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

СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР С ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РУДНИЧНОГО ПОДЪЕМА

С. А. Алаторцев, Гу Шэн-гу

Силовой трехфазный трансформатор с плавным регулированием напряжения под нагрузкой (рис. 1) имеет общий магнитопровод M с подразделением на девять стержней, расположенных в одной плоскости. Три основных стержня *2*, *5* и *8* используются для намотки первичных фазных обмоток W_1. На шести добавочных стержнях *1*, *3*, *4*, *6*, *7* и *9* размещены обмотки подмагничивания постоянным током $W_д$. Вторичные фазные обмотки W_2 расположены на девяти стержнях: три на основных *2*, *5*, *8* и по две на добавочных *1*, *3*, *4*, *6*, *7* и *9*. Компенсационная обмотка $W_к$ наматывается на все добавочные стержни. Глубокое плавное регулирование вторичного напряжения трансформатора осуществляется изменением величины постоянного тока в шести обмотках подмагничивания $W_д$.

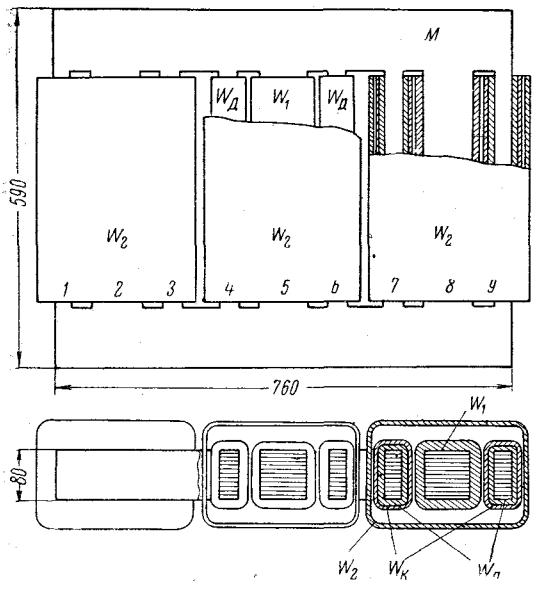


Рис. 1. Конструкция трехфазного трансформатора ТРПШ

Для экспериментальных работ лаборатории автоматики телемеханики в горном деле Ленинградского горного института силовой трансформатор с регулируемым подмагничивающим шунтом (ТРПШ) был изготовлен * в лаборатории Горьковского политехнического института [1—4].

Трехфазный трансформатор ТРПШ (см. техническую характеристику) питает асинхронный двигатель с фазным ротором *ПД* типа

* Мощность и вес трансформатора несколько завышены относительно асинхронного двигателя, который был принят для испытаний в лабораторных условиях.

АК-52/6. Первичные обмотки ТРПШ W_1 соединены треугольником; вторичные W_2 — звездой. Шесть обмоток подмагничивания $W_д$ соединяются последовательно (рис. 2). На одном валу с асинхронным двигателем *ПД* расположен тахогенератор ТГ типа ЭГ-7/110.

