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

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ МУФТА СКОЛЬЖЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ШАХТНОМ ПОДЪЕМЕ

С. А. Алаторцев, А. С. Соловьев

Электромагнитные муфты скольжения (ЭМС) широко применяются в различных приводах: механизмах с вентиляторным моментом нагрузки (электроприводах дымососов на электростанциях), гребных валах судов. В гребных судовых установках ЭМС особенно широко распространены и их мощности достигают нескольких тысяч лошадиных сил. В последнее время ЭМС стали применяться и для других типов электроприводов: экскаваторов, буровых станков, металлорежущих станков и др.

В настоящей работе рассматривается область применения ЭМС для управления автоматизированным рудничным подъемом. Экспериментальное исследование проведено в лаборатории автоматики и телемеханики в горном деле Ленинградского горного института.

1. Исследование свойств ЭМС. Для изучения свойств ЭМС в лаборатории был создан стенд с опытным образцом электромагнитной муфты. В результате испытаний получены статические характеристики ЭМС (рис. 1, *а, б, в*). Аналитически выраженные моменты, развиваемые ЭМС при различных режимах работы, могут быть описаны уравнениями:

для двигательного режима, противовключения и генераторного торможения

$$M = 0{,}975 \frac{m_2}{n_0} \frac{x_0^2 i_в'^2 \frac{r+R}{s}}{\left(\frac{r+R}{s}\right)^2 + (x_0 + x)^2};$$

для режима электродинамического торможения

$$M = 0{,}975 \frac{m_2}{n_0} \frac{x_0^2 i_в'^2 \frac{r+R}{\nu}}{\left(\frac{r+R}{\nu}\right)^2 + (x_0 + x)^2},$$

где m_2 — число фаз якоря;

x_0 — индуктивное сопротивление взаимоиндукции на фазу якоря;

x — индуктивное сопротивление рассеяния на фазу якоря;

r — активное сопротивление фазы якорной обмотки;

R — добавочное сопротивление на фазу якоря;

$i_в'$ — ток возбуждения индуктора, приведенный к якорю;

n_0 — скорость ведущей части муфты;

n — скорость ведомой части муфты;

s, ν — скорость якоря относительно поля индуктора

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}; \quad \nu = \frac{n}{n_0}.$$

Из уравнений видно, что регулирование скорости ведомой части муфты возможно при изменении сопротивления в якорной цепи, подобно асинхронному двигателю с фазным ротором. Однако наиболее целесообразно регулировать момент, развиваемый ЭМС, а следовательно, и скорость привода при изменении величины тока возбуждения. Потери на возбуждение при регулировании скорости невелики, так как мощность

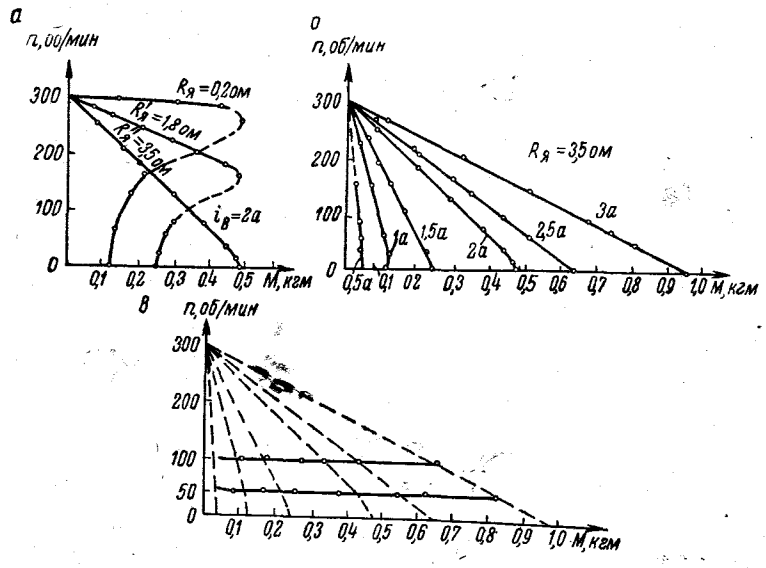


Рис. 1. Статические характеристики электромагнитной муфты скольжения:

а — при изменении величины сопротивления якоря; *б* — при изменении величины тока возбуждения; *в* — поддержание постоянной скорости при переменной величине момента сопротивления

возбуждения составляет 0,2—1% от номинальной мощности ЭМС. Пределы регулирования определяются границами насыщения магнитопровода ЭМС.

