

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

ФАННАН Абделлах
(Марокко)

УДК 621.313.451.29.31

**СИСТЕМЫ НАГРУЖЕНИЯ С ОБЩЕЙ ЦЕПЬЮ ПОСТОЯННОГО
ТОКА ДЛЯ ПОСЛЕРЕМОНТНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1996



00759893 (+)

Диссертация является

Работа выполнена в кафедре автоматизированного электропривода в Криворожском техническом университете.

Научный руководитель : доктор технических наук,
профессор
Д.И. Родькин

Официальные оппоненты : доктор технических наук,
профессор
Чермалых В.М.

кандидат технических наук
Лобов В.И.

Ведущее предприятие : АО "Электромашпромсервис"
г. Кривой Рог

Защита состоится "10" июня 1996 года в 15 часов
на заседании специализированного совета К 01.02.04 в
Национальном Техническом Университете Украины "Киевском
политехническом институте" (НТУУ "КПИ")
корп. 22, ауд. 503

Отзывы в двух экземплярах на автореферат, заверенные
печатью учреждения просим направлять по адресу:
252056, Киев-56, проспект Победы, 37, КПИ,
Ученому секретарю

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КПИ.

Автореферат разослан "8" мая 1996г.

Ученый секретарь
специализированного совета
канд.техн.наук, доцент

В.В.Прокопенко
В.В.Прокопенко

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы: надежность электрических машин и другого технологического оборудования является одним из важнейших технико-экономических показателей производства, поэтому повышение надежности имеет огромное народнохозяйственное значение, так как является одним из дополнительных источников увеличения действующего парка электрических машин в эксплуатации.

Рассматривая вопрос испытания электрических машин, прежде всего имеют ввиду приемо-сдаточные испытания как заключительной части технологического процесса ремонта, в котором устанавливается значения отклонения фактических параметров от номинальных, степень электрической, магнитной и механической симметрии отремонтированной электрической машины, что в дальнейшем, совместно с результатом испытаний под нагрузкой дает необходимую информацию для оценки качества ремонта в целом. В программу приемо-сдаточных испытаний входят: испытание электрической изоляции, измерение сопротивления обмоток в холодном состоянии, контроль числа витков и схем соединения обмоток, контроль качества пайки и схем соединения обмоток с коллектором, контроль магнитной симметрии, контроль узлов токосъема и состояния подшипников.

Нагрузочные испытания осуществляются с целью определения механических свойств отремонтированных двигателей, устойчивости их к механическим и токовым нагрузкам. Использование для этого традиционных систем статического нагружения нереально ввиду их сложности, малой производительности, невозможности их применения для электрических машин различных типов. Создание универсальных систем, применимых для машин постоянного и переменного тока, является важной технической задачей. Учитывая изложенное выше, разработка универсального нагрузочного устройства (УНУ) является актуальной, имеет научную и практическую ценность.

Тема диссертационной работы определена планом научно-исследовательских работ кафедры автоматизированного электропривода Криворожского технического университета.

Целью диссертационной работы является разработка универсальных нагрузочных систем, обеспечивающих одновременное нагружение машин постоянного и переменного тока в статических и динамических режимах для получения необходимой

информации при определении реальной нагрузочной способности электрических машин после их ремонта.

В диссертации решались следующие основные задачи:

- анализ тенденций и особенностей развития современных систем нагружения, применимых как для электроремонтных, так и для электромашиностроительных предприятий;

- обоснование возможности применения каскадных систем сочетающих в себе как машины постоянного, так и переменного тока и установлении в этом свойств универсальности, т.е. возможности одновременного нагружения асинхронных машин и двигателей постоянного тока;

- исследование статических режимов электромашинных каскадов со встречным направлением развиваемых двигателями моментов для выявления рабочих зон и возможностей универсальных нагрузочных систем;

- определение характера управляющих воздействий при получении необходимых нагрузочных режимов машин постоянного и переменного тока, определение стандартных характеристик генераторов постоянного тока;

- исследование с помощью ЭВМ электромагнитных и электромеханических процессов в схеме машинно-вентильного каскада для уяснения условий формирования рабочих зон и пределов изменения параметров при нагружении;

- лабораторные исследования статических режимов каскада с общей цепью постоянного тока для сравнения результатов теоретического анализа с экспериментальными данными;

- исследование особенностей формирования динамических режимов нагружения машин постоянного и переменного тока;

- технико-экономические исследования универсальных нагрузочных устройств для обоснования возможности их применения в электроремонтном деле.

Автор защищает.

1. Научные положения :

- увеличение производительности и качества работы испытательного оборудования электроремонтных предприятий может быть получено при использовании универсальных нагрузочных систем, обеспечивающих испытание под нагрузкой электродвигателей постоянного и переменного тока и исключающих применение вспомогательных электрических машин ;

- технической базой таких систем являются асинхронные машинно-вентильные каскады постоянной мощности со встречным включением развиваемых электрическими машина-

ми моментов. Общая цепь постоянного тока при соответствующем управлении позволяет реализовать основные нагрузочные режимы двух одновременно нагружаемых отремонтированных двигателей ;

- нагрузочная система с общей цепью постоянного тока и управляемым выпрямителем роторной цепи позволяет реализовать энергообменные процессы между электрическими машинами и тем самым реализовать устройства без механической связи валов - устройства нагружения динамического типа;

- нагружение электрических машин от холостого хода до стопорения происходит при последовательном переходе из одной коммутационной зоны роторного выпрямителя во вторую (из зоны 2-3 до 5-6);

- режим закорачивания роторного выпрямителя, характерный одновременной работой шести вентиляей, является рабочим при испытании генератора постоянного тока в режиме короткого замыкания. Ток якоря, при котором происходит закорачивание выпрямителя зависит от индуктивности якорной цепи и возрастает с её уменьшением ;

- управление нагрузочной системой с поддержанием координат скорости и тока возможно при управлении по 2-м каналам - по потоку машины постоянного тока и напряжению на зажимах статора асинхронного двигателя или по потоку машины постоянного тока и углу управления вентилей роторной группы.