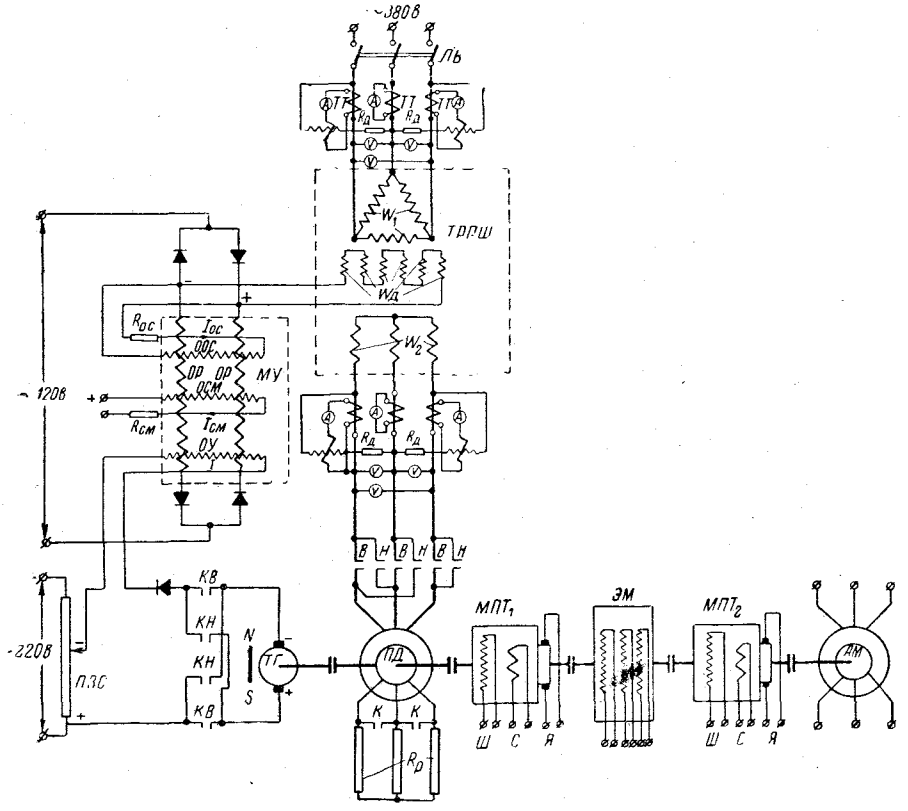


Рис. 2. Схема электрических соединений для лабораторных испытаний электропривода подъема с питанием от трансформатора ТРПШ

Техническая характеристика ТРПШ

Установленная мощность, *ква*	8,5
Первичное напряжение, *в*	380
Вторичное напряжение при постоянном сопротивлении нагрузки и изменении величины тока подмагничивания от нуля до максимального значения, *в*	25—285
Вторичный ток, *а*	17
К. п. д. при номинальной активной нагрузке, %	91
Вес, *кг*:	
стали	176,5
меди	73,5
общий	285
Размеры трансформатора, *см*:	
высота	83
длина	69
ширина	17,5
Система охлаждения	Естественная, воздушная

Для экспериментальных работ использован пятимашинный агрегат, состоящий из двух электрических машин постоянного тока $МПТ_1$ и $МПТ_2$ типа ПН-85 и ПТ-86, двух асинхроных машин с фазным

ротором *ПД* и *АМ* типа АК-52/6 и электромашины *ЭМ*, используемой в качестве маховика.

Номинальная статическая нагрузка приводного двигателя *ПД* при изучении переходных процессов электропривода подъема создавалась машиной *АМ*, работающей в режиме противовключения. При снятии механических характеристик в статическом режиме использовалась нагрузочная электромашина $МПТ_1$. В режимах торможения (динамического или противовключением при малых скоростях) она создавала отрицательные статические нагрузки подъема, а в двигательном режиме — положительные статические нагрузки. В качестве аппарата заданной скорости был применен потенциометр *ПЗС*. Сигнал, пропорциональный отклонению действительной скорости от заданной, усиливался магнитным усилителем *МУ*, соединенным по схеме с внутренней обратной связью и имеющим две рабочие обмотки *ОР*, обмотку управления *ОУ*, а также обмотки смещения *ОСМ* и положительной обратной связи по напряжению *ООС*.

Усиленный сигнал воздействовал на обмотку подмагничивания $W_д$ трансформатора ТРПШ. Для увеличения коэффициента усиления *МУ* включалась обмотка *ООС* с регулируемым добавочным сопротивлением $R_{ос}$.

На рис. 3 изображены экспериментальные статические механические характеристики подъемного двигателя, снятые при определенном значении роторного сопротивления ($R_р = 0{,}9$ *ом*).

При заданной положительной или отрицательной статической нагрузке скорость вращения приводного двигателя *ПД* можно достаточно глубоко и плавно регулировать изменением напряжения потенциометром *ПЗС*. В этой же системе можно автоматически получить жесткие характеристики с пониженной скоростью при переменной статической нагрузке в двигательном и тормозном режимах подъемного двигателя *ПД*, что, как известно, необходимо при автоматизации рудничного подъема в периоды дотягивания сосудов в разгрузочных кривых.

Рассмотрим кратко способы регулирования и управления приводным двигателем ПД применительно к режимам работы рудничного подъема.