Возможность регулирования скорости в различных режимах проверена экспериментально и установлено, что статические характеристики ЭМС во всех режимах удовлетворяют требованиям, предъявляемым рудничными подъемными установками. Особенно важным обстоятельством является возможность изменения величины момента, развиваемого муфтой. Это позволяет применить ЭМС для управления и автоматизации подъемов с переменной нагрузкой, т. е. клетевых подъемных установок.

Кроме этих преимуществ, привод с ЭМС обладает еще целым рядом положительных качеств: 1) возможность применения нерегулируемых двигателей — асинхронных короткозамкнутых или синхронных; 2) защита двигателя от перегрузки и ударов нагрузки; 3) возможность создания схем автоматического регулирования по замкнутому циклу для приводов с ЭМС.

2. Изучение режимов работы ЭМС при управлении подъемной установкой. При применении ЭМС возможно использование нерегулируемых двигателей, а все регулирование скорости подъемной установки может

быть произведено при помощи ЭМС. При изменении величины тока возбуждения ЭМС можно плавно разогнать систему при любой тахограмме. При этом для увеличения пускового момента в якорь муфты вводится сопротивление, т. е. ЭМС должна иметь якорь с фазной обмоткой. Введение сопротивления не только повышает пусковой момент, но и снижает величину тока в якоре и нагрев муфты при регулировании скорости.

Равномерный ход подъема осуществляется на естественной характеристике ЭМС, причем постоянство скорости в этот период обеспечивается жесткостью естественной характеристики муфты.

При регулировании величины тока возбуждения ЭМС можно получить двигательное замедление и движение с постоянной низкой скоростью при положительном моменте статических сопротивлений (см. рис. 1, *в*).

ЭМС обычного исполнения не позволяет получить тормозные режимы при скорости ниже синхронной. Для получения тормозных режимов можно рекомендовать ЭМС с двумя обмотками возбуждения: одной для двигательного режима (обмотка индуктора), другой — для режима электродинамического торможения (неподвижная обмотка). При возбуждении обеих обмоток возможно получение комбинированных характеристик привода, дающих возможность поддержания постоянной низкой скорости подъема при любом статическом усилии.

Для изменения направления вращения подъемной машины можно применить кинематическую схему подъема с реверсивным сетевым двигателем и схемы с двумя ЭМС для хода вперед и назад. При использовании двух муфт одна из них может работать в двигательном режиме, другая — в тормозном. При обратном ходе функции муфт взаимно меняются. Для улучшения характеристик привода можно также применить наложение двигательного режима одной муфты и режима электродинамического торможения другой муфты.

Все возможные режимы управления были проверены экспериментально на втором стенде (макете) установки с ЭМС и подтвердили возможность управления подъемной установкой с помощью ЭМС. Управление подъемами с помощью ЭМС для всех режимов одинаково, т. е. достигается при изменении величины тока возбуждения. Такая однотипность управления значительно упрощает построение схем управления автоматизированной подъемной установкой с применением ЭМС.

Полученные результаты были бы далеко не полными без исследования динамических режимов работы ЭМС. На втором стенде в лаборатории были проведены исследования динамических режимов работы ЭМС применительно к режимам работы автоматизированной подъемной установки.

3. Методы расчета цепей управления для автоматизированного подъема с электромагнитной муфтой скольжения. Привод управляется с помощью ЭМС при изменении величины момента, передаваемого муфтой, вследствие чего изменяется и скорость ведомого вала муфты. Однако момент, развиваемый ЭМС, зависит не только от тока возбуждения, но и величины скольжения. Поэтому схема управления установки, с помощью которой регулируется ток возбуждения, должна учитывать не только изменение момента, но и изменение скольжения. При перемене величины скорости якоря относительно поля индуктора ЭМС изменяется электромагнитный момент, сцепление между якорем и индуктором аналогично тому, как это происходит в асинхронном двигателе. Следовательно, схема управления величиной тока возбуждения ЭМС должна компенсировать это изменение с тем, чтобы поддерживать заданную величину момента, развиваемого муфтой.

При регулировании скорости ЭМС работает с включенным в якорную цепь сопротивлением на линейной части характеристики. При этом момент, развиваемый муфтой, пропорционален квадрату тока возбуждения $i_в$ и скорости якоря относительно магнитного поля индуктора (s или ν), т. е.

$$M = ci_в^2 s; \quad M = ci_в^2 \nu,$$

где c — постоянная механической характеристики ЭМС.