2. Результаты :

- развитие теории асинхронных машино-вентильных каскадов за счет изучения особенностей их работы при встречном включении по моменту асинхронного двигателя и машины постоянного тока ;

- разработка алгоритма управления нагрузкой , обеспечивающего стабилизацию тока нагрузки и скорости вращения валов за счет одновременного воздействия на каналы управления ;

- модели для изучения электромагнитных и электромеханических процессов в системе асинхронный двигатель, роторный выпрямитель, машина постоянного тока;

- устройство для нагружения асинхронного двигателя и машины постоянного тока.

Методы исследования : Для решения поставленных задач в диссертационной работе использовались: анализ литературных источников и научное обобщение ранее выполненных исследований, использование методов и общепринятых положений по исследованию электромеханических процессов в электрических машинах, теории автоматизированного электропривода и преобразовательной техники с широким применением

ЭВМ; методы численного решения систем дифференциальных уравнений; проверка достоверности основных теоретических положений и аналитических расчетов посредством эксперимента и опытной апробации.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

- обоснована возможность использования АМВК в качестве нагрузочного устройства обеспечивающего возможность нагружения машин постоянного и переменного тока одновременно;
- определены все режимы работы АМВК в зависимости от характера коммутации вентилей роторной группы при встречном и согласном включении ЭДС машины постоянного тока относительно проводимости выпрямителя в прямом направлении;
- разработан алгоритм функционирования поисковой системы нагружения при одновременном воздействии на два канала управления;
- разработаны методики выбора оборудования и определения технико-экономических показателей универсальных нагрузочных устройств.

Достоверность научных положений и результатов, полученных в диссертационной работе, подтверждается обоснованностью допущений при разработке математических моделей, известным из литературы и полученным в ходе экспериментальных исследований, корректности проведенных расчетов, основанных на применении топологических методов, классических методов теории автоматического управления, положений теории электропривода, согласованностью теоретических выводов и результатов экспериментального исследования.

Практическая ценность. Разработаны универсальные системы нагружения электрических машин, обеспечивающие повышение производительности испытательных работ в 1,8-2 раза, исключающие применение вспомогательных машин, снижающие капиталовложения и имеющие высокие энергетические показатели.

Реализация результатов работы : разработан стенд для нагрузочных испытаний двигателей постоянного и переменного тока в условиях электроремонтных цехов АО "Электромашпромсервис", лабораторий кафедры автоматизированного электропривода Криворожского технического универ-

считать как объект при курсовом и дипломном проектировании студентов специальности "Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов".

Апробация работы. Научные положения и результаты диссертационной работы доложены на 12-й международной конференции по автоматизированному электроприводу в Санкт-Петербурге в 1995 г, а также на научно-технических конференциях и семинарах КТУ в 1993-95 г.г.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 7 научных трудов.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, 6 приложений, списка литературы из 69 наименований, включает 29 рисунков, 3 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Важность вопроса проблематики испытаний электрических машин как фактора, определяющего их надежность в условиях производства в большей мере относится не к вновь изготавливаемым электрическим машинам, а к электрооборудованию, прошедшему эксплуатационный цикл, вышедшему из строя, отремонтированному по категории среднего или капитального ремонта.

Кратко характеризуя технологический процесс ремонта электрических машин, показано, что дефектация оборудования на предварительной стадии является грубой оценкой возможной работоспособности отремонтированного электродвигателя получения положительного или отрицательного решения на вопрос о целесообразности ремонта вообще. Подчеркнута очевидная перспектива роста роли ремонта электрооборудования в перспективе на 15-20 лет. Как следствие этого вытекает необходимость совершенствования испытательного процесса. Ставится вопрос о перспективной конечной цели сертификации вышедшего из ремонта электрооборудования - определении качества ремонтных операций, реальных рабочих параметров электрических машин, которые в силу объективных факторов не являются прямой зависимостью от качественных характеристик электроремонта как технологического процесса. Указано, что одной из причин является изменение характеристик конструктивных параметров машин, качества электротехнической стали. Изме-

нение характеристик связано как с эксплуатацией так и с доремонтными и послеремонтными операциями; контроль этого изменения может быть получен только в ходе испытаний как отдельных узлов машины так и в сборе. На первое место выступают испытания под нагрузкой, которые могут быть реализованы только при наличии соответствующих испытательных стендов. Их характеристики таковы, что требуют при испытаниях машин различных классов, различных конструктивных подходов при реализации стендового оборудования. Сложность оборудования увеличивается, если на предприятии осуществляется ремонт машин постоянного и переменного тока. Отмечено, что в связи с переходом на новые формы хозяйствования происходит респециализация электроремонтных цехов; каждый из них в условиях рыночных отношений осваивает или освоил ремонт машин постоянного и переменного тока. Очевидно, что создание стендового оборудования, отвечающего современным условиям должно прежде обеспечивать испытание на одном и том же стендовом оборудовании машин всех известных типов. Анализ работ, выполненных в области создания и разработки систем для нагружения, исследования и испытания электрических машин, позволили сформулировать цели и задачи диссертационной работы, наметить пути решения поставленных задач.

Выполненный анализ систем нагружения машин постоянного и переменного тока показал, что системы с общей целью постоянного тока являются технической базой для создания универсальных нагрузочных систем, сущность которых заключается в том, что при нагружении используются не вспомогательные машины, а отремонтированные электродвигатели постоянного и переменного тока; каждая из них может выполнять роль вспомогательной электрической машины. Таким образом осуществляется одновременное испытание двух электрических двигателей.

