нагрузки; *б* — на активный мост нагрузки

тока, которые обусловливают появление дополнительного переменного напряжения на индуктивных плечах моста и, как следствие, разность потенциалов между точками второй диагонали моста. Дополнительный ток, проходя через балластные сопротивления и выпрямители второй половины схемы, уменьшает ток возбуждения генератора и искажает характеристику «вход—выход».

Таблица

Коэффициенты усиления трехфазных схем управления полем возбуждения генератора

Схема	Работа на нагрузочный мост					
	активно-индуктивный (рис. 2, *а*)			активный (рис. 2, *б*)		
	$K_т = \frac{\Delta I_{вг}}{\Delta I_у}$	$K_н = \frac{\Delta U_{вг}}{\Delta U_у}$	$K_м = \frac{\Delta P_{вг}}{\Delta P_у}$	$K_т = \frac{\Delta I_{вг}}{\Delta I_у}$	$K_н = \frac{\Delta U_{вг}}{\Delta U_у}$	$K_м = \frac{\Delta P_{вг}}{\Delta P_у}$
I	160	27,5	$4{,}4 \cdot 10^3$	230	40	$9{,}2 \cdot 10^3$
II	480	76	$39{,}8 \cdot 10^3$	500	80	$43 \cdot 10^3$

В подтверждение этому на рис. 2, *б* приведены характеристики «вход—выход» при работе схем на уравновешенный активный мост. Влияние разбаланса активно-индуктивного моста и дополнительного тока $I_ш$ в схеме *I* значительно больше, так как этот ток, протекая по рабочим обмоткам МУ второй половины схемы, подмагничивает сердечники МУ. В результате нерабочая половина схемы потребляет из сети ток, что ведет к дальнейшему уменьшению возбуждения генератора.

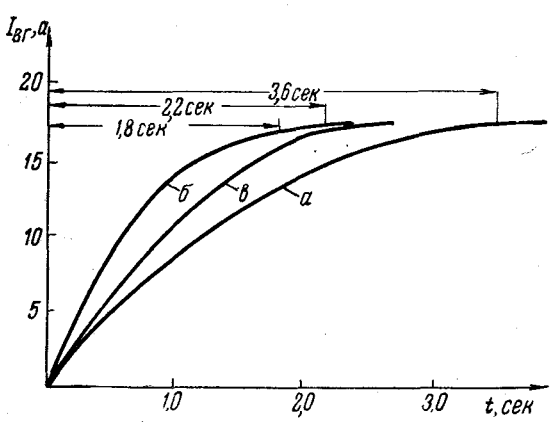


Рис. 3. Кривые нарастания тока возбуждения генератора $I_{вг} = f(t)$ при включении обмотки на постоянное напряжение:

а — при последовательном соединении половин обмоток; *б* — при мостовом соединении половин обмоток; *в* — при мостовом соединении половин обмоток и подключении шунтирующей группы вентилей

Переходя к рассмотрению переходных процессов в схемах *I* и *II*, следует отметить, что обмотки возбуждения главных генераторов экскаватора обладают малым омическим сопротивлением и значительной индуктивностью и могут рассматриваться как индуктивная нагрузка.

Для определения постоянных времени обмотки возбуждения генератора и возможности сопоставления длительности переходных процессов в различных вариантах трехфазной схемы на рис. 3 приведены кривые нарастания тока в обмотке возбуждения при включении на постоянное напряжение 65 *в* для последовательного (кривая *а*) и мостового соединения (кривая *б*) половин обмотки. Длительность переходного процесса составляет соответственно 3,6 и 1,8 *сек;* электромагнитная постоянная времени $T_{вг} = 1{,}2$ *сек* и $T_{вм} = 0{,}6$ *сек*. При подсоединении к мосту шунтирующей группы вентилей переходный процесс несколько затягивается за счет действия шунтирующего тока (кривая *в*).

Электромагнитные постоянные времени трехфазной схемы с МУ и цепи управления, определенные при включении схемы на активный мост нагрузки, составляют $T_{му} = 0{,}07$ *сек* и $T_{у} = 0{,}5$ *сек*.