Обычно в рудничном подъеме задается диаграмма движущих усилий и тахограмма. Зная их, можно определить зависимости $M=f(v)$; $s=f(v)$; $\nu=f(v)$ от скорости v и затем рассчитать $i_в=f(v)$

$$i_в = \sqrt{\frac{1}{c}\frac{M(v)}{s(v)}}; \quad i_в = \sqrt{\frac{1}{c}\frac{M(v)}{\nu(v)}},$$

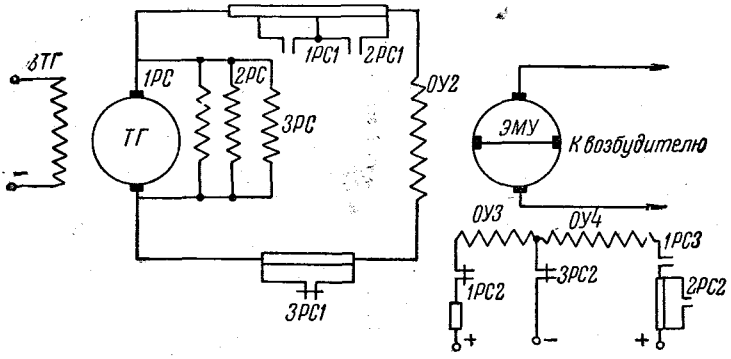


Рис. 2. Схема управления разгоном электромагнитной муфты скольжения:

ТГ — тахогенератор; *ОВТГ* — обмотка возбуждения тахогенератора; *ЭМУ* — электромашинный усилитель; *ОУ2—ОУ4* — обмотки возбуждения ЭМУ; *1РС — 3РС* — реле скорости, при переключении которых меняются параметры цепей α и β

т. е. узнать, как должен меняться ток возбуждения ЭМС для выполнения заданной диаграммы движущих усилий при заданной тахограмме. Полученная сложная зависимость $i_в=f(v)$ линеаризуется на отдельных участках. На каждом участке уравнение прямой линии может быть представлено в виде

$$i_в = \alpha i_{в0} + \beta i_{в0}\frac{v}{v_{max}},$$

где $i_{в0}$ — ток возбуждения в начале периода разгона (замедления);

v_{max} — максимальная скорость подъема.

В последнем выражении первое слагаемое для данного участка — величина постоянная, второе — пропорционально скорости.

Система регулирования момента должна включать обратную связь по скорости и может быть построена на основе тахогенератора и усилителя (рис. 2). При этом величина α определяет ток управления в обмотке независимого возбуждения усилителя, а β — сопротивление в цепи якорь тахогенератора — обмотка возбуждения усилителя. Знаки при величинах α и β определяют совместное или встречное включение обмоток управления усилителя.

Схемы управления автоматизированным рудничным подъемом были опробованы в лаборатории на модели установки с ЭМС. Полученные осциллограммы (рис. 3) подтверждают, что при таком управлении муф-

88204

той можно автоматизировать все режимы работы подъема. Автоматизированная подъемная установка должна обеспечить достаточно точное выполнение заданной тахограммы на заданной длине пути (высоте подъема). Такое выполнение требует соответствия всех параметров, характеризующих работу подъемной установки, т. е. движущего момента M, момента статических сопротивлений $M_{ст}$, скорости v и пути h. Схема (см. рис. 2) обеспечивает только связь между M и v. Но при работе автоматизированной подъемной установки возможно изменение концевой нагрузки, а следовательно, и величины ускорения и скорости. Контроль выполнения заданной тахограммы в функции пути в автоматизированной подъемной установке с ЭМС может быть осуществлен с помощью регулятора хода, путем сравнения заданной (в функции пути) скорости с фактической. Рассогласование заданной и фактической скоростей в виде электрического сигнала подается на усилитель и соответственно изменяет ток возбуждения ЭМС и развиваемый ею момент для приближения фактической скорости к заданной. Очевидно, схема автоматизированной подъемной установки с ЭМС должна содержать три элемента: схему управления для питания обмоток индуктора при двигательном режиме, схему для питания обмоток электродинамического торможения и регулятор хода, отрабатывающий разницу между задаваемым движущим усилием и усилием, необходимым для выполнения заданной тахограммы при данной нагрузке (рис. 4). Регулятор хода, таким образом, корректирует в автоматизированном подъеме выполнение заданной тахограммы.

