

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

Специализированный совет К 068.20.01

На правах рукописи

МАРЕНИЧ Константин Николаевич

**АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЗЕМНОГО
СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА С ТИРИСТОРНЫМ
ПУСКО-ЗАЩИТНЫМ АППАРАТОМ**

**Специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы
и системы, включая их управление и регулирование»**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Специализированный совет К 068.20.01

На правах рукописи

Маренич Константин Николаевич

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЗЕМНОГО СКРЕБКОВОГО
КОНВЕЙЕРА С ТИРИСТОРНЫМ ПУСКО-ЗАЩИТНЫМ АППАРАТОМ

Специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы
и системы, включая их управление и регулирование"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк - 1991 г.

Работа выполнена в Донецком ордена Трудового
Красного Знамени политехническом институте

Научный руководитель: доцент, кандидат технических
наук Сидоренко И.Т.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Траубе Е.С., кандидат технических наук
старший научный сотрудник Андрущенко О.А.

Ведущая организация - Донецкий научно-иссле-
дательский и проектно-конструкторский институт по
автоматизации горных машин ("Автоматгормаш")
г. Донецк

Защита диссертации состоится 28 ноября 1991 г.
в 14 час 15 мин. на заседании специализированного
совета К 068.20.01 при Донецком ордена Трудового
Красного Знамени политехническом институте:

340000 Донецк, ул. Артёма, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Донецкого политехнического института

Автореферат разослан 25 октября 1991 р.

Ученый секретарь

специализированного совета,

канд. техн. наук, доцент

СИДОРЕНКО И.Т.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Основным транспортным средством в забоях угольных шахт является скребковый конвейер. Его электропривод, содержащий гидромуфту, не достаточно эффективен. Опыт эксплуатации свидетельствует, что пуск конвейера характеризуется интенсивным разгоном скребковой цепи, создавая опасность травматизма обслуживающего персонала. Защита скребковой цепи от порыва при заклинивании, осуществляемая гидромуфтой, малоэффективна, т.к. в момент заклинивания вращающаяся часть муфты, обладая значительным моментом инерции, не снижает, а повышает растягивающее усилие в цепи. Удельный вес простоев подземных скребковых конвейеров из-за порывов их тяговых цепей составляет более половины их общего времени простоев. Процесс устранения заклинивания скребковой цепи сопряжен с высокой трудоемкостью работы. Этим обуславливается актуальность создания более эффективного - тиристорного асинхронного электропривода подземного скребкового конвейера, оснащенного специальным пуско-защитным аппаратом, обеспечивающего:

- плавный пуск конвейера со ступенью пониженной скорости движения тягового органа;
- ограничение динамических усилий в скребковой цепи при ее заклиниваниях с последующим автоматическим устранением заклинивания.

Научная актуальность работы заключается в необходимости более полного исследования процессов в системе "тиристорный коммутатор тока - асинхронный двигатель" применительно к электроприводу подземного скребкового конвейера. В частности, в выполненных ранее работах не достаточно исследованы процессы в данной системе при квазичастотном электропитании и индукционно-динамическом торможении асинхронного двигателя конвейера, а также при отказах силовых тиристоров коммутатора тока. Установление более полных закономерностей изменения параметров этой системы крайне важно при создании асинхронного тиристорного электропривода подземного скребкового конвейера.

Цель работы - повышение эффективности асинхронного электропривода подземного скребкового конвейера посредством научного обоснования параметров и создания нового силового тиристорного пуско-защитного аппарата.

Основная идея работы заключается в научном обосновании повышения эффективности электропривода подземного скребкового конвейера на основе применения в цепи статора его электродвигателя управляемого тиристорного коммутатора тока.

Научные подожения, разработанные лично соискателем и их новизна:

– математическая модель асинхронного тиристорного электропривода подземного скребкового конвейера, описывающая процессы при ступенчатом пуске и защитном торможении, учитывающая воздействие ЭДС вращения электродвигателя на характер изменения параметров привода при квазичастотном электропитании, фазовом регулировании, и индукционно-динамическом торможении электродвигателя;

– способ управляемого пуска скребкового конвейера, предусматривающий повышение безопасности его эксплуатации введением кратковременной ступени пониженной скорости движения тягового органа и отличающийся возможностью изменения электромагнитного момента двигателя;

– новые закономерности и зависимости протекания процессов в тиристорном электроприводе скребкового конвейера, в частности, зависимости изменения токов индукционного и динамического торможения асинхронного двигателя (АД) в функции угла отпирания тиристор коммутатора тока; закономерности воздействия ЭДС вращения ротора на величину квазисинусоидального тока статора АД; закономерности протекания автоколебательных процессов в системе "тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель" при фазовом регулировании; аналитическая зависимость, определяющая характер изменения фазовых соотношений между фазными токами сети при возникновении коротких замыканий; закономерности протекания процессов при пуске АД в случае неотпирания одного из тиристор коммутационного аппарата.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована: применением апробированных методов анализа процессов в системе "тиристорный коммутационный аппарат – асинхронный электродвигатель", обобщенной теории электрических машин, гармонического анализа, использованием статистических методов исследований, обоснованностью принятых допущений, представительным объемом экспериментальных данных, полученных в стендовых и шахтных условиях, широким использованием вычислительной техники при обработке экспериментальных данных и построении математических моделей, доста-