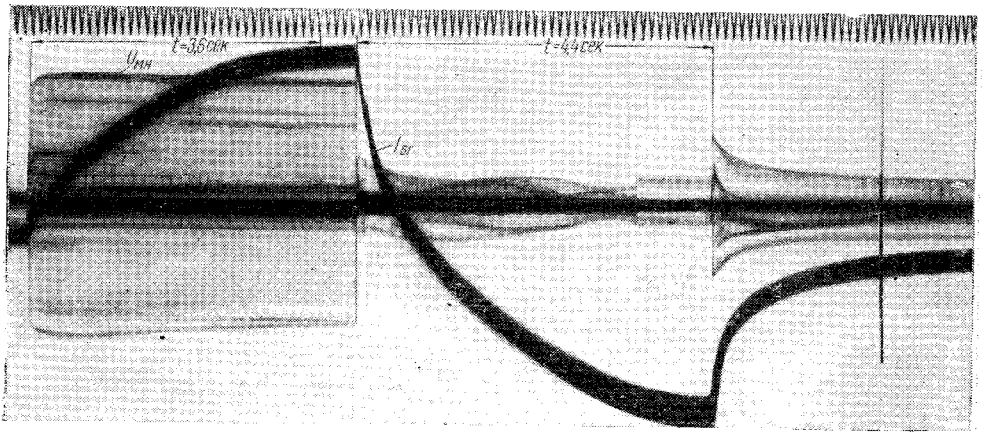


Рис. 4. Осциллограмма изменения тока возбуждения генератора $I_{вг}$ и напряжения на нагрузке $U_{мн}$ при пуске, реверсе и отключении схемы *I*

Осциллограммы изменения тока возбуждения генератора в режимах пуска, реверса и отключения схем *I* и *II* представлены на рис. 4, 5.

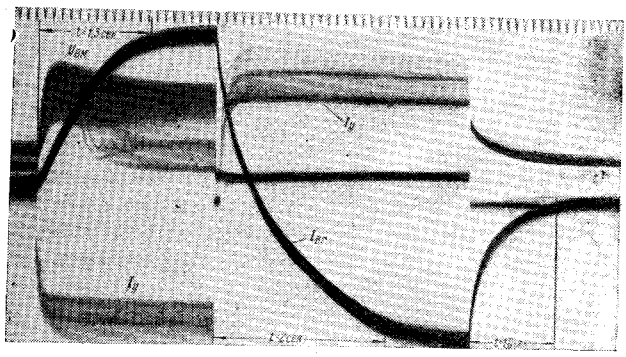


Рис. 5. Осциллограммы изменения тока возбуждения генератора $I_{вг}$, тока управления $I_{у}$ и напряжения на входе выпрямительного моста нагрузки $U_{вм}$ при пуске реверсе и отключении схемы *II*

Длительность переходного процесса в этих режимах для рассматриваемых схем составляет (секунд):

	Пуск	Реверс	Отключение
Схема I	3,6	4,4	3,6
Схема II	1,3	2,0	1,0

Большее быстродействие схемы *II* объясняется резко выраженным эффектом автофорсировки напряжения возбуждения генератора и мень-

шим действием шунтирующего тока, вызванного разбалансом активно-индуктивного моста нагрузки в переходных режимах.

Эффект автофорсировки является следствием динамического перераспределения напряжения на элементах силовой части схемы при воздействии на цепи управления МУ.

На осциллограмме (см. рис. 5), кроме тока возбуждения $I_{вг}$, записаны ток управления $I_у$ и напряжение на входе выпрямительного моста нагрузки $U_{вм}$. Как показывают эти кривые, при включении сигнала управления напряжение на обмотке возбуждения быстро увеличивается до величины, значительно большей установившегося значения, а затем по мере нарастания тока возбуждения уменьшается. Увеличение напряжения на обмотке возбуждения в первый момент вызвано уменьшением