Достаточно плавный пуск подъемного двигателя осуществляется изменением напряжения на его зажимах. Вначале в цепь ротора двигателя включается сопротивление $R_р$. По мере увеличения скорости $R_р$ выводится путем замыкания контактов *К*. При необходимости пусковой момент двигателя может быть повышен за счет увеличения тока в обмотках подмагничивания трансформатора ТРПШ.

Равномерный ход подъемной установки происходит при работе подъемного двигателя на естественной характеристике. При спуске груза подъемный двигатель работает в режиме генераторного торможения на естественной характеристике. При основном замедлении подъемной установки движущий момент двигателя может быть положительным, равным нулю и отрицательным. В случае положительного момента (при двигательном замедлении) скорость подъемного двигателя плавно снижается изменением величины напряжения на его зажимах (так же, как и в период пуска). Величина напряжения на зажимах двигателя регулируется потенциометром *ПЗС*, механически связанным с указателем глубины. Когда движущий момент равен нулю (режим свободного выбега), скорость двигателя уменьшается при отключенной статорной обмотке от силового трансформатора ТРПШ.

При отрицательном движущем моменте (тормозной режим) подъемный двигатель работает в режиме противовключения. Период дотягивания подъема при скипах с разгрузкой через дно происходит с переменной

положительной статической нагрузкой. Жесткие механические характеристики при пониженной скорости двигателя вполне удовлетворяют этим требованиям. В период дотягивания подъема при опрокидных сосудах меняются величина и знак статических нагрузок. Механические характеристики двигателя при пониженной скорости должны быть жесткими и непрерывными во время перехода из двигательного в тормозной режим.