точной степенью адекватности разработанной математической модели реальному объекту (погрешность определения величин квазисинусоидальных токов не превышает 9,6%; пусковые моменты АД при квазичастотном электропитании определены с погрешностью в 9,7%; погрешность в определении максимального растягивающего усилия в застопоренной скребковой цепи при индукционно-динамическом торможении составляет 7,0 - 8,4%), достигнутыми показателями разработанных и внедренных устройств при промышленной эксплуатации.

Научное значение работы заключается в развитии теории тиристорного электропривода применительно к скребковому конвейеру, в частности, теоретических вопросов квазичастотного и неполнофазного электропитания, а также индукционно-динамического торможения асинхронных двигателей конвейера.

Практическая ценность работы состоит в обосновании исходных данных и создании силового тиристорного аппарата управления для подземного скребкового конвейера, доведении его до использования в промышленности на стадии экспериментального и опытного образцов.

В результате выполненных исследований обоснованы пути совершенствования и разработан новый способ управления шахтным скребковым конвейером, разработаны способы и созданы устройства: квазичастотного и фазового управления приводным АД; выявления динамического перегруза скребковой цепи конвейера; защиты тиристорных преобразователей при обрыве вентильной цепи. Созданы более эффективные устройства защиты трехфазных электроустановок от коротких замыканий и устройства, обеспечивающие функционирование силовых тиристорных коммутационных аппаратов в шахте.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Результаты выполненных исследований использованы:

- институтом Автоматгормаш при разработке технической документации на опытный образец аппарата управления пуском электропривода горной машины (АГМ);

- Макеевским заводом шахтной автоматики при изготовлении опытного образца аппарата управления пуском электропривода горной машины (АГМ);

- институтом Гипроуглеавтоматизация при создании экспериментального образца тиристорного пуско-регулирующего устройства (ТПР) для электропривода шахтного скребкового конвейера;

- Донецким политехническим институтом при создании тирис-

горных аппаратов АТКС и АТКУ для управления приводом шахтных скребкового и ленточного конвейеров. Экспериментальные образцы этих аппаратов прошли промышленные испытания в приводах подземных конвейеров шахты "Россия" Ю "Селидовуголь". Годовой экономический эффект, полученный в процессе их эксплуатации, составил, соответственно, 3,59 и 4,47 тыс. руб.;

- Донецким политехническим институтом при разработке "Технических требований к рудничному взрывозащищенному электрооборудованию с силовыми полупроводниковыми приборами напряжением до 1140 В", утвержденных Минуглепромом СССР в качестве нормативного документа.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и получили одобрение на III Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов горной промышленности Грузии (Тбилиси, 1983 г.), IV Республиканской научно-технической конференции "Молодые ученые - научно-техническому прогрессу в угольной промышленности" (Донецк, 1984 г.), V и VI научно-технических конференциях "Повышение надежности и экономичности шахтного электрооборудования" (Кемерово, 1986, 1989 г.г.), IV Республиканской школе-семинаре молодых ученых и специалистов "Преобразование параметров электрической энергии в энергетических и технологических установках" (Киев, 1990 г.), IV Республиканской школе-семинаре молодых ученых и специалистов "Электромеханические и полупроводниковые преобразователи" (Киев, 1989 г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах и системах электрооборудования, промышленности и транспорта" (Днепропетровск, 1990 г.), научно-технической конференции Донецкого политехнического института по завершённым научно-исследовательским работам (Донецк, 1991 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 35 научных работ: из них 17 авторских свидетельств СССР на изобретения, 18 статей и тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов и заключения. Содержание работы изложено на 125 страницах машинописного текста, иллюстрированного 50 рисунками. Работа содержит 14 таблиц, список использованной литературы из 106 наименований на 13 страницах и 16 приложений на 55 страницах.

В результате анализа опыта эксплуатации подземных скребковых конвейеров в шахтах обоснована необходимость совершенствования их электроприводов и сформулированы основные требования, направленные на повышение их эффективности. В частности, с целью повышения безопасности эксплуатации конвейера, его пуск необходимо осуществлять с кратковременной (до 10 с) ступенью пониженной (до 0,3 м/с) скорости движения тяговой цепи (ТЦ). При стопорении ТЦ необходимо ограничить величину возникающих в ней растягивающих усилий на уровне, меньшем критического, и этим предотвратить ее порывы. С целью упрощения эксплуатации необходимо предусмотреть средства автоматического устранения заклинивания ТЦ. Эти задачи могут быть решены при условии устранения из привода подземного скребкового конвейера (ПСК) наименее надежного и эффективного элемента - гидромолты и оснащения привода специальным пуско-защитным устройством.

