

Г 47

На правах рукописи

Инженер ГИЛЕВИЧ Олег Ильич

629.423 : 621.3.02

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТЯГИ ЭЛЕКТРОВЗОВ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ
РАЗРАБОТОК

Специальность : 05.02.09 - Электрификация
железнодорожного транспорта

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

НТБ
ДНУЖТ

Работа выполнена в Специальном проектно-конструкторском и технологическом бюро по промышленным электровозам (СКБ ДЭВЗ).

Исследования проводились в лаборатории СКБ, на Днепропетровском Электровозостроительном заводе и на Лебединском горнообогатительном комбинате (г.Губкин).

Научный руководитель -
кандидат технических наук, доцент ВИСИИ Н.Г.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор ЗОРОХОВИЧ А.Е.

Кандидат технических наук, доцент КИГЕЛЬ Г.А.

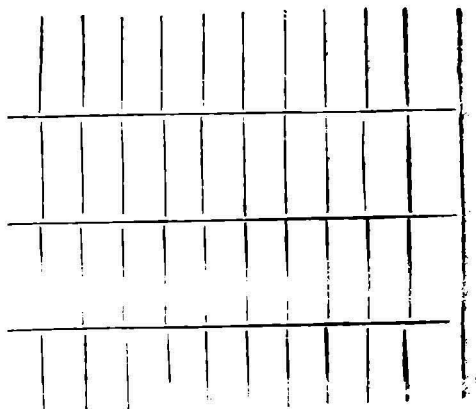
Ведущее предприятие - Лебединский горнообогатительный комбинат.

Автореферат разослан "12" сентября 1974г.

Защита диссертации состоится "18" сентября 1974г.

в _____ часов на заседании ученого совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, г.Днепропет-

пете институте.



А.Ф.ЛОГВИН

НТБ
ДНУЖТ

Министерство путей сообщения СССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Инженер **ГУЛЕНИЧ Олег Ильич**

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТЯГИ ЭЛЕКТРОВЗОВ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ
РАЗРАБОТОК

Специальность **СГ.22.09 - Электрификация
железнодорожного транспорта**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НТБ
ДНУЖТ

Директивы XXIV съезда КПСС по 9-летнему плану предусматривают значительное увеличение объема добычи железной руды. Большая роль в обеспечении народного хозяйства железной рудой отводится горно-обогатительным комбинатам Курской магнитной аномалии, объем годовой выработки на которых к 1975 году должен достичь 40 млн. тонн товарной руды. Карьеры Курской магнитной аномалии должны, в соответствии с Комплексной программой социалистической экономической интеграции, принятой XXV сессией СЭВ, стать сырьевой базой металлургии центра Европейской части СССР.

Увеличивающиеся объемы выработок требуют проведения комплекса организационно-технических мероприятий, обеспечивающих резкое повышение производительности труда. Эти мероприятия намечены в Постановлении ЦК КПСС об организационной работе Белгородского и Курского обкомов партии, опубликованном 31 мая 1973 года и ряде других решений ЦК КПСС и Совета Министров СССР.

Основным резервом в увеличении объемов производства руды является повышение производительности труда на всех этапах производства, в том числе и при работе железнодорожного транспорта карьеров.

Значительный эффект в повышении провозной способности локомотивосостава в условиях больших подъемов железнодорожных путей карьеров дает внедрение автоматического регулирования режимов работы электрообдвижного состава /ЭПС/, обеспечивающее повышение допустимого веса поезда до 10-15%. Задача автоматизации управления локомотивосоставом определена транспортным управлением МЧМ СССР как одна из главных задач, решение которых обеспечивает повышение производительности транспорта открытых горных разработок.

НТБ
ДНУЖТ

Вопросам создания систем автоматического регулирования ЭПС посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов.

Работы в этом направлении ведутся во Всесоюзном НИИ железнодорожного транспорта под руководством д.т.н. Тихменева Б.Н. и к.т.н. Капустина А.Д., в Ленинградском институте инженеров железнодорожного транспорта под руководством проф. Сидорова Н.Н. и к.т.н. Некрасова В.И., в Московском энергетическом институте под руководством д.т.н. Буримова И.С., д.т.н. Розенфельда В.Е. д.т.н. Трахтмана Л.М., к.т.н. Петрова Б.П., к.т.н. Тулупова В.Д. в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта и др. Вопросы оптимизации управления ЭПС посвящен ряд работ д.т.н. Исаева И.П. Работы по созданию промышленного электроподвижного состава ведутся в Днепропетровском горном институте под руководством д.т.н. Волотковского С.А.

Большое внимание вопросам автоматизации ЭПС уделяют фирмы в Японии, США, Франции, ФРГ и Швеции.

Однако широкое внедрение систем автоматического регулирования на отечественном электроподвижном составе открытых горных разработок (ЭПС, ОР) сдерживалось в связи с отсутствием надежных, стабильных управляющих устройств, которые обеспечивали бы устойчивую работу ЭПС во всех характерных режимах, соответствуя при этом требованиям технологичности изготовления на предприятиях электровозостроения, а также отсутствием инженерной методики расчета и синтеза систем регулирования режимов указанного ЭПС с учетом характерных особенностей его работы в условиях карьеров.