Один из вариантов такой системы представлен на рис.1. В схемном отношении нагрузочное устройство соответствует каскаду постоянной мощности. Коренное отличие в том, что моменты развиваемые электрическими машинами направлены не согласно, а встречно. Формально нагрузкой является момент холостого хода, развиваемый машинами. В зависимости от режима нагружения асинхронный двигатель работает в двигательном или тормозном режиме. Аналогично можно сказать и в отношении двигателя постоянного тока. Установлены следующие нагрузочные или испытательные режимы:

- работа устройства в области малых скольжений при э.д.с. $E_{мпт}$ совпадающей по направлению с проводимостью вентилей роторного выпрямителя. При этом роторный выпрямитель частично или полностью закорачивается и осуществляется нагружение МПТ как генератора в режиме короткого замыкания:

-нагрузочный режим (при $1 > S > 0$) асинхронного двигателя и машины постоянного тока; МПТ при этом работает в генераторном режиме :

-стопорный режим при $S=1$, соответствующий пусковым режимам нагружаемых машин :

-нагрузочный режим (при $S > 1$) , когда машина постоянного тока работает в двигательном режиме, а асинхронный двигатель в режиме противовключения. В этом режиме возможно испытание электрических машин при повышенной скорости вращения. Показано, что все анализируемые режимы не исследовались в литературе, так как классический АМВК, как система электропривода, анализировались лишь в первой и частично второй зонах работы роторного выпрямителя.

Исследования показали, что в режимах нагружения, возможны не только 1-й и 2-й режимы работы выпрямителя, но и такие, когда в работе участвуют 3-4, 4-5, 5-6 и 6 вентилей одновременно. Чередование рабочих зон происходит от первой до шестой включительно, что соответствует полному закорачиванию диодного моста. Процессы перехода с 1-й зоны до шестой в исследованиях не затрагивались в силу того, что 3-6 зоны в реальных условиях являются нерабочими. Установлено, что режим закорачивания вентилей роторного выпрямителя наступает при

$$\text{сглаженном выпрямленном токе } I_d \geq \frac{3}{\sqrt{2}} I_2,$$

а при отсутствии сглаживания тока в случае, если ток будет равен $I_d \geq 2\sqrt{2} I_2$.

Рассматривая процесс закорачивания, как положительное явление, видно, что наличие индуктивности следует рассматривать как положительный фактор в том отношении, что закорачивание раньше наступает для $\delta = L_\psi / R \gg 0$ чем при $\delta = 0$. Уравнение механического равновесия для первого режима нагружения имеет вид:

$$M_{x\Gamma}(s) + \frac{U_H^2 I_{s\omega_0} (1-s)}{I_B \omega_H R_B} = 3 \frac{U^2 \varphi^2 R_{2\Gamma} s}{\omega_0 [(R_\Gamma s + R_{2\Gamma})^2 + \alpha_H^2 s^2]}, \quad (1)$$

где $M_{x\Gamma}(s)$ - зависимость момента холостого хода двух двигателей от скольжения; I_B - ток возбуждения МПТ; U_H, ω_H

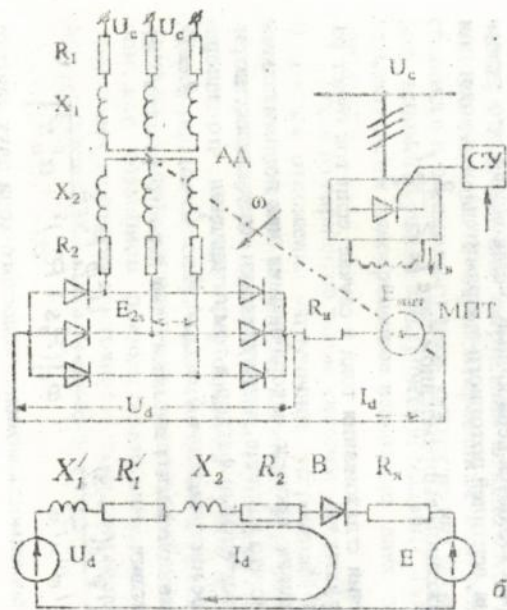


Рис. 1. а) Принципиальная схема и схема замещения б) АМВК

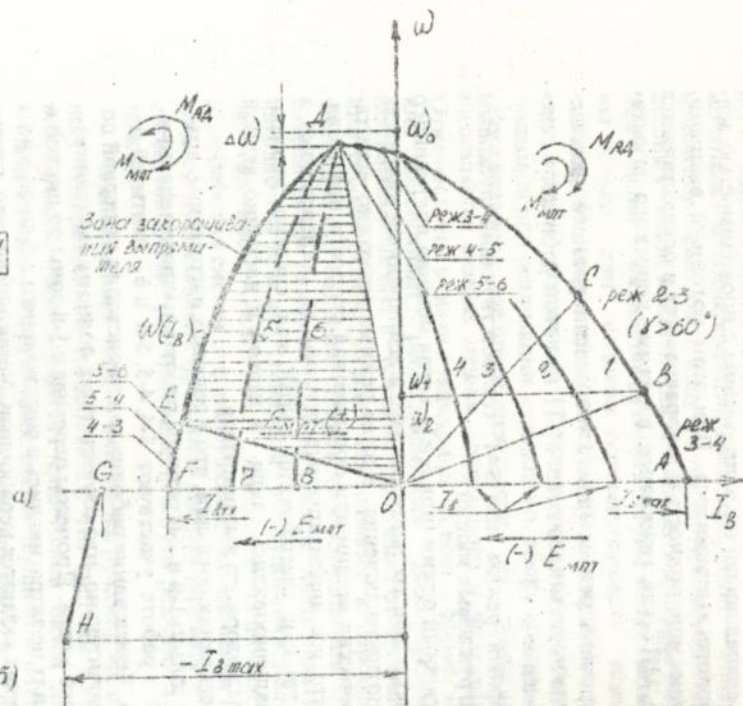


Рис. 2. Зоны работы АМВК при изменении тока возбуждения

- номинальные напряжения и скорость двигателя постоянного тока; U - номинальное напряжение АД; φ - относительное напряжение на зажимах статора; R_{2r} - сопротивление ротора с учетом эквивалентного сопротивления вентилялей.