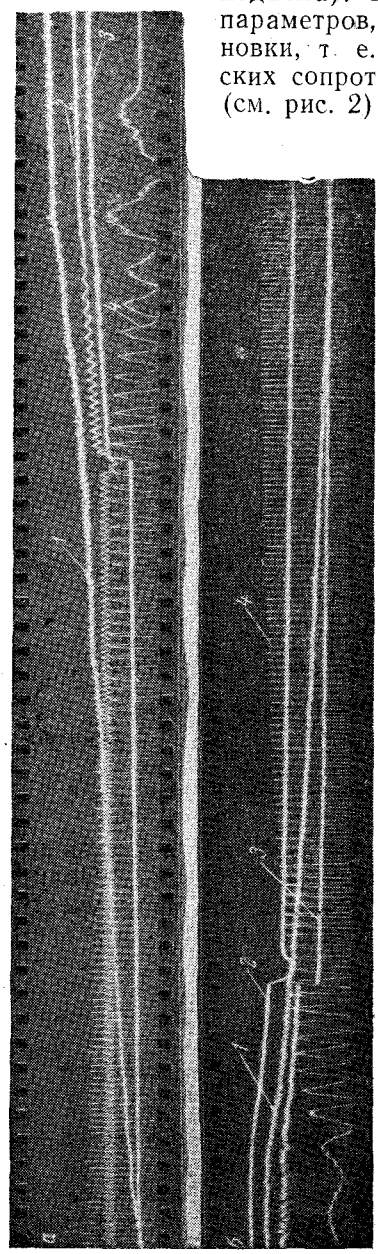


Рис. 3. Осциллограммы к схеме управления рис. 2:
а – разгон установки; *б* – двигательное замедление установки с ЭМС; *1* – скорость ведомой части муфты n_{max} = = 290 *об/мин*; *2* – ток возбуждения ЭМС $i_{в max}$ = 2,5 *а*, $i_{в min}$ = 1 *а*; *3* – ток в обмотке управления усилителя, питаемой от тахогенератора $i_{у max}$ = 100 *ма*; *4* – ток в якоре ЭМС $i_{я max}$ = 0,9 *а*. Масштаб времени 1 *сек/сек*

В некоторых случаях можно отказаться от первых двух схем и возложить на регулятор хода не только функции контроля скорости, но и задание величины момента. Система регулирования, включающая подъемную машину, ЭМС и регулятор хода, будет обычно работать с рассогласованием в ту или иную сторону. При этом под действием рассогласования ток возбуждения и момент, развиваемый ЭМС, будут меняться

так, чтобы скорость не отклонялась от заданной на величину, превышающую некоторую величину δ. При работе с рассогласованием δ регулятор хода должен компенсировать любое возмущение в системе регулирования. Схема должна быть построена так, чтобы в начале пуска или замедления на ведомом валу ЭМС развивался максимальный (двигательный

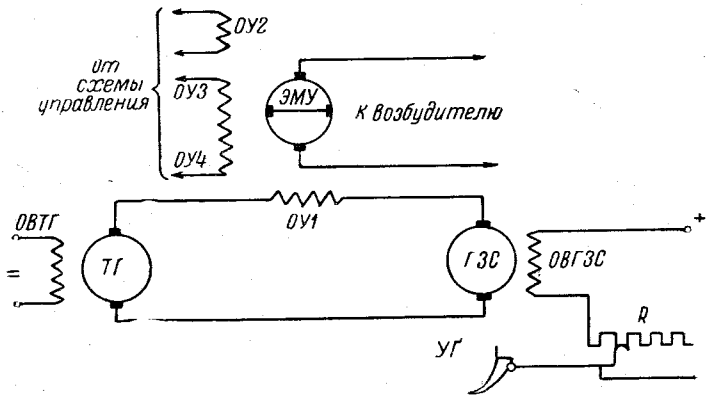


Рис. 4. Схема регулятора хода установки с электромагнитной муфтой скольжения:
ГЗС — генератор заданной скорости; *ОВГЗС* — обмотка возбуждения *ГЗС* (задающая обмотка); *УГ* — указатель глубины; *R* — задающий реостат; *ОУ1* — обмотка обратной связи

или тормозной) момент. Это условие может быть выполнено при помощи обмотки независимого возбуждения усилителя. В дальнейшем при работе подъема возможны два предельных случая: а) поддержание максимального момента по мере разгона или замедления установки; б) снижение момента до минимума при постоянной низкой скорости. В обоих случаях отклонение скорости от заданной не должно превосходить величину δ.

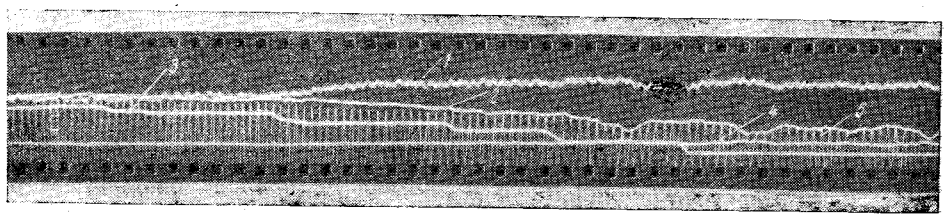


Рис. 5. Осциллограмма работы регулятора хода:
1 — скорость ведомой части муфты $n_{нач} = 30$ *об/мин*; *2* — ток возбуждения ЭМС $i_{в_{нач}} = 2$ *а*; *3* — тормозной момент на валу ЭМС $M_{нач}=1$ *кгм*, $M_{кон}=0$; *4* — ток, определяемый рассогласованием заданной и фактической скоростей $i_{о.\,с_{max}}=50$ *ма*; *5* — ток в якоре ЭМС $i_{я_{нач}}=2$ *а*. Масштаб времени 4 *мм/сек*