Целью реферируемой работы является создание и исследование системы автоматического регулирования силы тяги электровозов переменного тока для открытых горных разработок, обеспечивающей высокие

НИИ
ДНУЖТ

регулирующие свойства в специфических условиях эксплуатации и имеющей управляющие элементы с высокой степенью унификации для электровозов постоянного и переменного тока, а также разработка инженерной методики синтеза САР и расчета ее элементов .

Общая методика выполнения исследований. В диссертации на основании анализа режимов работы электроподвижного состава открытых горных разработок установлена техническая целесообразность и возможность применения системы автоматического регулирования силы тяги и скорости электровозов, определены требования к САР и ее элементам .

На основании анализа квазистатических режимов САР определена методика расчета параметров системы .

Теоретическим исследованием динамики системы определена методика синтеза САР и способ ее коррекции . Расчет системы производился с помощью ЭЦВМ . Результаты расчетов проверялись на физической модели мощностью 50 квт и на тяговом агрегате переменного тока ОПЭЭ , имеющем мощность часового режима 5320 квт .

Научная новизна . В работе предложена система автоматического регулирования с управляемой интенсивностью, основанная на разработанном автором фазосдвигающем устройстве цифрового действия, разработана методика расчета элементов системы .

Разработана методика структурного синтеза САР с управляемой интенсивностью и ее элементов. На основе анализа поведения системы при типовых возмущающих воздействиях получены пригодные для решения на ЭЦВМ дифференциальные уравнения, описывающие переходные процессы в системе и соотношения для расчета устойчивости системы .

Практическая полезность. Разработанная САР силы тяги электровозов переменного тока с многозонным регулированием напряжения имеет один одноканальный фазорегулятор для всех зон, построенный на уни-

дированных, освоенных промышленностью логических элементах, что позволяет значительно повысить технологичность и снизить трудоемкость изготовления, упростить настройку элементов системы управления электровоза.

Разработанная методика синтеза системы автоматического регулирования, используется при проектировании в Специальном проектно-конструкторском и технологическом бюро по промышленным электровозам новых типов тяговых агрегатов переменного и постоянного тока (ОПЭЗ^М и ПЭЗ^Т) с регулированием напряжения с помощью тиристоров, предназначенных для работы на карьерах Курской магнитной аномалии, Соколовско-Сарбайского горнообогатительного комбината и других .

Внедрение предложенной системы автоматического регулирования позволит повысить устойчивость работы ЭПС ОПР при значительных величинах скачкообразного изменения напряжения контактной сети, характерных для условий работы ЭПС , а также решить один из вопросов проблемы комплексной автоматизации управления железнодорожным транспортом открытых горных разработок .

Практическая ценность и новизна работы подтверждена тремя авторскими свидетельствами и одним решением о выдаче авторского свидетельства .

Диссертация содержит введение, семь глав и приложения .

В первой главе приведен анализ основных режимов работы системы автоматического регулирования электроподвижного состава открытых горных разработок. Установлено, что основными режимами работы ЭПС ОПР в режиме тяги являются :

а)подвижка поезда при погрузке под экскаватором в забое или при разгрузке (режим медленной скорости) ;

б)пуск груженого поезда в забое ;

НТБ
ДНУЖТ

- в) пуск груженого поезда на расчетном подъеме ;
- г) движение груженого поезда на расчетном подъеме с установившейся скоростью ;
- д) движение груженого поезда по перевальному профилю ;
- е) движение с постоянной скоростью по площадке .

Для повышения веса поезда необходимо обеспечить оптимизацию режима пуска по принципу максимального использования сцепных свойств локомотива. На основании исследований, проведенных под руководством д.т.н., профессора Исаева И.П. установлено, что система автоматического пуска должна обеспечить возможно более быстрый рост силы тяги в начальный момент пуска с последующим уменьшением темпа роста .

Приближенно, закон изменения силы тяги, обеспечивающий оптимальные условия пуска, можно представить в виде

$$F = F_{\text{пк}} (1 - e^{-t/\tau}) \quad (I)$$

На основании анализа условий работы САР автором установлено, что ее функции состоят в обеспечении следующих режимов

1. Изменение тока тяговых двигателей при пуске по закону, обеспечивающему максимальное использование сцепных свойств локомотива .

2. Поддержание определенной величины тока двигателей в процессе увеличения скорости поезда .

3. Переход от режима стабилизации тока к режиму стабилизации скорости .

4. Стабилизация скорости при погрузке или разгрузке поезда .

При этом основными возмущающими воздействиями на САР являются управляющее воздействие, изменение напряжения за токоприемнике и изменение статического момента . Все перечисленные воздействия в большинстве случаев имеют вид ступенчатой функции .

В работе установлено, что так как обычно нет необходимости в одновременном регулировании тока и скорости, то система может строиться как САР одного параметра с переменной структурой.

Во второй главе произведен анализ силовой части системы автоматического регулирования электроподвижного состава перамавного тока. Силовая часть системы состоит из двух функциональных звеньев

- регулирующего органа, представляющего собой управляемый выпрямитель и силовой трансформатор
- объекта регулирования в виде тягового двигателя последовательного возбуждения

Управляющим воздействием, определяющим величину напряжения на выходе преобразователя, является фаза управляющих импульсов тиристоров.

Возмущающим воздействием на преобразователь является изменение напряжения контактной сети, а также управляющее воздействие на изменение фазы отпирания тиристоров. Динамика преобразователя определяется передаточными функциями образующих его структурных звеньев.

Передаточные функции силового трансформатора получены на основе анализа его схемы замещения как четырехполюсника из Т-образной схемы замещения трансформатора.

