

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

(Специализированный совет К 06.04.04)

На правах рукописи

*Хенниуи Халид*

(Марокко)

**АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ НА БАЗЕ АСИНХРОННЫХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ И АСИНХРОННО - ВЕНТИЛЬНЫХ КАСКАДОВ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк - 1996

621.3-1

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00743841 (R)

Диссертация является р

Диссертационная работа подготовлена в Донецком государственном техническом университете

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,  
академик Украинской технологической академии  
**Сивокобыленко Виталий Федорович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,  
**Карась Станислав Васильевич**  
кандидат технических наук, доцент,  
**Заболотный Иван Петрович**

Ведущее предприятие: Донецкий проектно-изыскательский, научно-исследовательский институт " Теплоэнергопроект " г. Донецк.

Защита состоится "9" января 1997г. в 13 ч 30 мин. на заседании специализированного совета К.06.04.04 в Донецком государственном техническом университете по адресу:

г. Донецк, ул. Артема, 58, ауд. 1201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан "4" декабря 1996г.

Ученый секретарь специализированного  
совета, канд. техн. наук, доцент

А.М.ЛАРИН

подпись

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы:** Проблема повышения электровооруженности производства связана как с увеличением объема вырабатываемой электроэнергии, так и с повышением эффективности ее использования. Эта проблема стоит перед промышленно-развитыми странами, и является первой необходимостью для решения острых социально-экономических проблем, возникающих перед странами, ставшими на путь независимости. Одним из примеров таких стран является Королевство Марокко. Развитие электроэнергетики Марокко идет по пути непрерывного увеличения мощностей электрических станций и единичных мощностей энергоблоков, расширения энергетической системы страны, совершенствования существующих и внедрения новых технологических установок с управляемым приводом. Согласно государственным планам Марокко ставится задача дальнейшего роста установленной мощности в стране с 2,6 ГВт в 1992 г до 3,6 ГВт в 2000г.

Наряду с указанными количественными показателями перед электроэнергетикой поставлены также задачи повышения ее качества. Предусматривается продолжить работы по дальнейшему повышению экономичности и надежности электроснабжения народного хозяйства.

В электрических системах Марокко системы электроснабжения имеют низкую надежность, так как при коротких замыканиях или кратковременных перерывах питания происходит полное обесточение потребителей, а АПВ линий, АВР трансформаторов, групповой самозапуск двигателей, применяются еще в не достаточной мере. Восстановление вручную доаварийной схемы питания требует продолжительного времени, что наносит значительный ущерб народному хозяйству. Надежность электроснабжения потребителей можно значительно повысить, если решить проблему обеспечения успешного самозапуска двигателей после перерывов питания в питающей сети, а также в самой системе электроснабжения. Кроме того, в последнее время в узлах нагрузки появляется более экономичный регулируемый привод - асинхронно-вентильный каскад (АВК). Однако вопросы повышения эффективности и надежности работы систем электроснабжения при совместной работе асинхронных двигателей с глубокопазым ротором (АДГР) и АВК, изучены еще недостаточно.

Отметим также, что в рассматриваемых системах имеют место слабые связи с источниками электроэнергии. Последнее обуславливает большие сопротивления питающих систем и повышенные падения напряжения в них в переходных режимах работы.

Актуальным является применение ПЭВМ для моделирования указанных режимов. При этом требуется также решение вопросов синтеза схем замещения машин переменного тока и анализа переходных процессов в многоузловых многомашинных системах электроснабжения (ММСЭ). Этим проблемам посвящены работы ученых ДонГТУ, КПИ, МЭИ, ЛПИ, и др. Однако методы определения параметров схем замещения асинхронных глубокопазных двигателей еще требуют совершенствования.

В связи с изложенным, настоящая диссертационная работа посвящена анализу переходных процессов в системах электроснабжения с двигательной нагрузкой, разработке метода моделирования АДГР и АВК, уточнению параметров схем замещения АДГР.

**Цель** работы состоит в разработке и совершенствовании методов математического моделирования и анализа переходных процессов в системах электроснабжения при наличии в них асинхронных двигателей и асинхронно-вентильных каскадов, в исследовании их поведения в режимах пуска и самозапуска и в разработке рекомендаций по повышению надежности работы ММСЭ.

**Идея работы** заключается в использовании регулировочных свойств АВК для облегчения условий группового самозапуска электродвигателей, а также в повышении точности синтеза схемы замещения АДГР за счет представления глубокопазного ротора в виде двух эквивалентных стержней прямоугольного сечения, что позволит обеспечить совпадение расчетных и каталожных токов и моментов.