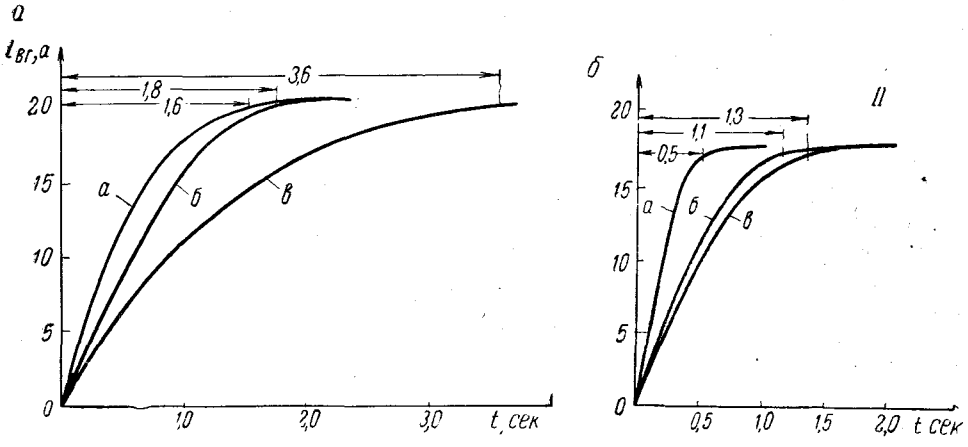


Рис. 6. Кривые нарастания тока возбуждения генератора $I_{вг} = f(t)$ при включении схем *I* и *II* в случае:

а — отключенной шунтирующей группы вентилей; *б* — подключенной шунтирующей группы вентилей и отключенном питании второй половины схемы; *в* — подключенной шунтирующей группы вентилей и подключенном питании второй половины схемы

напряжения на рабочих обмотках МУ за счет уменьшения их реактивного сопротивления, что обусловлено уменьшением магнитной проницаемости железа сердечников при включении сигнала управления.

Повышение напряжения на обмотке возбуждения вызывает форсированное нарастание тока возбуждения (1,3 *сек*) более быстрое, чем в цепи постоянного тока (2,2 *сек*). Некоторое влияние на процесс автофорсировки оказывает также наличие активного сопротивления вентилей и рабочих обмоток МУ, которые являются предвключенными по отношению к нагрузке. В схеме *I* перераспределение напряжения выражено крайне слабо и схема практически автофорсировкой не обладает (см. рис. 4, кривая $U_{мн}$).

Для оценки влияния разбаланса напряжений активно-индуктивного моста нагрузки в переходных режимах и действия шунтирующего тока в схемах *I* и *II* на рис. 6 приведены кривые нарастания тока возбуждения при пуске в случае: а) отключенной шунтирующей группы вентилей; б) подключенной шунтирующей группы вентилей, но отключенном питании второй половины схемы; в) подключенной шунтирующей группы вентилей и подключенном питании второй половины схемы.

Из сравнения кривых рис. 6 с кривыми *б* и *в* рис. 3 следует, что в схеме *I* действие тока $I_ш$ ведет к сильному затягиванию переходных процессов, так как сопровождается подмагничиванием сердечников МУ и, как следствие, резким увеличением тока, потребляемого из сети нера-

бочей половиной схемы. В схеме *II* подмагничивающее действие шунтирующего тока отсутствует, так как рабочие обмотки МУ вынесены в фазы питающей сети, и затягивание переходных процессов происходит в меньшей степени.

Важно отметить, что высокое быстродействие, обусловленное эффектом автофорсировки в схеме с отдельным выпрямительным мостом нагрузки, имеет место при всяком воздействии на цепи управления как со стороны задающей обмотки, так и со стороны обратных связей системы регулирования, причем переходные процессы в этом случае носят благоприятный, апериодический характер.

Результаты испытаний позволяют рекомендовать для возбуждения главных генераторов экскаватора ЭКГ-8 схему с отдельным выпрямительным мостом нагрузки (схема *II*), поскольку она обладает бо́льшим быстродействием и бо́льшим коэффициентом усиления.

Применение трехфазного МУ с отдельным выпрямительным мостом нагрузки в приводе Г-Д шахтного подъема позволило значительно упростить схему управления, построенную на базе каскада МУ-ПМУ за счет исключения из нее промежуточного магнитного усилителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голован А. Т., Яковлев В. И., Липатов Д. Н. Экспериментальное исследоваине электроприводов одноковшовых экскаваторов. «Электричество», 1955, № 2.

2. Ефанов А. Г., Козлов Н. Г., Рейнгольд Ю. Р. Результаты промышленного исследования автоматизированного электропривода постоянного тока экскаватора ЭВГ-6 с магнитными усилителями. Сб. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», ГЭИ, 1960.