Изменение вторичного напряжения при изменении первичного напряжения определяется соотношением

$$W_U = \frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1} = \frac{K_T T_1 P}{T_1 P + 1} \quad (2)$$

где T_1 - постоянная времени, определяемая индуктивностью и активным сопротивлением первичной цепи; K_T - коэффициент трансформации.

НТБ
ДНУЖТ

Управляемый выпрямитель представляет собой последовательно соединенные несимметричные мосты, число которых равно числу зон регулирования .

В условиях работы ЭПС без рекуперации скорость изменения сигнала управления не превышает граничной для преобразователя и при анализе процессов с учетом средних значений токов тягового двигателя, управляемый выпрямитель не вносит инерции в систему регулирования, что дает возможность представить его как пропорциональное звено

$$U_d = K_v \cdot \alpha \quad (3)$$

где U_d - напряжение на выходе преобразователя ;
 K_v - коэффициент передачи преобразователя ;
 α - угол регулирования, изменяемый в связи с большими значениями угла коммутации вентилей, в пределах от 165 до 15 эл.градусов .

Объектом регулирования САР является тяговый двигатель постоянного тока. Рассматриваются тяговые двигатели последовательного возбуждения в связи с наибольшим распространением последних на отечественном ЭПС .

Тяговый двигатель последовательного возбуждения характеризуется нелинейностью зависимости отношения противоэлектродвижущей силы к скорости вращения от тока двигателя. Поэтому, анализ динамики производится на основе метода малых приращений с применением линеаризации на интервалах .

Передаточные функции тягового двигателя, как звена САР, получены для возмущений по напряжению контактной сети и по статическому моменту на основании общего уравнения динамики электропривода постоянного тока с двигателями последовательного возбуждения .

Передаточная функция по напряжению

НТБ
ДНУЖТ

$$W_U = \frac{K_{\Sigma} T_{MP}}{T_{\Sigma} T_{MP}^2 + T_{MP} + 1} \quad (4)$$

Передаточная функция по статическому моменту

$$\dot{W}_M = \frac{K_{\Sigma \Phi}}{T_{\Sigma} T_{MP}^2 + T_{MP} + 1} \quad (5)$$

причем

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{R + C_{\Phi} \Psi_i K_V V_0} \quad (6)$$

$$K_{\Sigma \Phi} = \frac{\mathcal{D}}{2 K_{\Sigma \Pi} C_M \Psi_i (J_H + 2J_0)_i} \quad (7)$$

$$T_M = \frac{(R + C_{\Phi} \Psi_i K_V V_0) [\tau_T (1 + \gamma_T) + m_T] \mathcal{D}}{2 K_{\Sigma \Pi} K_V C_{\Phi} C_M \Psi_i^2 (J_H + 2J_0)_i (J_H + J_0)_i} \quad (8)$$

$$T_{\Sigma} = K_{\Sigma} L \quad (9)$$

$$\Psi_i = \frac{\Delta \left(\frac{E}{H} \right)_i \cdot \frac{1}{C_{\Phi}}}{\Delta J_i} \quad (10)$$

- где
- R - суммарное активное сопротивление цепи двигателя ;
 - $C_{\Phi}; C_M$ - постоянные тягового двигателя ;
 - Ψ_i - коэффициент линеаризации кривой намагничивания тягового двигателя на L -том интервале
 - $K_{\Sigma \Pi}$ - коэффициент зубчатой передачи локомотива ;
 - m_T - масса тары поезда ;
 - $(1 + \gamma_T)$ - коэффициент приведения массы
 - m_r - масса груза ;
 - \mathcal{D} - диаметр колеса локомотива

$K_v = \frac{n}{V}$ - скоростной коэффициент

На основании полученных соотношений в работе дана методика расчета передаточной функции тягового двигателя последовательного возбуждения .

В третьей главе произведен анализ требований к элементам управления САР, которые включают

а) фазосдвигающее устройство и усилитель-формирователь импульсов управления, образующие исполнительный орган ;

б) задающее устройство, состоящее из узла программного регулирования тока, задатчиков тока и скорости ;

в) датчики тока и скорости ;

г) элементы сравнения ;

д) усилители цепей обратных связей ;

е) корректирующие цепи

Определены особенности работы управляемых выпрямителей ЭПС ОИР, связанных с многозонным регулированием, наличием значительных углов коммутации вентилей, большими скачками напряжения контактной сети, возможностями кратковременного отключения питающего напряжения .

Показано, что ФСУ на магнитных элементах могут быть выполнены с достаточным быстродействием (при использовании дросселей насыщений) и обладают высокой устойчивостью против импульсных помех, однако при этом имеют ряд недостатков

- большой коэффициент температурной нестабильности магнитной проницаемости, приводящий к нестабильности характеристик ;

- нестойкость к механическим воздействиям ;

- низкая технологичность изготовления .

НТБ
ДНУЖТ

Фазосдвигающие устройства на „вертикальном“ принципе обеспечивают высокую степень симметрии по каналам, однако из-за значительного разброса параметров составляющих элементов (разброс величин емкости и сопротивлений, коэффициентов усиления транзисторов), требуют специальной настройки. Низкая стабильность по цепи управления „вертикальных“ ФСУ требует введения фильтров, что снижает их быстродействие .