На основании анализа исследований и основных направлений совершенствования систем привода горных машин и, в частности, ПСК, выполненных И.Г. Штокманом, Л.И. Чугреевым, В.Н. Хориным, Б.А. Скородумовым, О.Ф. Вихровым, Л.Н. Сигаловым, И.В. Рикманом, Л.Л. Серовым, Э.Г. Краусом, И.В. Брейдо, В.С. Бутевым, В.И. Грубой, В.Н. Пименовым, А.В. Леусенко, М.И. Голубевым, П.Д. Гавриловым обоснована актуальность совершенствования привода ПСК на основе создания системы тиристорного асинхронного электропривода. В результате анализа достигнутого уровня теории и практики асинхронного электропривода с силовыми тиристорными коммутаторами (СТК), большой вклад в развитие которых внесли Л.П. Петров, Т.А. Глазенко, В.И. Хрисанов, Б.И. Фираго, И.Я. Браславский, Е.С. Траубе, С.С. Багдасарян, А.А. Шавелкин, В.А. Шубенко, С.П. Павлович, В.Г. Власов, А.А. Усолицев, Б.Л. Коринев, В.А. Скрышник, И.И. Петров, А.М. Мейстель и др., сформулированы основные задачи исследований и разработана методика, включающая теоретические и экспериментальные исследования и предусматривающая широкое использование современной вычислительной и измерительной техники.

Для реализации пусковых и тормозных режимов электропривода ПСК наиболее приемлема схема СТК, представленная на рис. 1, а. В зависимости от алгоритма управления тиристорами такой СТК

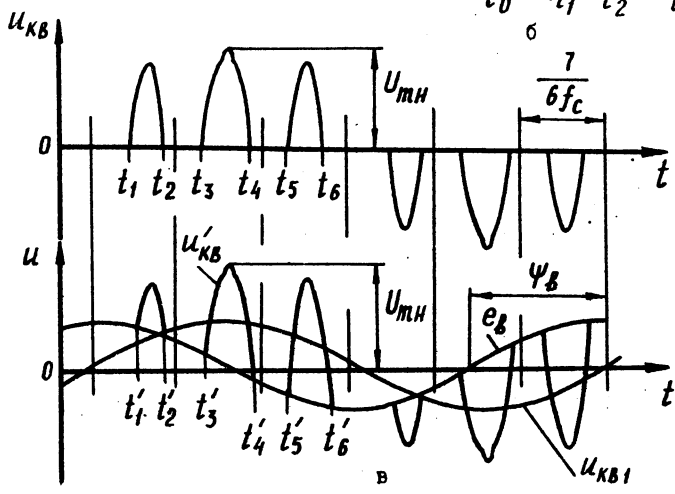
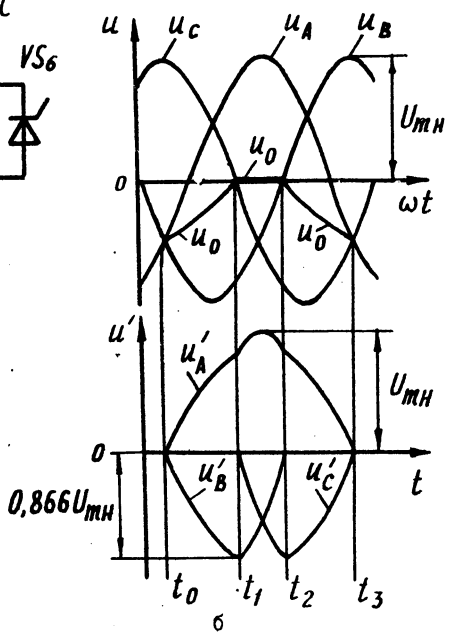
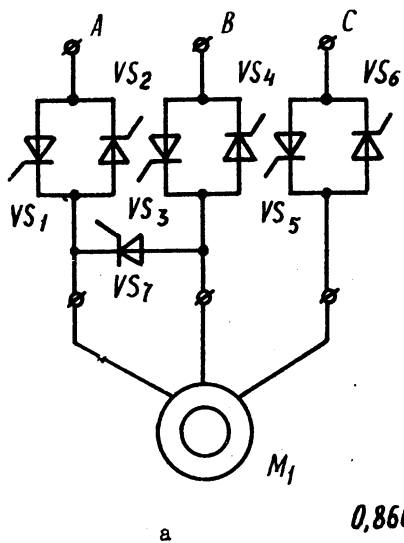


Рис. I

может функционировать, как регулятор напряжения промышленной частоты (ТРН), либо, как формирователь квазисинусоидального напряжения пониженной частоты (ФНЧ). При отпирании тиристоров VS_1, VS_4, VS_7 реализуется индукционно-динамическое торможение асинхронного двигателя (АД).

В режиме ФНЧ тиристоры отпираются чередующимися группами, формируя на выходе СТК участки фазных квазисинусоидальных напряжений $u'_A; u'_B; u'_C$ (рис. 1, б). При включении, например, тиристоров $VS_1; VS_4; VS_6$ эти напряжения описываются уравнениями (табл. I).