Из последних условий получаем величину коэффициента передачи K регулятора хода. Наибольшая величина K определяется из первого условия

$$K=\left(1-\sqrt{\frac{1}{s_{min}}}\right)\frac{i_{в_0}}{\delta v_{max}},$$

где s_{min} — наименьшая величина скольжения при регулировании.

В лаборатории были проведены испытания регулятора хода применительно к подъемной установке с ЭМС. Полученные результаты подтверждают возможность устойчивой работы регулятора хода при колебаниях нагрузки и скорости. Осциллограмма рис. 5 относится к случаю

поддержания постоянной низкой скорости при переменной нагрузке.

4. Исследование переходных процессов в автоматизированном подъеме с ЭМС. Аналитическое исследование переходных процессов в автоматизированной подъемной установке с ЭМС затруднено тем, что момент, развиваемый муфтой, является функцией тока возбуждения и скольжения. Следовательно, переходный процесс в самой ЭМС описывается нелинейным дифференциальным уравнением. Для исследования системы регулирования можно линеаризировать это уравнение на отдельных участках и исследовать систему линейных дифференциальных уравнений методами теории автоматического регулирования.

Линеаризованное дифференциальное уравнение, описывающее переходный процесс в ЭМС,

$$-mv_{\max}R\frac{d\Delta s}{dt}=2i_{в}s\Delta i_{в}+ci_{в}^{2}\Delta s,$$

где m — приведенная масса подъемной установки;

R — радиус барабана подъемной машины,

можно представить также в операторном виде

$$\left(\frac{mv_{\max}R}{ci_{в}^{2}}p+1\right)\Delta s\,(p)=-2\frac{s}{i_{в}}\Delta i_{в}\,(p).$$

Выразим Δs через приращение скорости Δv

$$\Delta s=(s+\Delta s)-s=\left(1-\frac{v+\Delta v}{v_{\max}}\right)-$$

$$-\left(1-\frac{v}{v_{\max}}\right)=-\frac{\Delta v}{v_{\max}},$$

отсюда

$$\left(\frac{mv_{\max}R}{ci_{в}^{2}}p+1\right)\Delta v\,(p)=+2\frac{v_{\max}s}{i_{в}}\Delta i_{в}\,(p)$$

или

$$(Tp+1)\,\Delta v\,(p)=k\Delta i_{в}\,(p),$$

где $T=\frac{mv_{\max}R}{ci_{в}^{2}}$ — электромеханическая постоянная подъемной установки;

$K=\frac{2v_{\max}s}{i_{в}}$ — коэффициент передачи ЭМС.

Величины T и K являются функциями тока возбуждения и скольжения. Однако в отдельных точках величины $i_{в}$ и s можно считать постоянными, вследствие чего будут постоянными и величины T и K. В отдельных точках области регулирования можно рассмотреть устойчивость системы и характер переходного процесса методами теории автоматического регулирования, а также определить параметры корректирующих цепей. Наиболее просто это сделать, пользуясь методом логарифмических частотных характеристик. Параметры корректирующих цепей определяются для точки, в которой движущий момент максимален $M=M_{\max}$, а $s=1$ ($v=1$), т. е. для начала пуска или замедления. Выбранные из этих условий корректирующие цепи делают систему автоматического регулирования устойчивой во всей области регулирования.

Система автоматизированного подъема с электромагнитной муфтой скольжения (рис. 6) рассматривается как следящая, в которой скорость

задается в функции пути, проходимого подъемными сосудами. Основные параметры автоматической подъемной установки следующие:

Мощность ЭМС, *квт*	150
Скорость ведущей части ЭМС, *об/мин*	375
Номинальный ток возбуждения, *а*	15
Номинальное напряжение возбуждения, *в*	70
Постоянная механической характеристики, *кг·м/а²*	35
Максимальное напряжение тахогенератора, *в*	420
Заданная точность выполнения тахограммы v_{max}, *м/сек*	0,02
Приведенная масса подъемной установки, *кг·сек²/м*	2910
Радиус барабана подъемной машины, *м*	1,25
Максимальная скорость подъема, *м/сек*	4,2

В качестве возбудителя ЭМС принят электромашинный усилитель ЭМУ-110.