Закорачивание поступает при сглаживании

$$s = -\frac{R_r}{R_{2r}} s_k \pm \sqrt{\left(\frac{R_r}{R_{2r}}\right)^2 s^2 + (2\varepsilon - 1) s_k^2} \quad (2)$$

где $\varepsilon = \frac{U^2 \omega_H^2}{U_H^2 \omega_0}$, s_k - критическое скольжение АД.

Диаграмма, иллюстрирующая зоны работы выпрямителя представлена на рис. 2. Положительным значениям I_B соответствует режим работы АМВК как системы привода, а отрицательные - как нагрузочной системы. В отрицательной полуплоскости до точки D происходит последовательное чередование режимов 3-4, 4-5, 5-6. При этом в режиме 5-6 скорость двигателя достигает максимальной величины. Факт увеличения скорости, отмеченный в исследовании, связан с нелинейными свойствами, в частности из-за уменьшения эквивалентного сопротивления вентилялей. Нагружение двигателя при $S \gg 0$ соответствует участку кривой, заключенный между точками DE. При дальнейшем увеличении скольжения до 1.0 происходит последовательный переход из зоны 5-6 в 5-4, 4-3, когда происходит режим стопорения. Увеличение тока возбуждения приводит к тому, что при $M_x(s=1.0) < M_{M1} - M_{A4}$ асинхронная машина переходит в режим противозащелкивания.

Скорость системы при этом увеличивается в связи с тем, что при $S > 1$ напряжение на якоре увеличивается. Рост скольжения при этом сопровождается ростом током якоря и падения напряжения в силовой цепи. При увеличении тока возбуждения скорость достигает максимальной величины, а в дальнейшем начинает уменьшаться. Система уравнений, описывающая статические режимы имеет вид:

$$\frac{3}{4} U_{dm} \varphi \cos \alpha_p s - I_d \left(\frac{\sqrt{3}}{4} X_p - R_{r1} \right) = \frac{U_H}{\omega_H} \omega_0 (s-1) \frac{I_B}{I_{BH}};$$

$$I_d \frac{U_H}{\omega_H} \frac{I_B}{I_{BH}} - \frac{18}{\pi^2} I_d^2 \frac{R_r}{\omega_0 (s-s_0)} = a_1 (s-1) + a_0;$$

$$s_0 = \frac{\frac{U_H}{\omega_H} \omega_0 \frac{I_B}{I_{BH}}}{\frac{U_H}{\omega_H} \omega_0 \frac{I_B}{I_{BH}} - \frac{3}{4} U_{dm} \varphi \cos \alpha_p} ; \quad (3)$$

$$a_0 + a_1 (s-1)^a = M_x(\omega),$$

где a_0, a_1 - постоянные коэффициенты; $U_{dm} = 1.35E_p$; α - показатель степени; α_p - угол управления вентилями роторной группы.

Определены пределы реализуемости режимов нагружения при скольжении $S > 1.0$. Предельное значение скольжения ограничено из-за допустимого значения испытательной скорости.

Соответствующие исследования выполнены и для системы, включающей асинхронные короткозамкнутые машины.

Выполнен анализ нагрузочных режимов и испытательных операций, которые могут быть достигнуты с использованием рассматриваемого класса нагрузочных систем. На первой позиции находятся характеристики непосредственно процесса нагружения с целью определения уровней нагрева частей электрической машины. При этом должны быть заданы и поддерживаться на требуемом уровне значения тока электрической машины и скорости её вращения. Установлены каналы системы управления, с помощью которых достигаются требуемые нагрузочные режимы: ток возбуждения двигателя постоянного тока, напряжение питания асинхронного двигателя, угол управления роторного выпрямителя. Возможно использование только двух каналов - один для асинхронного двигателя, а второй - для двигателя постоянного тока.

Установлено, что поддержание двух координат тока и скорости может быть достигнуто только при одновременном управлении по двум каналам. Сформулированы требования к системам стабилизации нагрузочных режимов, построены алгоритмы управления, обеспечивающие автоматический поиск требуемого режима нагружения. Определены требования к управляющим устройствам поискового режима, разработан математический аппарат для реализации на практике поисковых систем требуемого режима.

Кроме указанных функций системы с общей цепью постоянного тока позволяют определить основные параметры рабочих характеристик электрических машин: пусковой и крити-

ческий момент асинхронного двигателя, момент холостого хода электрических машин, потери холостого хода.

Момент трогания агрегата включающего АД и МПТ определяется так :

$$M_T = \frac{1}{2} \frac{U_H}{\omega_H} \frac{I_{B1} I_{d1} - I_{B2} I_{d2}}{k \phi_H} \quad (4)$$

где: $I_{B1}, I_{d1}, I_{B2}, I_{d2}$ - токи возбуждения и якоря в точках останова двигателя ($S=1.0$) и хода в обратную сторону ($S>1.0$).

Получены выражения для получения M_T, M_K, S_K - асинхронного двигателя. Одним из важных свойств нагрузочной системы является её возможность получения практически всех характеристик машин постоянного тока, при работе генератором или двигателем. Получены выражения для пяти типовых характеристик генераторов постоянного тока (холостого хода, короткого замыкания, регулировочной, нагрузочной и внешней). Выполнены исследования, позволяющие получить необходимые характеристики для двигателей последовательного и смешанного возбуждения. Схемные решения отличаются оригинальностью и новизной.