#### **Основные задачи исследования:**

- разработка модели асинхронно-вентильного каскада для учета его поведения в групповых переходных процессах, возникающих в ММСЭ.
- разработка метода преобразования радиальных схем и алгоритма расчета на ПЭВМ переходных процессов в ММСЭ с каскадными переходами;
- разработка улучшенной модели АДГР, обеспечивающей при ее синтезе более точное совпадение расчетных и исходных каталожных значений токов и моментов во всем диапазоне скольжений;
- разработка алгоритма и программы с улучшенными вычислительными характеристиками для расчета на ПЭВМ переходных процессов в ММСЭ и выполнение с ее помощью расчетов групповых процессов в системах электроснабжения Марокко.

**Основные научные результаты, их новизна и положения, выносимые на защиту:**

**Положения:**

1. Для облегчения группового самозапуска АДГР при наличии АВК предложен способ автоматического перевода последних на режим работы с пониженной частотой вращения, что облегчает условия самозапуска и повышает надежность электроснабжения ММСЭ.

2. Способ выделения из заданной схемы сложной конфигурации схем радиального вида и их расчет с использованием разработанного метода преобразования, позволяющего повысить эффективность расчетов по сравнению с известными методами решения схем общего вида.

3. Автором установлено, что при синтезе схем замещения АДГР раздельный учет вытеснения тока по активному и индуктивному сопротивлениям ротора (без учета их взаимного влияния) позволяет более эффективно находить сопротивления эквивалентной схемы замещения, более точно отображающей заданные пусковые характеристики двигателей.

**Результаты:**

1. С использованием разработанной математической модели АВК, основанной на полных дифференциальных уравнениях, установлена закономерность поведения систем электроснабжения с двигательной нагрузкой в режимах выбега и самозапуска, что позволило разработать рекомендации по повышению надежности их работы в переходных режим за счет использования регулировочных свойств и характеристик АВК.

2. Разработана математическая модель для анализа переходных режимов работы электромашиных систем, содержащих АДГР и АВК с представлением всех элементов полными дифференциальными уравнениями.

3. Разработан новый более точный метод расчета параметров схем замещения и характеристик глубокопазных асинхронных двигателей, который основан на использовании каталожных данных и отличается от известных тем, что реальные глубокопазные стержни ротора представлены в виде двух фиктивных прямоугольного сечения, один из которых высотой  $h_r$  отражает характер изменения активного сопротивления, а другой высотой  $h_x$  - индуктивного сопротивления цепи ротора.

4. Разработана структура и математическое обеспечение программного комплекса для расчета переходных процессов в ММСЭ, отличающегося улучшенными вычислительными характеристиками, и позволяющего рассчитывать сложные каскадные режимы схемы, возникающие при работе автоматики и защиты.

5. Проведены с использованием разработанного комплекса программ исследования переходных процессов ММСЭ Марокко и предложены на их основе рекомендации по повышению надежности работы.

#### Методы исследований

При решении поставленных задач применялись методы математического моделирования, общая теория переходных процессов машин переменного тока, а также методы вычислительной математики.

Теоретическая ценность и новизна заключается в новом подходе к синтезу схем замещения и разработке более точных математических моделей АДГР и АВК, а также методов и алгоритмов расчета на ПЭВМ переходных процессов в ММСЭ.

Практическая значимость заключается в разработке программного комплекса для расчета на ПЭВМ переходных процессов и разработанных рекомендациях по повышению надежности систем электроснабжения для Украины и Марокко.

#### Уровень реализации, внедрение научных разработок

Программа расчета внедрена в Донецком отделении ОРГРЭС, а также в НИЧ кафедры ЭС и в учебном процессе специальности 1001 "Электрическая часть электростанций" ДонГТУ.

#### Обоснованность и достоверность

научных положений, выводов и результатов обеспечивается применением апробированных методов математического моделирования электроэнергетических систем, обоснованностью принятых допущений, результатами экспериментальных исследований (расхождение между экспериментальными и расчетными данными не превышает 7 % для режимов пуска и самозапуска АД).

#### Апробация работы:

Результаты проведенных исследований докладывались и обсуждались на V и VI Всеукраинских студенческих научных конференциях "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов" (1995, 1996 года г. Донецк); Региональной научной конференции "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность" (ДонГТУ 1996 г); и 7-ом международном симпозиуме "Короткие замыкания в энергосистемах", (Польша, 1996г) Работа также выполнялась по плану научно-исследовательских работ Донецкого государственного технического университета.

#### Публикации:

По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ.

### Структура и объем работы:

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и четырех приложений; основное ее содержание изложено на 120 страницах машинописного текста, содержит 82 рисунка, 25 таблиц, список литературы из 96 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан анализ существующих способов моделирования АДГР. Выполнена количественная оценка точности определения параметров и пусковых характеристик АДГР известными методами расчета. Для этого был использован интерактивный графический режим работы ПЭВМ. Применение этого режима позволяет получать, сопоставлять и анализировать на экране монитора пусковые характеристики двигателей, полученные различными методами. Это позволило выявить ранее необнаруженные свойства, недостатки и особенности существующих методов. Многовариантность расчетов в рассматриваемой программе обеспечена за счет использования баз данных порядка 1000 АДГР напряжением 6 и 0,4 кВ.