Кроме того на указанных типах ФСУ затруднено построение САР при многозонном способе регулирования напряжения. Низкая степень унификации элементов этих ФСУ усложняет процесс их изготовления в условиях электровозостроительных предприятий.

Перечисленные не оспатки рассмотренных ФСУ определили необходимость разработки управляющих элементов нового типа .

В четвертой главе выполнена разработка фазосдвигающего устройства дискретного действия для системы автоматического регулирования с управляемой интенсивностью .

Предложенное автором ФСУ основано на сравнении двоичных кодов, записываемых в двух счетчиках. Тактовый счетчик (ТСИ) изменяет свое состояние циклически с частотой, кратной частоте сети и синхронно последней.

Реверсивный счетчик (РСУ) изменяет свое состояние с частотой, определяемой величиной сигнала управления на входе генератора импульсов низкой (изменяемой) частоты, причем изменение состояния РСУ может происходить как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения записанного в нем числа. Импульс на выходе дискретного ФСУ (ДФСУ) формируется при совпадении состояний ТСИ и РСУ.

Изменяя частоту импульсов, поступающих на вход РСУ от генератора управления (ГУ) можно регулировать скорость изменения фазы управляющих импульсов, т.е. интенсивность изменения напряжения

на выходе управляемого выпрямителя, что обеспечивает возможность управления интенсивностью изменения тока (и, следовательно, силы тяги) тягового двигателя при пуске .

Предложенное ФСУ из-за дискретности действия практически не требует наличия подстроечных элементов, обеспечивает возможность построения управляющих устройств на основе унифицированных, освоенных промышленностью, узлов типа логических элементов. При ручном управлении ДФСУ обеспечивает необходимую плавность изменения тока двигателей, т.к. темп изменения определяется частотой генератора управления, регулируемой в широком диапазоне . При автоматическом регулировании, как показывает дальнейший анализ, за счет обеспечения зависимости частоты ГУ от величины сигнала управления, создается возможность демпфировать переходные процессы в САР

По сравнению с дискретными ФСУ, имеющими распространение в промышленности, предложенное автором ДФСУ не требует изменения кода реверсивного счетчика в каждый полупериод, что повышает надежность и устойчивость устройства .

Перечисленные преимущества предложенного ДФСУ определяют целесообразность применения его на электроподвижном составе в качестве элемента системы автоматического регулирования .

Основными элементами ДФСУ с управляемой интенсивностью являются счетчики импульсов и дешифратор .

Число разрядов счетчиков n определено из квазистатического режима САР по условию допустимого прироста тока тягового двигателя и связано с частотой сети f_c и частотой генератора тактовых импульсов $f_{тги}$

$$f_{тги} = 2 \cdot 2^n f_c \quad (II)$$

НТИ
ДНУЖТ

Синтез схемы дешифратора произведен на основе соотношений алгебры логики. Дешифратор представляет собой связанные попарно по схеме «И» выходы соответствующих разрядов ТСИ и РСУ. Выходы схем «И» соединены попарно схемами «ИЛИ», выходы которых связаны логической операцией «И»

В работе определена передаточная функция предложенного дискретного ФСУ. Структурно дискретное фазосдвигающее устройство разбито на два звена направленного действия генератор с регулируемой частотой и узел суммирования, состоящий из двух счетчиков и дешифратора.

Общая передаточная функция дискретного ФСУ при безинерционной входной цепи генератора управления

$$W_y = \frac{K_y}{p} \quad (12)$$

т.е. имеет вид интегрирующего звена, где K_y - коэффициент передачи ФСУ (инерционность цепи обратной связи учитывается передаточной функцией датчика тока с усилителем и фильтром)

В пятой главе произведена разработка методики расчета параметров системы автоматического регулирования с управляемой интенсивностью карьерного ЭПС по условиям квазистационарных режимов работы.

На основании анализа САР установлено, что хотя она в общем случае представляет собой двумерную систему регулирования двух параметров (тока и скорости), расчет режимов работы системы можно производить, рассматривая ее как квазиавтономную САР одного параметра.

На основании математического описания элементов, входящих в САР, построены ее структурные схемы для различных воздействий. Рассматриваемая САР тока представляет собой систему стабилизации

Н. В. ДНУЖТ

тока, работающую в начальный период пуска как САР с жесткой программой. Получены передаточные функции САР, определяющие реакцию системы на различные виды возмущающих воздействий

- при изменении управляющего воздействия

$$W_y = \frac{K_y K_0 K_2 T_m (T_2 p + 1)}{(T_2 p + 1) D(p) + K_y K_0 K_2 K_3 T_m} \quad (13)$$

- при воздействии изменяющегося статического момента

$$W_M = \frac{K_{\Delta\omega} D(p) (T_2 p + 1)}{(T_2 T_m p^2 + T_m p + 1) [(T_2 p + 1) D(p) + K_y K_0 K_2 K_3 T_m]} \quad (14)$$

- при изменении напряжения контактной сети

$$W_H = \frac{K_T K_3 T_m T_1 p^2 (T_2 p + 1)}{(T_1 p + 1) [(T_2 p + 1) D(p) + K_y K_0 K_2 K_3 T_m]} \quad (15)$$

В этих выражениях

$$D(p) = T_m [T_2 + (T_1 - T_2) z_2 K_3] p^2 + T_m (K_3 z_2 + 1) p + 1 \quad (16)$$

$K_T; T_1; T_2; z_2$ - параметры тягового трансформатора ;

$K_{\Delta\omega}; K_3; T_2; T_m$ - параметры тягового двигателя ;

K_y - коэффициент передачи дискретного ФСУ ;

K_0 - коэффициент передачи управляемого выпрямителя ;

$K_3; T_2$ - коэффициент передачи и постоянная времени датчика тока .