Таблица I

Интервалы коммутации тиристоров		
$t_0 - t_1$	$t_1 - t_2$	$t_2 - t_3$
$u'_A = (u_A - u_B) / 2;$	$u'_A = u_A;$	$u'_A = (u_A - u_C) / 2;$
$u'_B = (u_B - u_A) / 2;$	$u'_B = u_B;$	$u'_B = 0;$
$u'_C = 0;$	$u'_C = u_C;$	$u'_C = (u_C - u_A) / 2;$
$u_0 = u_A - (u_A - u_B) / 2$	$u_0 = 0$	$u_0 = u_A - (u_A - u_C) / 2$

В приведенных уравнениях $u_A; u_B; u_C$ - фазные напряжения сети; u_0 - напряжение нулевой точки нагрузки СТК.

Условием формирования одинаковых по гармоническому составу фазных квазисинусоидальных напряжений частоты f_M является выполнение соотношения:

$$f_c / f_M = \nu = 6n \pm 1$$

где f_c - частота напряжения сети; n - число натурального ряда; знак (+) указывает на соответствие порядка чередования напряжений $u'_A; u'_B; u'_C$ порядку чередования напряжений $u_A; u_B; u_C$. При квазичастотном электропитании АД ПСК в случае, если $\nu = 1$, скорость движения ТЦ снижается в (6 ± 1) раз, что согласуется со средней скоростью передвижения человека по забой шахты и обуславливает безопасные условия пуска ПСК.

При $\nu = 6n - 1$ формируются квазисинусоидальные напряжения обратного порядка чередования в фазах, что позволяет реверсировать привод без контактных переключений и создает возможность автоматизации устранения заклинивания ТЦ.

На процессы в системе "СТК-АД" при квазичастотном электропитании существенное влияние оказывает ЭДС вращения (e_g), индуктируемая в статоре полем токов ротора:

$$\left. \begin{aligned} e_g &= E_{gm} \sin(2\pi f_M t + \psi_g); \\ E_{gm} &= I'_{M2(1)} R'_2 ((1 - S_y)/S_y), \end{aligned} \right\}$$

где E_{gm} и ψ_g - амплитуда и начальная фаза ЭДС e_g ; S_y - скольжение АД в поле первой гармоники; $I'_{M2(1)}$ - амплитуда первой гармоники приведенного тока ротора.

Измерениями установлено, что при $\nu = (6 \pm 1)$ ЭДС вращения опережает первую (модулирующую) гармонику квазисинусоидального напряжения на угол $\psi_g \approx 80$ эл. град. В системе "СТК-АД" ЭДС вращения прикладывается к СТК со стороны статора, изменяя углы проводимости тиристоров и величины квазисинусоидальных напряжений на статоре (рис. 1, в). На интервалах проводимости тиристоров эти напряжения описываются выражением:

$$u'_{KB} = u_{KB} - E_{gm} \sin(2\pi f_M t + \psi_g). \quad (1)$$

Характер изменения тока статора АД определяется выражением:

$$u'_{KB}(t) = L_{\sigma\delta} \frac{di'_{KB}}{dt} + i'_{KB} R_{\sigma\delta}, \quad (2)$$

откуда

$$i'_{KB}(t) = e^{-t/T_{\sigma\delta}} \left(C + \int_{t_H}^{t_K} (u'_{KB}(t)/L_{\sigma\delta}) e^{-t/T_{\sigma\delta}} dt \right), \quad (3)$$

где $T_{\sigma\delta} = L_{\sigma\delta}/R_{\sigma\delta}$ - постоянная времени обмоток АД; $C = u(t_H)/Z_{\sigma\delta}$; t_H и t_K - моменты начала и окончания соответствующего интервала коммутации СТК. В момент t_K мгновенное значение квазисинусоидального тока составляет $i'_{KB,K} = i'_{KB}(t_K)$. Начиная с этого момента ток статора снижается с постоянной времени $T_{\sigma\delta}$.

$$i'_{KB} = i'_{KB,K} e^{-t/T_{\sigma\delta}} \quad (4)$$

Исследования на ГЭВМ выявили тенденцию роста квазисинусоидального тока при вращающемся роторе АД в сравнении с пусковым режимом. Соотношения действующих значений квазисинусоидальных токов ($f_M = 7,14$ Гц) при вращающемся и заторможенном роторе со-

ставили $I_{кв.х} / I_{кв.п} = 1,2338$. Соотношение действующих значений пусковых номинального и квазисинусоидального токов составило $I_{нп} / I_{кв.п} = 0,9810$, что обусловило необходимость ограничения продолжительности ступени пусковой пониженной скорости АД ПСК.

Будучи периодическими функциями, квазисинусоидальные напряжения описываются гармоническим рядом:

$$u_{кв.} = \sum_{k=1}^n U_{mn} a_k \sin(k\omega t + \psi_k),$$

где a_k - доля амплитуды k -й гармоники в амплитуде напряжения сети U_{mn} ; ψ_k - угол фазового сдвига k -й гармоники напряжения при $\omega t = 0$.