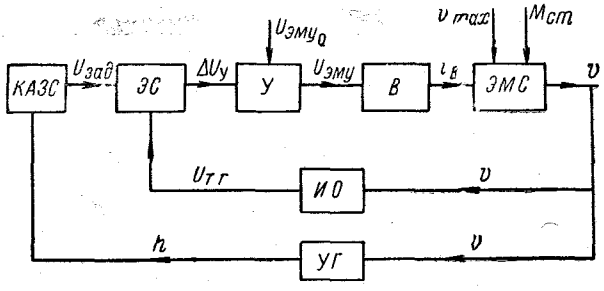


Рис. 6. Структурная схема системы автоматического регулирования установки с ЭМС:

КАЗС — командоаппарат заданной скорости; *ЭС* — элемент сравнения; *У* — усилитель; *В* — возбудитель; *ЭМС* — электромагнитная муфта скольжения; *ИО* — измерительный орган (тахогенератор); *УГ* — указатель глубины

Передаточные функции отдельных звеньев, т. е. зависимости выходных величин от входных (рис. 6).

1. ЭМУ (без учета постоянной времени обмотки возбуждения ввиду ее малости)

$$(0{,}2p + 1)\,\Delta U_{эму}(p) = 16\Delta U_у(p),$$

где 16 — коэффициент усиления ЭМУ по напряжению. При начальном напряжении ЭМУ $U_{эму} = 59$ *в*;

$$K_{эму} = \left(1 - \sqrt{\frac{1}{s_{min}}}\right)\frac{U_{эму_0}}{\delta U_{тг\,max}} = \left(1 - \sqrt{\frac{1}{0{,}1}}\right)\frac{59}{0{,}02 \cdot 420} = -16,$$

$\Delta U_у = \Delta U_{зад} - \Delta U_{тг}$ — напряжение на обмотке управления ЭМУ, равное разности напряжения командоаппарата заданной скорости $U_{зад}$ и напряжения тахогенератора $U_{тг}$.

2. Обмотка возбуждения ЭМС

$$(0{,}5p + 1)\,\Delta i_в(p) = 0{,}215\Delta U_{эму}(p).$$

3. Якорь ЭМС

$$(2{,}8p + 1)\,\Delta v(p) = 0{,}65\Delta i_в(p);$$

$$T = \frac{4{,}2 \cdot 2910 \cdot 1{,}25}{35 \cdot 12{,}5^2} = 2{,}8\ сек;$$

$$K = 2\frac{4{,}2}{12{,}5} = 0{,}65\ \frac{м/сек}{а}.$$

4. Тахогенератор

$$\Delta U_{\text{тг}}(p) = 100\Delta v(p).$$

5. Указатель глубины

$$\Delta h(p) = \frac{1}{p}\Delta v(p).$$

6. Командоаппарат заданной скорости

$$\Delta U_{\text{зад}}(p) = 125\Delta h(p).$$

Общий коэффициент передачи нескорректированного внутреннего контура

$$K_{\text{нс}}(p) = \frac{230}{(0{,}2p+1)(0{,}5p+1)(2{,}8p+1)}.$$

На рис. 7 видно, что контур неустойчив. Методом логарифмических частотных характеристик, исходя из заданных качеств переходного процесса, определяем параметры корректирующего контура — гибкой обратной связи

$$K_{\text{о.с}}(p) = \frac{1{,}8 \cdot 1{,}25p}{(1{,}25p+1)(0{,}5p+1)}.$$

Результирующая передаточная функция *, скорректированная гибкой обратной связью,

$$K_{\text{с}}(p) = \frac{\dfrac{230}{(0{,}2p+1)(0{,}5p+1)(2{,}8p+1)}}{1+\dfrac{16 \cdot 1{,}8 \cdot 1{,}25p}{(0{,}2p+1)(0{,}5p+1)(1{,}25p+1)}}.$$

Скорректированный контур обладает заданным запасом устойчивости и заданными качествами, исходя из которых выбран вид скорректированной характеристики системы.

Общий коэффициент передачи системы

$$K(p) = \frac{K_{\text{с}}(p)}{[1+K_{\text{с}}(p)]\,100}\,125\,\frac{1}{p}.$$

Переходные процессы в нелинейной системе автоматического регулирования наиболее удобно рассматривать на электронной моделирующей установке, позволяющей набрать соответствующую систему дифференциальных уравнений с нелинейностями. Исследования переходных процессов в автоматизированном подъеме с ЭМС (рис. 8) проведено в лаборатории автоматики и телемеханики в горном деле Ленинградского горного института.