Все параметры образующих САР элементов разделены на основные (неварьируемые) и варьируемые .

В число варьируемых параметров входят передаточная функция исполнительного устройства , передаточная функция цепи измерительной обратной связи, передаточные функции корректирующих связей .

НТ
ДНУЖТ

На этапе синтеза основного контура регулирования произведен расчет передаточной функции регулятора тока, состоящего из регулятора интенсивности и измерительной обратной связи. В предложенной системе величина напряжения задатчика тока определяет не только величину установки тока двигателя, но и начальную частоту генератора управления дискретного фазосдвигающего устройства, т. е. интенсивность роста тока двигателей в начальной стадии пуска.

Предложен метод расчета частоты генератора управления по двум условиям

- по условию максимальной интенсивности роста силы тяги при реализации оптимальной пусковой диаграммы ;
- по условию демпфирования броска тока двигателей при резком увеличении напряжения контактной сети с целью предотвращения срабатывания защиты .

Интенсивность роста силы тяги должна иметь максимальную величину в начальной стадии пуска, при этом изменение тока двигателя при пуске описывается экспоненциальным законом. Соотношение, определяющее максимальное значение частоты генератора управления при пуске

$$f_{\max} = \frac{N}{36t_{\text{пуск}}} \left[180 - \arccos \left(\frac{I_{n\max} R_{II}}{U_m} - 1 \right) \right] \quad (17)$$

$t_{\text{пуск}}$ - время пуска ;

U_m - амплитуда напряжения на пусковой зоне

$I_{n\max}$ - максимальное значение пускового тока .

Максимальное значение частоты генератора по условию компенсации броска тока тягового двигателя при увеличении напряжения питания получено в виде

НТБ
ДНУЖТ

$$f_{\max} = \frac{N}{180t} \operatorname{arccos} \left[\frac{e_{m2} - e_{m1}}{L \left(\frac{1}{\tau^2} + \theta^2 \right)} \theta - \frac{U_{m2} - 2U_{m1}}{\pi R} \right] \frac{\pi R}{U_{m2}} \quad (18)$$

где U_{m1}, U_{m2} - амплитуды напряжения питания соответственно до скачка напряжения и после скачка ;

e_{m1}, e_{m2} - величины амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения ;

L - индуктивность цепи двигателя ;

$$\theta = 4\pi f_c$$

Из условия поддержания постоянной величины среднего тока двигателя при скачке напряжения сети значение f_{\max} получено в виде

$$f_{\max} = \frac{N}{180t} \left[\operatorname{arccos} \left(\frac{I_{cp} \pi R}{U_{m2}} - 1 \right) - \operatorname{arccos} \left(\frac{I_{cp} \pi R}{U_{m1}} - 1 \right) \right] \quad (19)$$

На основании анализа выражений, определяющих значение f_{\max} показано, что для компенсации скачка напряжения сети оно должно быть значительно больше, чем определяемое по условию пуска .

При этом установлено, что САР должна иметь переменную структуру при воздействии скачка напряжения питания необходимо вводить упреждающее ограничение напряжения. На основании анализа квазистатического режима САР с управляемой инерционностью в работы получены соотношения для определения числа разрядов счетчиков дискретного ФСУ

$$N = \frac{180}{\operatorname{arcsin} \frac{2U_s \pi R}{K_s U_m}} \quad (20)$$

где $\tilde{U}_s = K_s I_s$ - порог чувствительности нуля органа дискретного ФСУ ;

I_s - допустимое отклонение тока двигателя от заданной величины .

Закон изменения тока двигателя при пуске получен приближенно в виде

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІО
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

НТБ
ДНУЖТ

$$J_d = \frac{2,3 K_f U_m J_3 t}{\pi R N \left(1 + \frac{2,3 U_m K_f t}{\pi R N}\right)} \quad (21)$$

где J_3 - заданная величина пускового тока

$$K_f = \frac{f_{\max}}{J_3} \quad (22)$$

На основании проведенного анализа и полученных соотношений дана методика расчета параметров основного контура САР.

Анализ передаточных функций замкнутой САР показал, что устойчивость системы при всех типах возмущающих воздействий определяется характеристическим уравнением

$$\begin{aligned} T_0 T_m [T_3 + K_3 (T_1 - T_2) \tau_2] \lambda^3 + \{ T_0 T_m (K_3 \tau_2 + 1) + \\ + T_m [T_3 + K_3 (T_1 - T_2) \tau_2] \} \lambda^2 + [T_m (K_3 \tau_2 + 1) + T_0] \lambda + \\ + K_u K_v K_a K_3 T_m + 1 = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

С помощью критерия Рауса получено необходимое условие устойчивости рассматриваемой САР с управляемой интенсивностью при изменении переменных параметров системы - тока и скорости тягового двигателя. Из необходимого условия получено достаточное условие устойчивости САР в виде

$$\tau_2 - T_0 K_u K_v K_a \geq 0 \quad (24)$$

Предварительная оценка качества переходных процессов дала возможность рассчитать параметры цепи упреждающей коррекции по напряжению.