Каждая из гармонических составляющих напряжения $u_{кв.}$ ($u_{кв.}'$) определяет соответствующие составляющие электромагнитного момента M_k и скольжения S_k АД.

Расчитанная на ПЭВМ для АД средней мощности

(рис. 2), результирующая механическая характеристика I АД является суммой механических характеристик, определяемых соответствующими гармониками напряжения: первой (модулирующей) 2, пятой (модулирующей) 3, седьмой 4 и т.д.

Сравнение результирующей I и естественной 5 механических характеристик АД показывает, что при квазичастотном электропитании синхронная частота вращения ротора (ЧВР) соответствует модулирующей частоте напряжения $u_{кв.}$, при этом пусковой момент АД может быть существенно увеличен. Кривая 6 - результирующая механическая

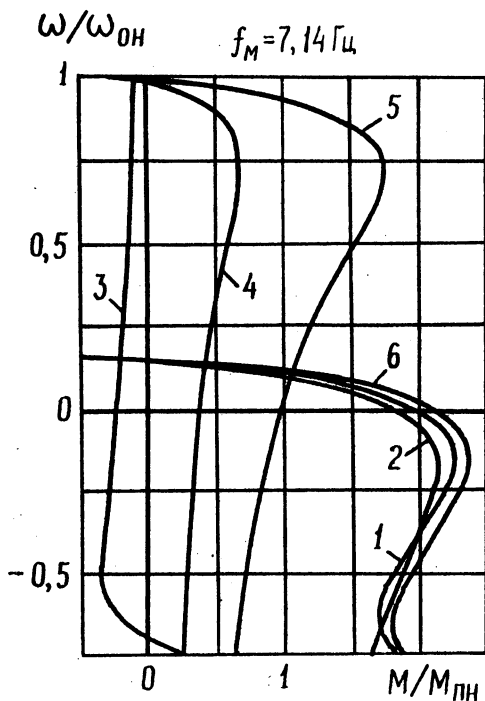


Рис. 2

характеристика АД без учета ЭДС вращения. Она отличается от кривой I величиной пускового момента АД.

В процессе разгона АД предполагается переключение частот питающего напряжения с пониженной на номинальную. В результате, в АД возникает переходный момент. Задача снижения ударных моментов решается за счет программного изменения во времени управляющих воздействий, подаваемых на СТК, и обеспечения фазо-направленного включения последующего режима. С целью повышения плавности разгона привода при включении напряжения частоты сети вводится фазовое регулирование с плавным повышением величины напряжения от фиксированной пониженной (соответствующей электромагнитному моменту АД при частоте напряжения предыдущего режима) до номинальной. В процессе разгона к АД прикладываются напряжения в последовательности частот: $f_c / f_M = 7$; $f_c / f_M = 4$; $f_c / f_M = 3$; $f_c / f_M = 1$.

Одним из эффективных средств защиты ТЦ от порыва при заклинивании является индукционно-динамическое торможение (ИДТ) приводных АД. Ток динамического торможения создается посредством подачи на статор через тиристоры VS_1 ; VS_4 полуволны линейного напряжения (u_1) сети (рис. 3, а). Эффект индукционного торможения создается при замыкании через тиристор VS_7 ЭДС вращения (e_b). В процессе ИДТ имеют место состояния: собственно ИДТ динамическое (ДТ) и индукционное (ИТ) торможение.

В режиме ДТ (полярности u_1 и e_b совпадают) тормозной ток описывается соотношением:

$$i_T R_H + L_H \frac{di_T}{dt} = u_1 - e_b. \quad (5)$$

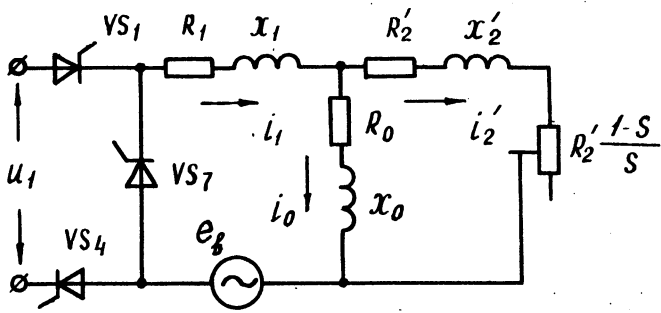
В режиме ИТ (полярность e_b совпадает с проводящим состоянием тиристора VS_7) справедливо соотношение:

$$i_T R_H + L_H \frac{di_T}{dt} = e_b. \quad (6)$$

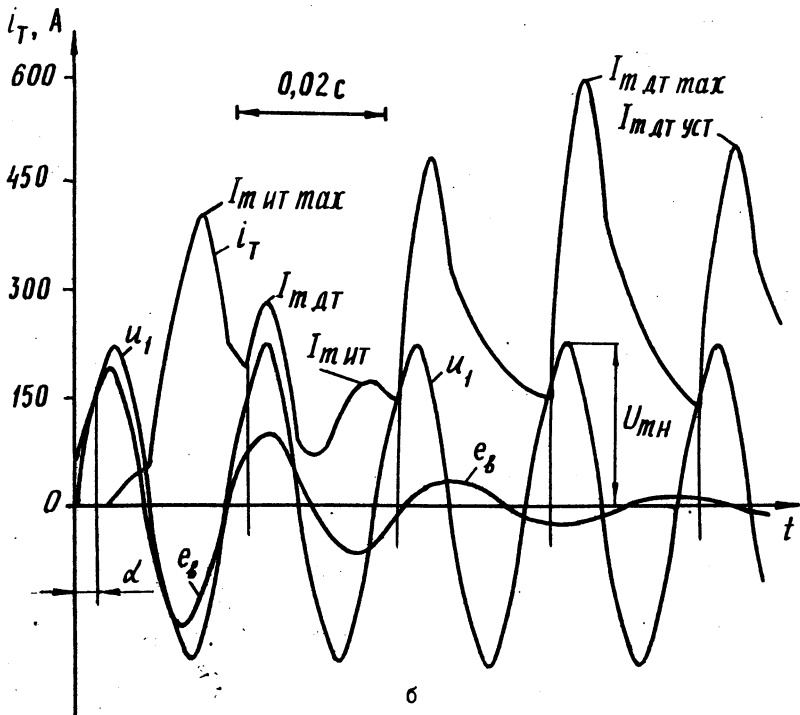
На интервалах ИДТ одновременно протекают токи ИТ и ДТ:

$$i_T R_H + L_H \frac{di_T}{dt} = u_1 - e_b, \quad (7)$$

где R_H и L_H - параметры сопротивления и индуктивности АД при ИДТ.



a



b

Рис. 3

Выражения (5-7) рашаются аналогично (2) (рис. 3, 6). Следует учитывать, что по мере снижения ЭДС вращения ток в тиристоре VS_7 более определяется величиной ЭДС самоиндукции АД. Интенсивность снижения e_g зависит от величины тормозного тока и определяется углом отпирания тиристоров $VS_1; VS_4$. Установлено, что снижение амплитуды тока ИТ описывается выражением:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{ит}} &= I_{\text{ит max}} (1 - e^{-q/(0,1 + hx)})^{1,7}; \\ q &= 715(4,5E-02 + (1E-06)\alpha^2 + (1E-10)(1,43\alpha)^4); \\ h &= 0,113 + (1,06E-12)\alpha^2 + (3E-11)(\alpha/30)(1,67\alpha)^4, \\ x &\equiv t, \text{ с}; \quad x = 2887 t. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Характер повышения амплитуды тока ДТ определяется выражением:

$$I_{\text{м дт}} = I_{\text{м дт max}} (1 - e^{(-x/q)}); \quad (9)$$

$$I_{\text{м дт max}} / I_{\text{ит max}} = 1,37 - (1,39E-05)\alpha^2 - (1E-10)(2\alpha)^4 \quad (10)$$

После исчезновения ЭДС вращения ток ДТ достигает установившегося значения:

$$I_{\text{м дт уст.}} / I_{\text{ит max}} = 1,26 - (5E-05)\alpha^2. \quad (11)$$

где α - угол отпирания тиристоров VS_1 и VS_4 (эл. град.).

Полученные зависимости изменения тормозного тока упрощают переход к зависимостям тормозного момента АД в функции α и текущего времени торможения.

Моделированием на ПЭВМ (при использовании уравнений динамики привода ПСК) установлено, что для привода мощностью 110 кВт параметры системы ИДТ из условия ограничения растягивающих усилий в ТЦ (при стопорении) на допустимом уровне должны удовлетворять следующим требованиям:

- время выявления процесса стопорения ТЦ - не более 0,02 с;
- время отключения АД от сети - не более 0,0083 с;
- интервал бестоковой паузы перед началом ИДТ - $(T + \alpha)$ рад.
- величина угла α не более 72 эл. град.

Эффективность защиты ТЦ от порывов при заклинивании определяется наличием средств быстрогодействующего выявления динамического перегруза. Конструкция ПСК обуславливает приемлемость выявления

перегрузов привода по величине тока, потребляемого им. С целью выделения сигналов о динамическом перегрузе на фоне сигналов о коротких замыканиях и статических перегрузах предложен способ, заключающийся в измерении интервала времени прохождения током привода (при возрастании) двух уровней и сравнении этого интервала с заданным, соответствующим режимам к.з., динамического и статического перегрузов.

С целью выявления тока к.з. через переходное сопротивление, например, электрической дуги, предложено по окончании разгона привода снижать уставку срабатывания защиты до величины, не превышающей двукратный номинальный ток АД. Наряду с этим, установлено, что возникновение к.з. в трехфазной сети синусоидального (непрерывного) тока сопряжено с повышением длительности интервалов времени между моментом равенства мгновенных значений токов двух фаз и моментом последующего прохождения через нуль тока опережающей фазы.