Выполнены исследования, указывающие на реальную возможность диагностики параметров электродвигателей и, в частности, определения потерь в стали - основного элемента, определяющего нагрузочную способность любой электрической машины, так как снижение по тем или иным причинам полезного потока, появление вихревых токов, приводит к росту тока нагрузки к одновременному увеличению рабочей температуры стали и заложённых в её обмоток.

Выполненные исследования по декомпозиции потерь мощности отличаются методологической новизной и могут быть основой для создания систем сертификации отремонтированных электрических машин.

Разработанная методика базируется на уравнении энергобаланса, получаемом в нормальной схеме АМВК :

$$U_B I_B = I_B^2 R_B + C_1 I_B^m \left(\frac{\omega p}{2\pi}\right)^n + C_2 I_B I_B \omega \quad (5)$$

где m, n - постоянные коэффициенты, определяющие зависимость потерь в стали якоря от индукции (m) и от частоты (n);

C_1, C_2 - коэффициенты определяющие характер зависимости. Достаточно простые эксперименты позволяют получить значения m, n, C_1 и C_2 .

Соответствующие исследования выполнены и для асинхронных машин.

Исследования позволили сделать вывод о том, что разработанная система нагружения позволяет получить характеристики электрических машин, оговоренные стандартами на испытания.

Выполнены исследования электромагнитных и электромеханических процессов в системе нагружения. Необходимость такого исследования вызвана отсутствием моделей подобного класса, работающих в рассматриваемых режимах, уточнения методики определения параметров систем регулирования при необходимости стабилизации параметров, например, тока в переходных режимах, разработки упрощенных моделей для анализа характера переходных процессов, проверки работоспособности функционирования устройств нагружения, часть из которых является предметом изобретения. Важно учитывать и то, что рассматриваемые системы характерны недостатком наличием жесткой связи валов. Дальнейшее развитие систем нагружения подобного класса видится в разработке нагрузочного устройства с управляемой роторной группой для создания систем динамического нагружения, обеспечивающих энергообменные процессы двигателем постоянного тока и асинхронной машиной посредством изменения углов управления выпрямителем и потока двигателя.

Моделирование системы выполнено в форме блочной модели для каждого из элементов силовой части: асинхронного двигателя, управляемого выпрямителя, двигателя постоянного тока с управляемым возбуждением. Асинхронный двигатель смоделирован в фазных координатах для статора и ротора, что вызвано необходимостью определения линейных и фазных э.д.с. ротора для переключающих функций выпрямителя.

Система уравнений, входящая в модель нагрузочного устройства имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{di_{A1^*}}{d\tau} - \frac{di_{B1^*}}{d\tau} + X_{1^*} \frac{di_{A2^*}}{d\tau} - X_{1^*} \frac{di_{B2^*}}{d\tau} &= \frac{\sqrt{3}U_{m0^*}}{\lambda_{1^*}} \sin \left[\frac{\pi}{3} - (1 - \omega_*)\tau - \right. \\ &\left. - (\gamma - \varphi_0)_\tau \right] - i_{A1^*}^i \xi_{1^*} + i_{B1^*}^i \xi_{1^*} - \sqrt{3}\omega_* i_{C1^*}^i - \sqrt{3}\omega_* X_{1^*} i_{C2^*}^i; \\ \frac{di_{B1^*}}{d\tau} - \frac{di_{C1^*}}{d\tau} + X_{1^*} \frac{di_{B2^*}}{d\tau} - X_{1^*} \frac{di_{C2^*}}{d\tau} &= \frac{\sqrt{3}U_{m0^*}}{\lambda_{1^*}} \sin \left[\frac{\pi}{3} - (1 - \omega_*)\tau + \right. \\ &\left. + (\gamma - \varphi_0)_\tau \right] - i_{B1^*}^i \xi_{1^*} - \sqrt{3}\omega_* i_{A1^*}^i - \sqrt{3}\omega_* X_{1^*} i_{A2^*}^i; \\ i_{A1^*} + i_{B1^*} + i_{C1^*} &= 0; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{di_{A1*}}{d\tau} X_{2*} - \frac{di_{C1*}}{d\tau} X_{2*} + \frac{di_{A2*}}{d\tau} - q \cdot \frac{di_{C2*}}{d\tau} = \frac{E_{d1*}}{\lambda_{2*}} - i_{A2*} \xi_{2*} + i_{C2*} \xi_{2*}$$

$$\frac{di_{A1*}}{d\tau} X_{2*} - \frac{di_{B1*}}{d\tau} X_{2*} + \frac{di_{A2*}}{d\tau} - \frac{di_{B2*}}{d\tau} = -i_{A2*} + i_{C2*} \xi_{2*}$$

$$i_{A2*} + i_{B2*} + i_{C2*} = 0.$$

Возможность разработанной модели достаточно обширна и в работе раскрыты лишь частично. Некоторые машинограммы расчета процессов с использованием разработанной модели приведены на рис 3. (для $S < 1.0$) и на рис 4. (для $S > 1.0$). Анализ полученных результатов в части сравнения расчетных значения пусковых моментов, полученным теоретическим путем и в ходе эксперимента показал, что получаемые ошибки складываются в рамки 11-13% в зависимости от начального положения роторных обмоток относительно статорных.

Исследование процессов, протекающих длительно во времени выполнено с использованием линеаризованной модели. Линеаризация выполнена по средним значениям напряжения и тока выпрямителя для соответствующих коммутационных зон вентилей.