5. Некоторые сравнения электромагнитной муфты в подъеме с другими способами автоматизации. Сравнение показателей произведено теоретически на основе исследования структуры и принципов действия схем управления и энергетических диаграмм при работе подъемной установки с ЭМС.

Капитальные затраты на оборудование подъемной установки с ЭМС несколько увеличиваются по сравнению с затратами на установку с асинхронным приводом, так как, кроме сетевого двигателя, необходимо установить две ЭМС: для хода вперед и назад. Однако увеличение капиталь-

* Передаточная функция системы регулирования составлена без учета постоянной времени электромагнитного процесса в якоре ЭМС ввиду его малости по сравнению с другими постоянными времени.

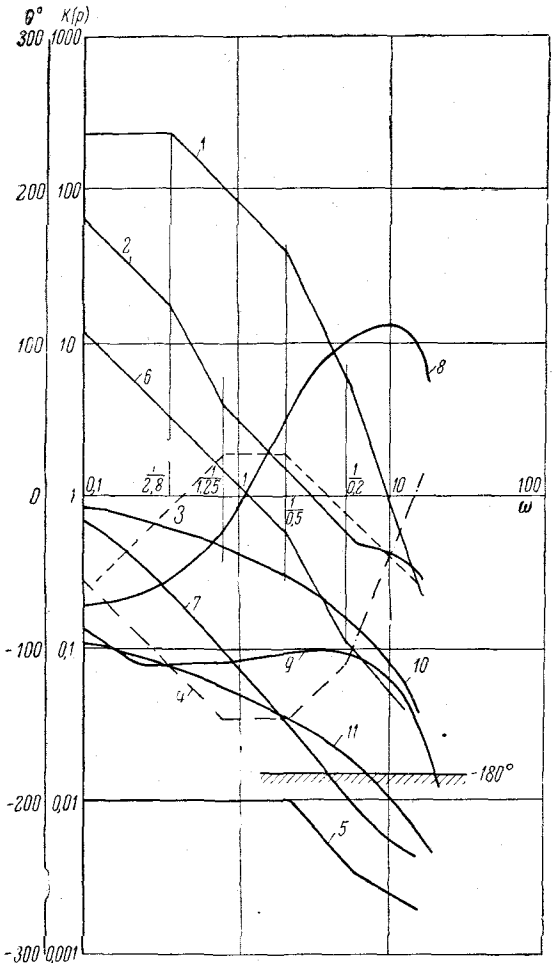


Рис. 7. Логарифмические частотные характеристики системы автоматического регулирования к рис. 6:

1 — логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАХ) нескорректированного внутреннего контура $K_{нс}$; *2* — ЛАХ скорректированного контура $K_c(p)$; *3* — ЛАХ обратной связи $K_{о.с}(p)$; *4* — обратная ЛАХ обратной связи и охваченного звена

$$\frac{1}{1+K_{охв}(p)\,K_{о.с}(p)};$$

5 — обратная ЛАХ скорректированного внутреннего контура

$$\frac{1}{1+K_c(p)};$$

6 — ЛАХ системы автоматического регулирования $K(p)$; *7* — логарифмическая фазовая характеристика (фаза) нескорректированного контура $\theta_{нс}$; *8* — фаза

$$\frac{1}{1+K_{охв}(p)\,K_{о.с}(p)};$$

9 — фаза скорректированной системы θ_c; *10* — фаза

$$\frac{1}{1+K_c(p)};$$

11 — фаза $K(p)$

ных затрат во многом компенсируется увеличением надежности установки (работу можно продолжать даже при выходе одной муфты из строя) и сокращением расходов на обслуживание: заработной платы машинистам при автоматическом управлении, расходов по ремонту и наладке при использовании бесконтактной автоматики (магнитных усилителей, потенциал-регуляторов), уменьшением износа каната и подъемной машины при плавном бесступенчатом управлении.

Применение синхронных сетевых двигателей значительно повышает коэффициент мощности установки. Коэффициент полезного действия подъемной установки с ЭМС равен к. п. д. установки с асинхронным двигателем: увеличение потерь в сетевом двигателе компенсируется снижением потерь за счет более рационального управления при регулировании скорости.

При работе ЭМС со скольжением часть потребляемой мощности, пропорциональная скольжению, превращается в тепло, вызывая нагрев муфты. Но нагрев ЭМС будет несколько меньше, чем нагрев асинхронного двигателя, работающего в тех же условиях, так как потери распределяются в якоре муфты и якорном реостате пропорционально величинам их сопротивлений, а сопротивление реостата значительно больше сопротивления якоря муфты. Кроме того, условия охлаждения ЭМС лучше, чем у асинхронного двигателя, так как у ЭМС имеется постоянно вращающаяся часть — индуктор, выполняющий также и вентиляционные функции.