Специфическим аварийным режимом работы электропривода является неполнофазное электропитание АД, обусловленное невключением одного из тиристоров СТК. В этом случае при пуске АД будут иметь место чередующиеся с частотой сети двигательный и тормозной режимы. За время трехфазного электропитания ($T_{\Pi} = \pi$ рад.) в режиме холостого хода АД разгоняется до ЧБР:

$$\omega_1 = T_{\Pi} M_K S / J (0,25 + 1,5 S_K^2), \quad (12)$$

где J - момент инерции АД; M_K и S_K - критические момент и скольжение АД.

Фактическое время последующего динамического торможения АД составляет:

$$T_T = (J \omega_0 / 2 M_{KT}) \int_{S_1}^1 ((S_{KT} / S) + (S / S_{KT})) dS, \quad (13)$$

где M_{KT} и S_{KT} - критические момент и скольжение в режиме ДТ.

С учетом выражений (12) и (13) установлено, что в режиме пуска при невключении тиристора СТК АД типа КОФ-32-4У за время T_{Π} развивает ЧБР до 119,5 об/мин при ускорении $199,17 \text{ с}^{-2}$. В процессе последующего торможения замедление ротора достигает $243,18 \text{ с}^{-2}$, что может вызвать повреждение в приводе.

Предложенная защита от неполнофазного электропитания предус-

матрирует контроль невключения тиристоры СТК при наличии анодных и управляющих напряжений и контроль исправности системы управления тиристорами.

Экспериментальные исследования на лабораторных стендах подтвердили достоверность полученных результатов при обосновании параметров электропривода.

Исследованием системы "ТРН-АД" при ЧВР, близкой к номинальной, и величине углов отпирания тиристоры $\alpha \geq 60$ эл. град. установлен эффект возникновения автоколебаний тока статора, ЭДС вращения, интервалов коммутации тиристоры. Дан анализ процессов и раскрыты предпосылки возникновения автоколебаний. Условием их исключения является ограничение величины α , либо интервала времени, в течение которого $\alpha \geq 60$ эл. град. Этот интервал должен не превышать половину периода автоколебаний.

На основании обоснованных параметров и положительных результатов экспериментальных исследований разработан алгоритм управления СТК в приводе ПСК и создан силовой тиристорный аппарат управления приводом подземного скребкового конвейера (АТКС). Промышленные испытания этого аппарата в приводе ПСК типа СП-202 в шахте "Россия" Ю "Селидовуголь" подтвердили полное соответствие разработанной системы тиристорного асинхронного электропривода предъявляемым требованиям.

Долевой годовой экономический эффект от применения одного аппарата АТКС составил 3,59 тыс. руб.

В работе представлены схемы основных технических решений и намечены основные направления дальнейшего совершенствования тиристорного электропривода ПСК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе научно обоснована разработка асинхронного тиристорного электропривода подземного скребкового конвейера, обеспечивающего плавный пуск со ступенью пониженной скорости скребковой цепи, ограничение динамических усилий в тяговом органе при заклиниваниях с последующим их автоматическим устранением и снабженного быстродействующей защитой от коротких замыканий и неполнофазного электропитания асинхронных двигателей.

Основные научные выводы и результаты работы заключаются в следующем:

1. При квазичастотном электропитании АД ПСК реализуется фиксированная пониженная ЧВР и обеспечивается пуск конвейера с кратковременной ступенью пониженной скорости. При частоте модуляции $f_M = f_c / 6n - 1$ изменяется порядок чередования квазисинусоидальных напряжений в фазах, чем обеспечивается бесконтактное реверсирование привода ПСК и реализуется возможность автоматического устранения заклинивания ТЦ конвейера.

2. В результате воздействия ЭДС вращения АД квазисинусоидальные токи статора при вращающемся роторе выше, чем при неподвижном. В частности, при $f_M = f_c / (6 + 1)$ расчетное соотношение их действующих значений составляет 1,2338, а соотношение пусковых номинального и квазисинусоидального токов АД равно 0,981.

3. Установлена возможность двукратного повышения пускового электромагнитного момента АД ПСК при квазичастотном электропитании, а также ограничения токов и моментов АД посредством фазового регулирования квазисинусоидальных напряжений.

4. Установлено, что при фазовом регулировании напряжения питания АД промышленной частоты при близкой к номинальной ЧВР создаются предпосылки повышения тока, потребляемого АД, и ЭДС вращения ротора. В результате, расширяются интервалы проводимости тиристоры СТК, что ведет к последующему снижению тока, потребляемого АД и ЭДС вращения ротора. Таким образом, в системе "ТРН-АД" возникают автоколебательные процессы. Фактором, препятствующим их протеканию является ограничение углов отпирания тиристоры ($\alpha < 60$ эл. град.), либо времени, в течение которого $\alpha \geq 60$ эл. град.

5. На начальной стадии ИДТ АД его тормозной ток преимущественно определяется величиной ЭДС вращения ротора, индуцируемой в статоре. По мере снижения ЭДС вращения повышается ток ДТ и снижается ток ИТ. Определены зависимости изменения токов ДТ и ИТ от величины угла α отпирания тиристоры. Установлено, что посредством ИДТ обеспечивается ограничение усилий в ТЦ при ее заклинивании на допустимом уровне в случае, если $\alpha < 72$ эл. град. (при мощности привода, не более 110 кВт).