Исследование выполнено применительно к замкнутой системе регулирования параметров нагрузочного режима по каналам тока возбуждения и угла управления. Анализ полученных результатов показал достаточно высокую их сходимость с экспериментальными данными. На модели подтверждена работоспособность заявленной системы нагружения с фазным двигателем.

В полном объеме изложены особенности и результаты экспериментальных исследований в условиях лабораторий фи-

зической модели нагрузочной системы с асинхронным фазным двигателем. Исследования выполнены с неуправляемым роторным выпрямителем и автотрансформатором в статорной цепи асинхронного двигателя, а также при наличии тиристорного регулятора в силовой цепи. В ходе эксперимента получены зависимости скорости и токов электрических машин при изменении потока машины постоянного тока. Подтверждены теоретические выводы относительно пределов изменения управляющих параметров для получения заданных значений нагрузочных режимов. Определены значения токов возбуждения, при которых происходит закорачивание вентилей роторного выпрямителя, предельное увеличение скорости при нагружении двигателя постоянного тока. Выполнены исследования стопорного режима нагружаемых машин, а также их взаимного нагружения при работе асинхронного двигателя в режиме противовключения. Полу-

Запуск АМВК

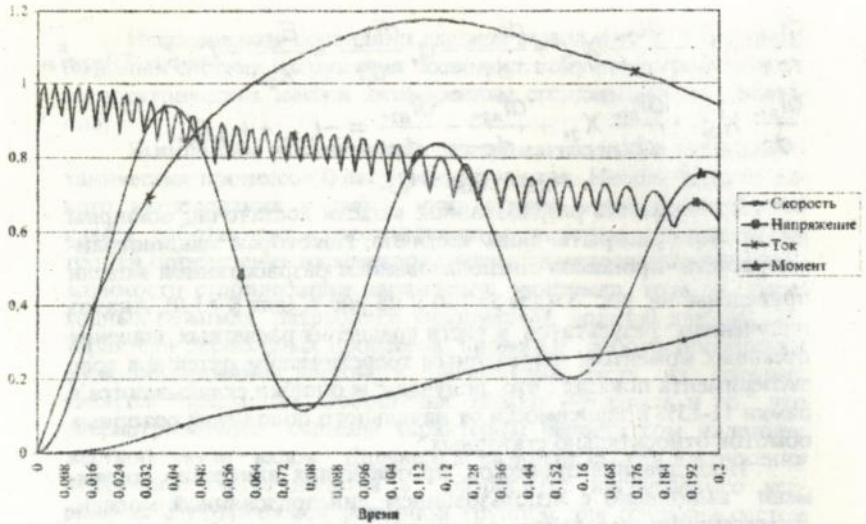


Рис. 3.

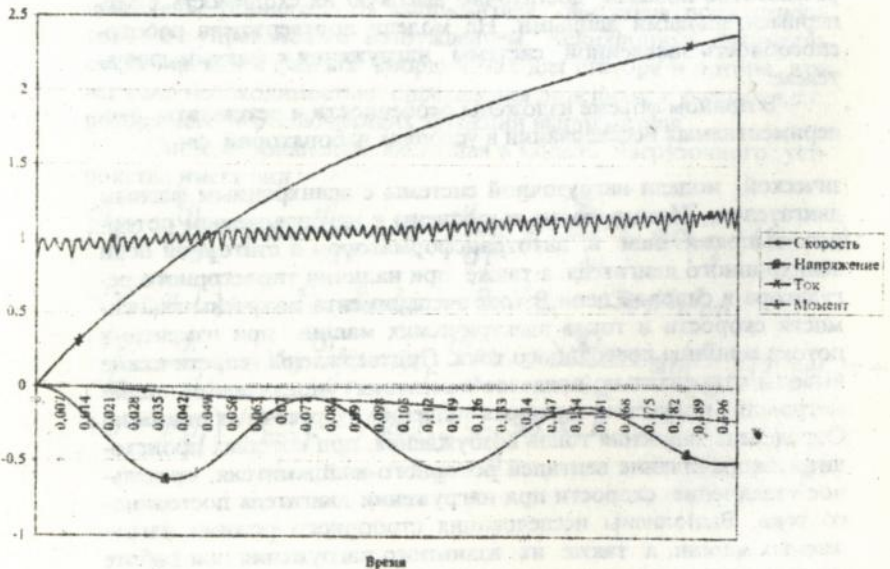


Рис. 4.

ченные результаты с большой достоверностью подтверждают сделанные теоретические выводы.

Выполнены исследования и анализ технико-экономических показателей нагрузочного устройства. Исследования выполнены в направлении определения теоретическим путем составляющих экономического эффекта. Установлено, что экономический эффект обусловлен:

- снижением расходов на создание систем нагружения из-за универсальности технического решения;
- из-за повышения производительности установок для нагружения в виду того, что одновременно осуществляется нагружения и испытания двух электрических двигателей;
- снижением расходов на строительство станции нагружения из-за отсутствия вспомогательной электрической машины;
- из-за минимальных потерь мощности.

Анализ выполнен применительно к системе нагружения мощностью 100 кВт. Расчет показал, что разработанные системы более эффективны чем схемы взаимно нагружения.

В приложении приведены акты об использовании результатов работы в условиях электроремонтного цеха АО "Электромашпромсервис", в учебном процессе Криворожского технического университета, акт об использовании установки в условиях лаборатории, программы для расчета режимов работы полной модели машинно-вентильного каскада и нагрузочного устройства, линеаризованной модели его.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В связи с сокращением объемов производства на больших государственных предприятиях по электроремонту электрических машин, развитием малого бизнеса с уклоном на электроремонтное дело, необходимостью экономии энергоресурсов, использование испытательных систем на базе универсальных нагрузочных устройств приобретает актуальность как перспектива создания высокоэффективного электрооборудования, позволяющего определить качественные характеристики готовой продукции.