Асинхронный привод подъемной установки с контакторным управлением обладает рядом существенных недостатков, устраняемых в приводе с ЭМС. Контакторное управление асинхронным приводом характеризуется значительными динамическими толчками, вызывающими ускоренный износ подъемной машины и каната. При контакторном управлении движущий момент не меняется в зависимости от нагрузки, что приводит к значительным отклонениям скорости и особенно ускорения от заданных величин. Применение металлического ступенчатого реостата не дает возможности получить устойчивых пониженных скоростей подъема. Для торможения в асинхронном приводе используется режим электродинамического торможения при питании статора двигателя постоянным током. Следовательно управление приводом в различные периоды неодинаково, что значительно усложняет схемы управления и снижает их надежность.

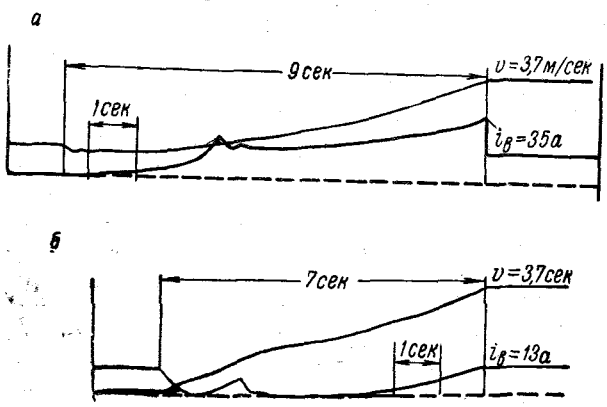


Рис. 8. Осциллограммы изменения скорости и тока возбуждения при работе автоматизированной подъемной установки с ЭМС, полученные методом математического моделирования при:
а — $M_{ст}$=4000 *кгм*; *б* — $M_{ст}$=—2000 *кгм*

Асинхронный привод подъемных установок, управляемый дросселями насыщения, во многом устраняет недостатки контакторного управления. Дроссельное управление дает возможность плавно регулировать скорости, тормозить на переменном токе, в режиме противовключения, хотя последнее и вызывает излишний расход энергии и снижение к. п. д. установки. Применение же электродинамического торможения значительно усложняет схему установки. Кроме того, привод с дроссельным управлением имеет ряд недостатков: прежде всего, понижение cos φ, искажение формы кривой тока и напряжения.

Дроссельное управление характеризуется также значительными постоянными времени, т. е. длительностью протекания переходных процессов.

Использование в качестве привода подъемной машины гидромуфт значительно устраняет недостатки асинхронного привода, но осуществление автоматизации рудничного подъема при использовании гидромуфт затруднено ввиду большой длительности переходных процессов в гидромуфтах.

Выводы

Привод с электромагнитной муфтой скольжения может быть применен для автоматизации рудничных подъемных установок и имеет в некоторых условиях (большие колебания величины концевой нагрузки) преимущества перед другими типами привода.

В результате предложены и экспериментально проверены: методы управления рудничными подъемными установками с ЭМС; методы расчета цепей управления для автоматизированного электропривода подъемной машины с ЭМС; уточнен метод расчета авторегулятора хода применительно к рудничному подъему ЭМС (определен коэффициент передачи системы регулирования).

ЛИТЕРАТУРА

1. Касьянов В. Т. Скользящие электромагнитные муфты для гребных приводов. Сб. «Электросила», 1945, № 2—3.
2. Шаров В. С. Электромагнитные муфты скольжения. Госэнергоиздат, 1958.
3. Гейлер Л. Б. Электропривод в тяжелом машиностроении. Машгиз, 1958.
4. Соловьев А. С. Применение электромагнитной муфты скольжения в автоматизированном рудничном подъеме. Научные доклады высшей школы. «Горное дело», 1953, № 3.
5. Соловьев А. С. Методика расчета цепей управления электромагнитных муфт скольжения автоматизированного рудничного подъема. Научные доклады высшей школы. «Горное дело», 1959, № 1.
6. Солодовников В. В., Топчеев Ю. И., Крутикова Г. В. Частотный метод построения переходных процессов. Гостехтеоретиздат, 1955.
7. Васильев Д. В., Митрофанов Б. А. и др. Расчет следящего привода. Судпромгиз, 1958.
8. Честнат Г и Майер Р. В. Проектирование и расчет следящих систем и систем регулирования. Госэнергоиздат, 1959.