Шестая глава посвящена теоретическому исследованию переходных процессов в разработанной системе автоматического регулирования. Установлено, что в общем случае САР должна представ-

НЕ
ДРУЖТ

лять собой систему регулирования двух параметров, обобщенная принципиальная схема которой, не зависящая от рода тока контактной сети и способа преобразования напряжения, приводится в работе (рис.1). Предложенная схема позволяет производить переключение контуров регулирования в зависимости от режима работы тягового электропривода по иерархическому принципу, что обеспечивает независимое регулирование тока и скорости. При этом система анализируется как САР одного параметра.

В работе предложена практическая схема системы регулирования с управляемой интенсивностью и целью управляющей коррекции при скачкообразном изменении напряжения питания.

Анализ переходных процессов в САР с управляемой интенсивностью при наличии возмущающих воздействий по напряжению контактной сети, по изменению установки задатчика и по изменению статического момента произведен на основании рассмотрения соотношений, связывающих изменение регулируемого параметра системы с возмущающим воздействием, которые в общем виде могут быть представлены как

$$\frac{x}{f} = \frac{M(p)}{N(p)} \quad (25)$$

где

$M(p); N(p)$ - полиномы от p
 x - регулируемый параметр;
 f - возмущающее воздействие

При построении переходных процессов приходится решать громоздкие уравнения четвертого и шестого порядка. Учитывая, что возмущающее воздействие в рассматриваемой системе носят преимущественно вид единичного скачка, расчет кривых переходных процессов производится классическим методом с помощью ЭЦМ, использование которых при наличии стандартных программ позволяет значительно

НИИ
ДНУЖТ

ускорить процесс анализа динамики САР .

Построение кривых переходных процессов дало возможность произвести окончательное уточнение варьируемых коэффициентов системы регулирования.

На основании полученных соотношений и метода анализа динамики системы определен порядок синтеза системы автоматического регулирования с управляемой интенсивностью .

В седьмой главе приведены результаты экспериментальных исследований предложенной автором системы автоматического регулирования с управляемой интенсивностью на физической модели. В качестве приводного двигателя использовался тяговый двигатель последовательного возбуждения типа ДК 258А , имеющий номинальную мощность 50 квт .Имитация прицепной части поезда осуществлялась двумя двигателями ДТ-9, имеющими ток часового режима 330 а и номинальное напряжение 1500 в , один из которых работал как генератор независимого возбуждения с нагрузкой в виде активного сопротивления .

В процессе экспериментальных исследований проверялась устойчивость работы предложенной САР в характерных режимах и правильность разработанной методики ее расчета .

Исследование устойчивости работы САР с управляемой интенсивностью производилось путем имитации рассматриваемых режимов и осциллографирования процессов в системе .Осциллографирование подтвердило ожидаемое качество работы дискретного фазосдвигающего устройства. В частности, при имитации отрыва токоприемника возможность хранения информации реверсивным счетчиком обеспечивает при восстановлении напряжения плавное нарастание тока тягового двигателя до первоначального значения без перерегулирования, т.е. система имеет высокую степень инвариантности по отношению к

возмущению по напряжению контактной сети .

В процессе экспериментов подтвердилась возможность ограничения диапазона регулирования фазы управляющих импульсов от 160 до 20 эл.градусов , т.к. рост тока двигателей имеет место только с угла регулирования 162-159 эл.градусов, а минимальный угол естественной коммутации составляет 10-15 эл.градусов .

Сравнение экспериментальных и расчетных кривых изменения тока подтвердило правильность полученных соотношений.

Проверка аналитических зависимостей, определяющих динамику САР с управляемой интенсивностью производилась путем сравнения экспериментальных графиков переходных процессов в модели системы автоматического регулирования тока с рассчитанными на основании полученных в работе соотношений с помощью ЭЦВМ "Минск-22" графиками. Сравнение показывает, что расхождение кривых как по величине динамической ошибки регулирования, так и по времени переходного процесса при воздействии скачка напряжения питания не превосходит 15 % , что определяет правильность принятых в работе допущений и полученных методик расчетов и позволяет рекомендовать их для практического применения. Предложенная система автоматического регулирования и методика ее расчета были использованы при разработке опытной системы для тягового агрегата переменного тока типа ОПЭ2 мощностью 5320 квт , испытания которой производились на обкаточном участке Днепропетровского электровозостроительного завода и в условиях Лебединского горнообогатительного комбината Курской магнитной аномалии .

Испытания показали, что предложенная система позволяет значительно улучшить регулировочные свойства локомотива, упростить процесс управления при пуске, увеличить вес поезда, что в целом, создает условия для увеличения производительности труда. Этого -

ПРО
ДПУЖТ

мический эффект от внедрения разработанной системы, рассчитанный для условий Лебедянского ГОК Курской магнитной аномалии, составляет ориентировочно 10 тыс.руб. на один тяговый агрегат в год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проведенный анализ режима работы электроподвижного состава открытых горных разработок позволил установить техническую целесообразность автоматизации регулирования силы тяги рассматриваемого ЭПС и разработать ее основные принципы .

2. Автором разработана система автоматического регулирования, определены типы возмущений, воздействующих на систему. Разработанная САР обеспечивает независимое регулирование силы тяги и скорости локомотива.

3. Анализ особенностей работы САР силы тяги ЭПС переменного тока ОГР определил необходимость разработки управляющих устройств, обеспечивающих стабильность их характеристик и высокое быстродействие, а также высокую степень унификации элементов и технологичность изготовления на электровозостроительных предприятиях .