2. Анализ тенденций развития испытательного оборудования для электроремонтных предприятий позволил установить, что нагрузочные электромеханические системы для электроремонтных предприятий должны обладать свойствами универсальности, возможности испытания под нагрузкой машин постоянного и переменного тока, испытания с механическим сое-

динением валов машин или без такого соединения, получения большего объема информационного материала, чем при использовании статических систем со взаимной нагрузкой.

3. Исследования позволили установить возможность использования асинхронного машинного каскада в качестве универсального нагрузочного устройства для нагружения машин постоянного и переменного тока, получения параметров электромеханических характеристик и диагностических признаков испытываемых электрических машин.

4. Установлено, что при испытании электрических машин возможно использование режимов работы АМВК с положительным и отрицательным напряжениями э.д.с. машины постоянного тока; исследованиями показано, что при согласном напряжении э.д.с. возможны режимы частичного или полного закорачивания роторного выпрямителя, стопорный режим электрических машин, противовключение асинхронного двигателя. Эти режимы при различных их сочетаниях позволяют реализовать режимы нагружения, а также диагностики испытываемых двигателей.

5. Установлено, что при разработке систем нагружения имеет место два регулирующих параметра - ток возбуждения двигателя постоянного тока и напряжение питания асинхронного фазного электродвигателя. Указанные параметры управления определяют как ширину зоны полного закорачивания выпрямителя, так и величину стопорного тока АМВК.

6. Получены зависимости, связывающие управляющие параметры системы нагружения с параметрами нагрузки - током якоря двигателя постоянного тока и скольжением асинхронного электродвигателя. Разработан алгоритм управления нагрузочной системой при отсутствии достоверной информации о параметрах электрических машин.

7. Разработаны методы определения диагностических параметров, испытываемых электрических машин; Эти признаки включают пусковой ток, пусковой и критический момент, критическое скольжение асинхронного двигателя, зависимость коэффициента э.д.с. от якорного тока двигателя независимого возбуждения и от тока возбуждения, характер составляющих потерь мощности, выделение потерь в меди и стали независимо друг от друга.

8. Разработанная модель, учитывающая динамические свойства АМВК электромагнитные переходные процессы в асинхронной машине. На основании модели получены результаты, подтверждающие возможность реализации режимов нагружения при отсутствии механической связи между валами. При этом роторный преобразователь должен обладать возмож-

ностью рекуперации энергии постоянного тока в ротор асинхронной машины. Энергообменные процессы, которые при этом происходят в качественном отношении представляют обмен между вращающимися частями электрических машин. Количественная оценка этих процессов может быть выполнена с помощью разработанной модели.

9. Выполненные экспериментальные исследования подтвердили основные теоретические положения сформированные в работе. Техничко-экономический анализ вопроса применения нагрузочных систем на основе асинхронного машинно-вентильного каскада показал на целесообразность их использования в условиях электроремонтных цехов с производительностью более 50 электрических двигателей в месяц.

ПУБЛИКАЦИИ

1. Фаннан А., Родькин Д.И., Величко Т.В. Принципы создания универсальных нагрузочных устройств для послеремонтных предприятия. Деп. в ГНТБ Украины N.1813-УК95.

2. Фаннан А., Родькин Д.И., Величко Т.В. Универсальные нагрузочные системы для испытания электрических машин. Деп. в ГНТБ Украины N.2045-УК95.

3. Фаннан А., Родькин Д.И., Величко Т.В. Нагрузочные устройства для испытания машин постоянного и переменного тока. 12 Всеросс. конфер. по электроприводу г. Санкт-петербург, 1995г.

4. Родькин Д.И., Алистратенко Ю.В., Робалино Д.М., Фаннан А. Методы модуляции амплитуды и частоты питающего напряжения для нагружения асинхронных двигателей. Деп. в ГНТБ Украины №2506-УК95.

5. Емельянов Р.Г., Родькин Д.И., Величко Т.В., Фаннан А. Моделирование элементов систем нагружения электрических машин. Деп. в ГНТБ Украины -УК95.

6. Дубовик М.В., Родькин Д.И., Величко Т.В., Тытюк В.К., Фаннан А. Исследование режимов работы электропривода с накопителем компенсатором. Деп. в ГНТБ Украины -УК95.

7. Родькин Д.И., Величко Т.В., Фаннан А., Тытюк В.К., Черный А.П. Асинхронный машинно-вентильный каскад. Заявка на изобретения НИИНИЦІЭ Госпатент Украины от 13-01-1994 № В4100161/2

FANNANE ABDELILAH

"Load system with a common direct current circuit for post-repair tests of electrical motors". a manuscript to award the degree of candidat of technical sciences.

05.09.03 "Electrotechnical complexes and systems, including their control and regulation".

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute".

Kyiv 1996

The main ideas and results are :

- Analysing tendency and regularity of developing contemporary system of loading; uses for electrical-maintenances, and as well for electromachino-building enterprises ;

- Basic importance of using cascade system combines in itself direct current machines (DCM) and as well alternating current machines (ACM) and the exposure of such property universal importance of simultaneously loading of DCM and ACM ;

- Researching the static regimes of cascade with opposite directions develops motor moments for exposing the work zone and importance of universal loading system ;

- Researching with the help of IBM electromagnetic and electromechanical processes in the schema of machino-valve cascade for explaining conditions of forming work zone and limiting changes in the working parameters onloading ;

- Laboratory research of the cascade static regime with common DC circuit for comparing the theoretical and experimental results .

- Special research of forming dynamic regimes of loading DC and AC machines ;

- Technico-economical researches of universal loading devices for basic possibility of using them in electrical maintenance.