6. Выявление короткого замыкания через переходное сопротивление в сети на выходе СТК может быть осуществлено путем измерения фазовых соотношений токов двух фаз, либо посредством снижения уставки срабатывания максимальной токовой защиты по окончании пуска АД привода.

7. При пуске АД в случае не включения одного из тиристорных СТК возникают динамические удары ротора, определяющиеся чередованием с частотой сети двигательных и тормозных моментов. Процесс сопровождается повышением тока статора АД до величины, равной 1,3 - 1,5 номинального пускового тока. Предложены быстродействующие устройства защиты от неполнофазного электропитания АД, действие которых основано на контроле состояния тиристорных СТК при наличии анодных и управляющих напряжений и на контроле работоспособности системы управления СТК.

8. Результаты настоящих исследований использованы при создании экспериментального образца силового тиристорного аппарата АТКС управления приводами ПСК. Промышленные испытания аппарата АТКС в системе электропривода ПСК типа СП-202, проведенные в шахте "Россия" Ю "Селидовуголь" подтвердили его работоспособность, соответствие фактических параметров теоретически обоснованным, рациональность технических решений, принятых при разработке. Долевой экономический эффект от внедрения аппарата АТКС составил 3,59 тыс. руб. в год.

9. Полученные результаты использованы институтом "Автоматгор-маш" при разработке совместно с Донецким политехническим институтом технического задания на аппарат управления пуском привода горной машины (АГМ) и Макеевским заводом шахтной автоматики при создании опытных образцов аппаратов АГМ и организации их серийного производства.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Простой добычных участков угольных шахт из-за несовершенства защиты скребковых конвейеров / И.Т.Сидоренко, К.Н.Маренич // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев: Техника, 1986.- Вып. 48, С.79 - 81.

2. Квазичастотный тиристорный электропривод шахтного скребкового конвейера / И.Т.Сидоренко, К.Н.Маренич // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев: Техника, 1987.- Вып. 51, С. 58 - 62.

3. Сидоренко И.Т., Маренич К.Н. Процесс в тиристорном электроприводе шахтного скребкового конвейера при пуске / Донецкий политехнический институт, Донецк, 1990.- 18 с.- Библиогр.: 4 назв. - Деп. в УкрНИИТИ 06.12.90. №1990.

4. А.с. И173505 СССР, МКИ⁴ H02M7/00 Способ управления трех-

13. Маренич К.Н. Совершенствование электропривода шахтных скребковых конвейеров // Тез. докл. IV Респ. конф. "Молодые ученые - научно-техническому прогрессу в угольной промышленности", Донецк, 25-26 мая 1984 г. - Донецк. - С. 65.

14. А.с. I221094 СССР, МКИ⁴ В65G23/00. Способ пуска конвейера / И.Т.Сидоренко, К.Н.Маренич, В.В.Люсий, Б.Д.Ворисов (СССР). - №3799200/27-03; Заявлено 05.10.84; Опубл. 30.06.86, Бюл. № 12. - 5 с.: 4 ил.

15. А.с. I453513 СССР, МКИ⁴ H02H7/08. Устройство для защиты асинхронного электропривода от аварийных токов / И.Т.Сидоренко, К.Н.Маренич, В.Б.Шевчик, С.В.Дзюбан (СССР). - №4306976/24-07; Заявлено 21.09.87; Опубл. 23.01.89; Бюл. № 3. - 5 с.: 3 ил.

16. Маренич К.Н. Процессы в системе "тиристорный коммутатор - асинхронный двигатель" при фазовом и квазичастотном регулировании напряжения // Преобразование параметров электрической энергии в энергетических и технологических установках: Сб. науч. трудов. - Киев: Ин-т электродинамики АН УССР, 1991. - С. 57-63.

Личное участие соискателя в работах, результаты которых опубликованы в соавторстве: / 1 / - статистическая обработка данных и их анализ; / 2 /, / 3 / - разработка математической модели тиристорного электропривода ПСК при квазичастотном электропитании; / 4 / - / 6 /, / 12 /, / 14 /, / 15 / - участие в разработке идеи изобретения; / 7 / - анализ результатов экспериментальных исследований; / 8 / - разработка математической модели электропривода ПСК в режиме индукционно-динамического торможения; / 9 / - обоснование принципа выявления токов к.з. электрической сети; / 10 / - моделирование процессов при пуске АД в случае неотпирания тиристора СТК; / 11 / - обоснование принципа построения систем импульсно-фазового управления для тиристорного электропривода горных машин.

Подп. в печать 21.10.91. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага множит. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 1,16. Усл. кр.-отг. 1,39. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 120 экз. Заказ 4-6998.
Бесплатно.

Донецкий политехнический институт, 340000, Донецк, ул. Артема, 58

ДМАПП, 340050, Донецк, ул. Артема, 96