4. В работе предложено устройство фазового управления цифрового действия , обеспечивающее

а) изменение интенсивности роста силы тяги при пуске по оптимальному закону, что позволяет реализовать наибольшую величину коэффициента сцепления ;

б) высокую стабильность процесса регулирования, отсутствие автоколебаний в САР и отсутствие субгармонических колебаний в питающей сети, что устраняет воздействие ЭПС на устройства СЦБ;

НТБ
ДНУЖТ

в) практически безинерционное изменение фазы управляющих импульсов (при необходимости) от 0 до 180 эл.градусов и обратно , высокую помехоустойчивость по цепи питания и при отрывах токоприемника ;

г) возможность построения систем управления на основе измерения временных интервалов, а не уровня напряжения сети, что повышает стабильность системы и имеет большое значение при управлении в режиме рекуперации энергии в сеть ;

д) возможность построения базовых структур для систем регулирования тока и скорости электровозов постоянного и переменного тока с использованием освоенных промышленностью унифицированных элементов, что значительно снижает трудоемкость изготовления систем .

5. На основании анализа квазистатических режимов САР с управляемой интенсивностью определена методика расчета параметров системы и получены необходимые соотношения .

6. Анализ динамических режимов в системе автоматического регулирования с управляемой интенсивностью позволил определить основные и варьируемые параметры САР и получить соотношения для расчета области устойчивости системы .

7. При рассмотрении динамики САР с различными возмущающими воздействиями определена необходимость введения цепи упреждающего регулирования при резком возрастании напряжения питания с целью ограничения бросков тока двигателей. Дана методика синтеза цепи упреждающего регулирования и соотношения, определяющие переходные процессы в этой цепи.

8. Проверка полученных соотношений, произведенная путем расчета переходных процессов для физической модели САР на ЭЦМ

ДНУЖТ

„Минск-22” и сравнения расчетных кривых с оциллограммами переходных процессов физической модели, показывает, что расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает 15 %. Это позволяет рекомендовать разработанную методику для инженерных расчетов САР .

9. Стендовые испытания предложенной автором САР с цифровым фазорегулятором показали высокую стабильность системы при отрывах токоприемника .

10. Испытания рассмотренной системы автоматического регулирования на опытном образце тягового агрегата типа ОПЭ2 на Днепропетровском электровозостроительном заводе и в условиях Лебединского ГОКа Курской магнитной аномалии подтвердили ее соответствие требованиям эксплуатации .

11. Внедрение разработанной системы автоматического регулирования на электроподвижном составе дает возможность в дальнейшем решить один из вопросов проблемы комплексной автоматизации перевозочных процессов открытых горных разработок, упростить управление локомотивом, и, в конечном счете, повысить производительность горных выработок как за счет увеличения грузоподъемности поезда, так и за счет более интенсивного использования электроподвижного состава .

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах

1. Гилевич О.И., Варченко В.К. Полупроводниковый преобразователь напряжения. Труды ДИИТа, выпуск 77, г. Днепропетровск, 1968 .
2. Гилевич О.И. Разработка системы управления тиристорно-импульсного преобразователя . Труды ДИИТа, выпуск 135, г. Днепропетровск, 1972 .

НТБ
ДНУЖТ

3. Гилевич О.И., Ляшенко А.И. Распределитель импульсов. Авт. свид. № 337949, Б.И., № 15, 1972.
4. Гилевич О.И., Чиликин Г.М., Цымбал Н.Н. Устройство управления широтно-импульсным преобразователем. Авт.свид. № 366540, Б.И. № 7, 1973.
5. Гилевич О.И. Устройство дискретного управления широтно-импульсным преобразователем. Авт.свид. № 400990, Б.И. № 40, 1973.
6. Гилевич О.И., Варченко В.К., Леонова Т.И., Ляшенко А.И. Разработка и исследование блока управления выпрямительно-преобразовательным блоком. Отчет по НИР. Гос.регистр. № Г71029330, инв. № Б 211183, Сборник рефератов НИР и ОКР, серия 16, № 1, 1973, ВНИИЦ, г.Москва.

Получено решение о выдаче авторского свидетельства:

Гилевич О.И. Устройство для автоматического регулирования режимов тягового двигателя электровоза. Решение о выдаче авт.свид. № 1821015/24-7 от 25.5.1978.

По материалам работы автором были сделаны доклады:

- I. "О разработке фазосдвигающего устройства цифрового действия на логических элементах". На заседании НТС Специального проектно-конструкторского и технологического бюро по промышленным электровозам на тему: "О развитии промышленного электровозостроения на перспективу до 2000 года", г.Днепропетровск, апрель 1972.

НТБ
ДНУЖТ

2. "Автоматическое регулирование напряжения тяговых двигателей промышленных электровозов переменного тока". На семинаре научной комиссии АН УССР "Полупроводниковые преобразователи на железнодорожном транспорте", ДИИТ, г.Днепропетровск, январь 1973 .
3. "О разработке системы автоматического регулирования с управляемой интенсивностью электровозов переменного тока открытых горных разработок". На семинаре научной комиссии АН УССР "Полупроводниковые преобразователи в горной промышленности", ДИИ, г.Днепропетровск, июнь 1973 .
4. "Разработка блока управления для тяговых агрегатов переменного тока с плавным междузонным регулированием напряжения".