АННОТАЦИЯ

ФАННАН Абделилах

"Системы нагружения с общей цепью постоянного тока для послеремонтных испытаний электродвигателей", рукопись на соискание ученой степени кандидата технических наук .

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

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт".

Киев 1996г.

В диссертации решались следующие основные задачи:

- анализ тенденций и особенностей развития современных систем нагружения, применимых как для электроремонтных, так и для электромашиностроительных предприятий;

- обоснование возможности применения каскадных систем сочетающих в себе как машины постоянного, так и переменного тока и выявления в этом свойстве свойств универсальности, т.е возможности одновременного нагружения асинхронных машин и двигателей постоянного тока;

- исследования статических режимов электромашинных каскадов со встречным направлением развиваемых двигателями моментов для выявления рабочих зон и возможностей универсальных нагрузочных систем;

- исследование с помощью ЭВМ электромагнитных и электромеханических процессов в схеме машинно-вентильного каскада для выяснения условий формирования рабочих зон и пределов изменения рабочих параметров при нагружении;

- лабораторные исследования статических режимов каскада с общей целью постоянного тока для сравнения результатов теоретических исследований с экспериментальными данными;

- особенности исследований формирования динамических режимов нагружения машин постоянного и переменного тока;

- технико-экономические исследования универсальных нагрузочных устройств для обоснования возможности их применения в электроремонтном деле.

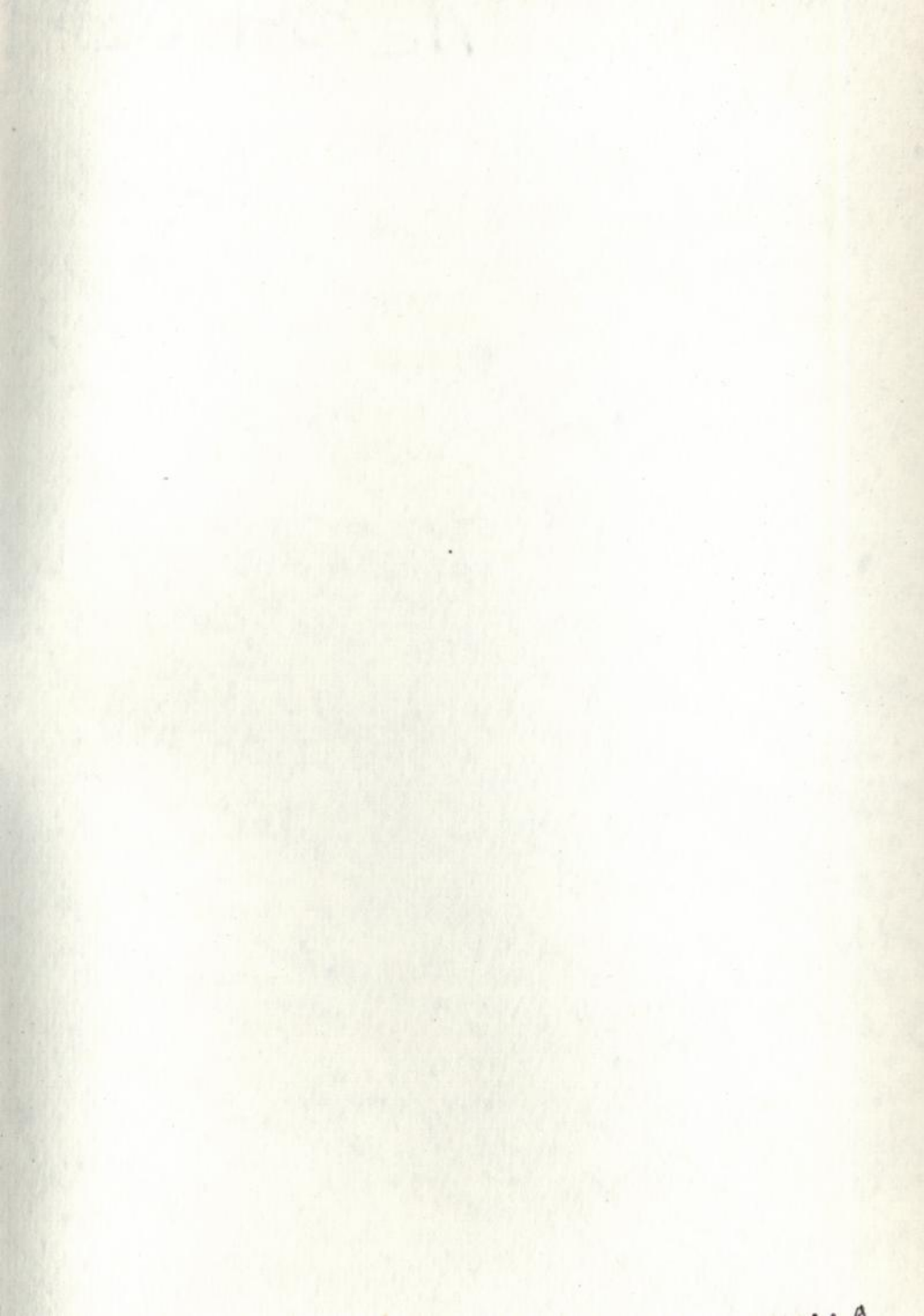
Ключевые слова: випробування, одночасне навантаження, універсальна навантажувальна система, електричні машини постійного та змінного струму.

Автор:

Фаннан А.

Підписано до друку 30.04.96. Формат 60X84 ^{1/16}
Папір друк., №2 Друк офсетний. Умовн. друк. арк 1.02
Умовн. фарбо. відб. 1.04. Облік-вид. арк. 1.0
Тираж 100 Зам. № 15

Ротопронт Криворізького технічного університету.
324027 г. Кривий рог ул. XXII партсъезда, 11



AB 34.794

1