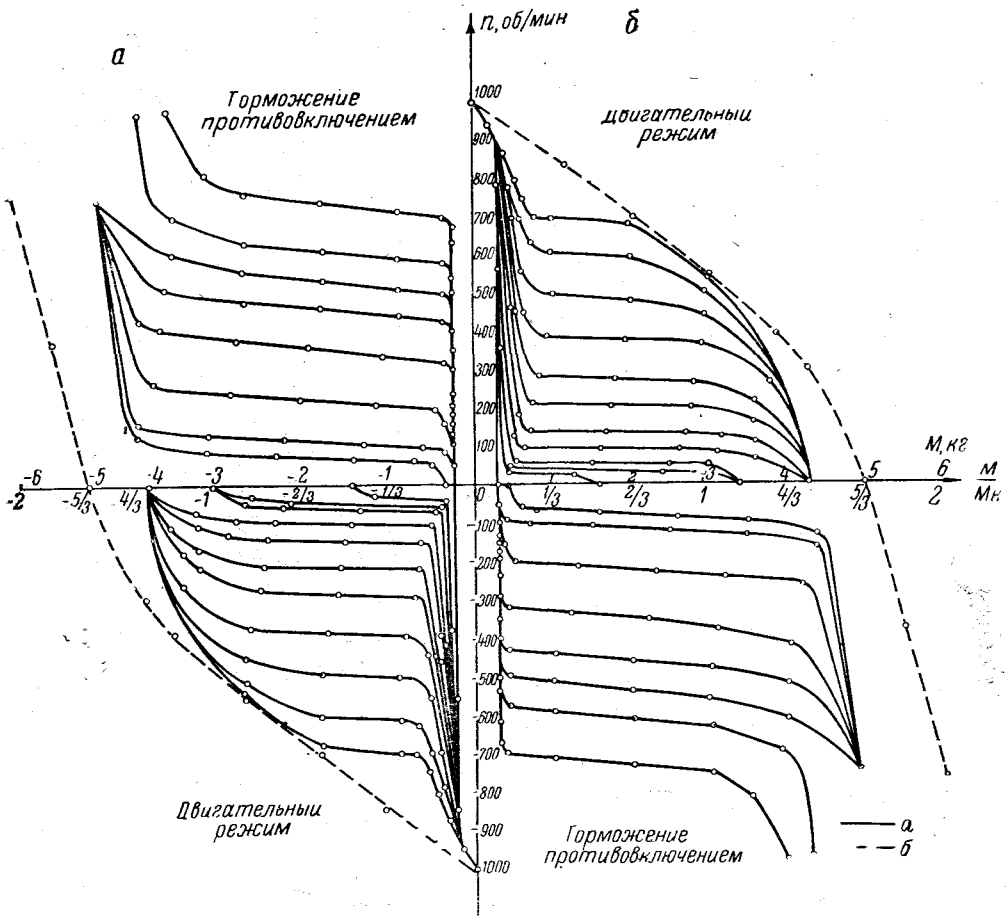


Рис. 3. Механические характеристики подъемного двигателя в системе регулирования по рис. 2 при $R_р = 0{,}9$ *ом*:
а — U=var при регулировании потенциометром ПЗС; *б* — U=220 *в*

Рассматриваемая система регулирования подъемного двигателя не дает возможности получить жесткие «сквозные» характеристики при пониженной скорости без применения дополнительных технических средств. Характеристики показывают (см. рис. 3), что при малых значениях статических нагрузок асинхронный двигатель теряет управляемость и резко увеличивает скорость до величины, близкой к синхронной в связи с наличием тока холостого хода.

К дополнительным комбинированным техническим средствам можно отнести: а) привод «асинхронный двигатель — тормозная электрическая машина», которая работает в режиме электродинамического торможения или противовключения; б) совмещенное питание подъемного двигателя переменным и постоянным током; в) работу подъемного двигателя с механическим тормозом; г) применение импульсного метода управления

приводным двигателем, т. е. его поочередную работу в режиме противовключения и двигательном режиме (при малых значениях статических нагрузок и во время изменения их знака).

Застопоривание подъемной машины в конце цикла осуществляется механическим тормозом.

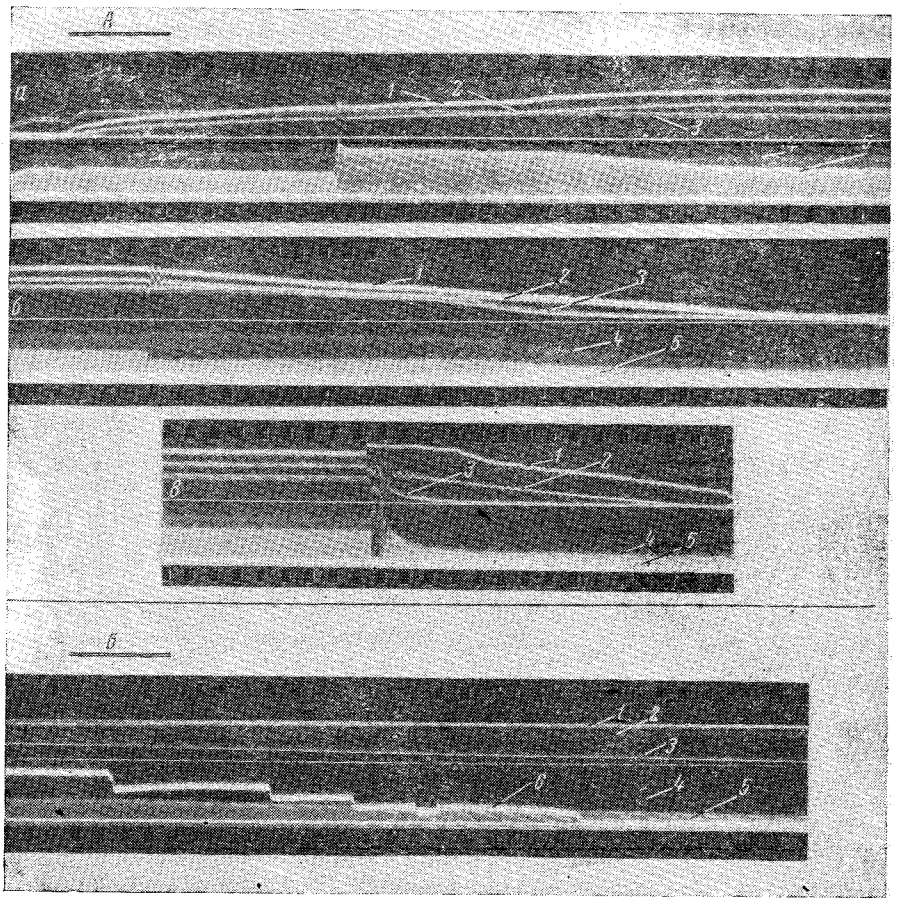


Рис. 4. Осциллограммы работы подъемного двигателя при номинальной *А* и переменной *Б* статических нагрузках:

а — пуск; *б* — двигательное замедление; *в* — торможение противовключением; *1* — заданная скорость двигателя; *2* — действительная скорость двигателя; *3* — ток подмагничивания ТРПШ; *4* — напряжение на зажимах двигателя; *5* — ток в цепи статора двигателя; *6* — момент статической нагрузки (без учета момента холостого хода пятимашинного агрегата)

Выполнение заданной тахограммы при скиповой подъемной установке достигается соответственным изменением напряжения на зажимах приводного двигателя. Величина напряжения регулируется потенциометром *ПЗС*, механически связанным с указателем глубины. Точность выполнения тахограммы контролируется сравнением заданной и действительной скоростей (т. е. сравнение напряжений на потенциометре *ПЗС* и зажимах тахогенератора *ТГ*).

При клетевых подъемах с большим диапазоном изменения статических нагрузок для точного выполнения заданной тахограммы, кроме замкнутой системы регулирования непрерывного действия, необходимо дополнительное устройство однократного действия, работающее по разом-

кнутой системе регулирования, т. е. специальный датчик нагрузки, устанавливающий определенную величину тока подмагничивания трансформатора ТГПШ в зависимости от величины статических нагрузок.

В номинальном режиме (при номинальном токе подмагничивания ТРПШ) коэффициенты полезного действия и мощности трансформатора ТРПШ достаточно высокие. С уменьшением величины тока подмагничивания снижается к. п. д. и $\cos\varphi$ трансформатора. При работе на пониженных скоростях к. п. д. подъемного двигателя относительно низок (например, при скольжении $s=0{,}9$; к. п. д. $=0{,}10$). Отношение веса трансформатора ТРПШ к весу двигателя *ПД* примерно 1,5—2.

Как следует из анализа осциллограмм рис. 4, рассмотренная система регулирования вполне обеспечивает плавное и глубокое изменение скорости подъемного двигателя и поддержание постоянной пониженной скорости электродвигателя при переменной статической нагрузке.

Выводы

1. Система электропривода рудничного асинхронного подъема с питанием от силового трансформатора ТРПШ отличается простотой, надежностью и возможностью осуществления плавного бесконтактного (или малоконтактного) управления и регулирования приводным двигателем в периоды пуска, замедления и дотягивания подъемных сосудов.

2. Предлагаемая система электропривода подъема наиболее рациональна при низковольтном приводном двигателе. При этом отпадает необходимость в установке двух аппаратов (дросселей насыщения и питающего трансформатора). Силовой трансформатор ТРПШ объединяет эти аппараты в одном агрегате.

3. Применение трансформатора ТРПШ достаточно просто способствует разрешению вопроса автоматизации электропривода подъемных установок в режимах двигательного замедления и дотягивания подъемных сосудов с разгрузкой через дно, что до сего времени представляло известные трудности.

4. Увеличение пускового момента и уменьшение нагрева подъемного двигателя обеспечивают ступень роторного сопротивления, включенную в асинхронную машину с фазным ротором.

5. Компенсационные обмотки $W_к$ целесообразно в схему не включать, так как они значительно увеличивают инерционность обмоток подмагничивания и практически не улучшают форму кривых вторичного напряжения трехфазного трансформатора ТРПШ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бамдас А. М., Сомов В. А., Шмидт Д. Т. Трансформаторы и стабилизаторы, регулируемые подмагничиванием шунтов. Госэнергоиздат, 1959.

2. Гу Шэн-гу и Сучков В. А., Трехфазный трансформатор с плавным регулированием напряжения под нагрузкой. Тр. Горьковского политехн. ин-та, 1959, т. XV, вып. 4.

3. Бамдас А. М., Сучков В. А. и Гу Шэн-гу. Трехфазный трансформатор с плавным бесконтактным регулированием напряжения под нагрузкой. «Вестник электропромышленности АН КНР», 1959, № 10.