На встрече специалистов электровозостроения по теме "Создание электрооборудования для электроподвижного состава переменного тока с плавным пуском и рекуперативным торможением", г.Новочеркасск, сентябрь 1973 .

5. "Разработка системы автоматического регулирования тока тяговых двигателей и скорости тяговых агрегатов типа ОПЭ2". На секции отраслевого НТС электровозостроения и подъемно-транспортного оборудования "Системы управления электроподвижным составом переменного тока промышленного транспорта", г.Днепропетровск, декабрь 1973 .
6. "Разработка и построение системы автоматического регулирования напряжения тяговых двигателей электроподвижного состава открытых горных разработок". На семинаре "Полупроводниковые преобразователи на железнодорожном транспорте" научной комиссии АН УССР по проблеме "Преобразование параметров электрической энергии", г.Днепропетровск, ДИИТ, сентябрь 1973 .

Материалы диссертации отражены также

- в отчете СКБ ДЭВЗ по НИР «Разработка устройства автоматической коррекции фазовой характеристики системы регулирования тягового агрегата ОПЭЗ по углу естественной коммутации».

Гос.регистр. № 71029330, ВНИИЦ инв. № 5281188 ;

- в техническом предложении «Тяговый агрегат ОПЭЗ^М с автоматическим регулированием силы тяги », ЗТП.003.022ПЗ, СКБ ДЭВЗ, г. Днепропетровск, 1973 .

НТБ
ДНУЖТ

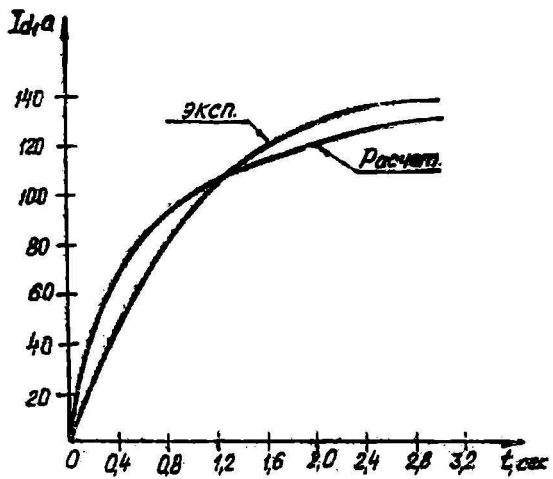


Рис.2 Изменение тока при пуске

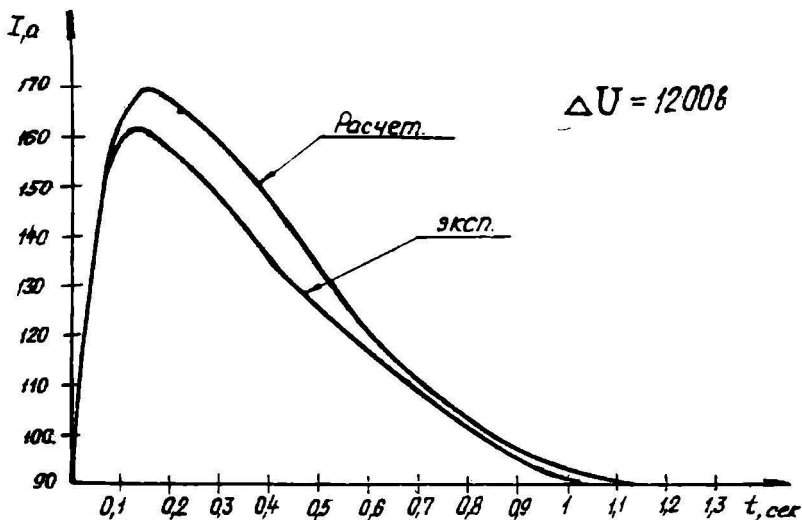


Рис.3 Переходной процесс в САР силы тяги без коррекции

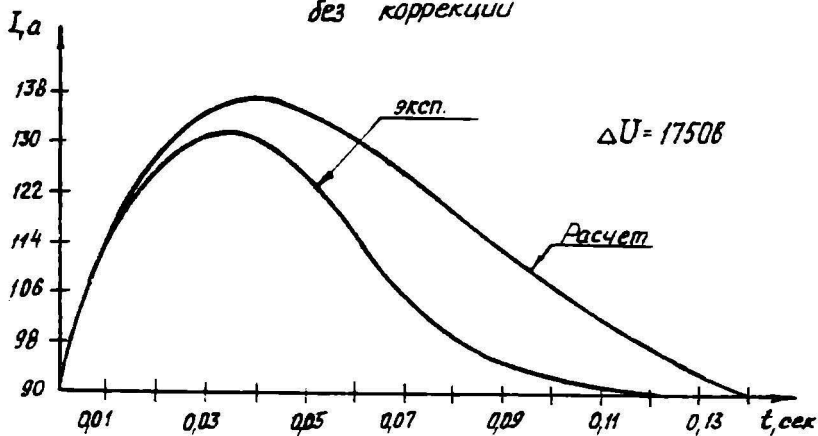


Рис.4. Переходной процесс в САР силы тяги с упреждающей коррекцией.

БТ 28671. Ротапринт 03 ДМетЛ. Днепропетровск, 5, Лошманское шоссе, 36.

Заказ № 388. Тираж 150. Объем 2 п.л.

Подписано к печати 1. III. 74 г.