Показано, что методы, основанные на использовании формулы Клосса (Шевченко В.С., Георгиади В.Х.), обеспечивают совпадение исходных и расчетных параметров АДГР лишь в крайних точках диапазона скольжений при  $s = 1$  и  $s_{кр}$  и не позволяют изменять характеристику в средней части диапазона скольжений.

Аналогичными недостатками, несмотря на различие в подходах к моделированию эффектов вытеснения тока в фигурных стержнях обмотки ротора, обладают ряд существующих методов синтеза эквивалентных схем замещения АДГР (Сыромятников И.А., Проданов Л.В., Вершинина С.И., Гамазин, Т.А. Усов С.В., Буторин Н.Н., Цветков И.А.). Лишь в отдельных методах (Фельдман М.Л., Черновец А.К., Сивокобыленко В. Ф., Павлюков В.А.) удалось частично решить указанную проблему. В одном случае это выполнено путем учета исходных данных из средней части диапазона скольжений при определении нелинейных зависимостей сопротивлений ротора. В другом - формирование указанных нелинейных зависимостей выполнено с учетом конструктивных размеров паза ротора.

Показана актуальность применения АВК в качестве регулируемого привода из-за его экономичности. Дан анализ методов его моделирования. Показана недостаточная изученность его поведения в групповых переходных процессах и его влияние на качество режимов работы узла нагрузки.

Рассмотрены существующие машинные методы, алгоритмы и программы расчета переходных процессов в многоузловых многомашинных

системах электроснабжения. Показано, что решение задачи в общем виде требует больших ресурсов ПЭВМ. Предложенные же некоторыми авторами частные алгоритмы решения радиальных схем не отличаются должной универсальностью. На основе проведенного обзора сформулированы основные задачи исследований.

Во второй главе приведено описание двух новых методов синтеза одноконтурной (а) и двухконтурной (б) эквивалентных схем замещения АДГР, приведенных на рис. 1. Первая из них предназначена для анализа электромеханических, а вторая - электромагнитных переходных процессов. В обеих моделях расчет параметров статорной цепи и цепи намагничивания идентичны и основываются на предложенных ранее соотношениях.

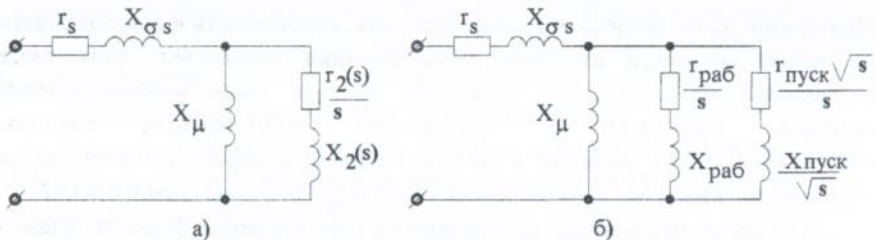


Рисунок 1. - Эквивалентные одно -(а) и двухконтурная (б) схемы замещения АДГР

Применительно к одноконтурной схеме замещения расчет зависимостей активного и индуктивного сопротивлений ротора производится по известным соотношениям для прямоугольного паза ротора, предложенным проф. Сыромятниковым И.А, а повышение функциональных возможностей метода достигнуто за счет того, что реальные глубокопазные стержни ротора предложено представлять в виде двух фиктивных прямоугольного сечения, один из которых высотой  $h_r$  отражает характер изменения активного сопротивления, а другой высотой  $h_x$  - индуктивного сопротивления цепи ротора.

Сопротивления ротора при этом находятся из соотношений

$$r_2(S) = r_{20} [a_r + (1 - a_r) K_r(s)];$$

$$X_2(S) = X_{20} [a_x + (1 - a_x) K_x(s)],$$

где:  $r_{20}$ ,  $X_{20}$  - активное и индуктивное сопротивления ротора при  $S=0$ ;  
 $a_r$ ,  $a_x$  - части сопротивлений ротора, не зависящие от вытеснения тока;  
 $K_r(s)$ ,  $K_x(s)$  - коэффициенты для учета вытеснения тока в стержнях ротора прямоугольной формы, определяемые как:

$$K_r(S) = \xi_r \frac{sh2\xi_r + \sin 2\xi_r}{ch2\xi_r - \cos 2\xi_r}; \quad K_x(S) = \frac{2}{3\xi_x} \frac{sh2\xi_x - \sin 2\xi_x}{ch2\xi_x - \cos 2\xi_x},$$

здесь  $\xi_r = 0,9h_r^3 \sqrt{S}$  ;  $\xi_x = 0,9h_x^3 \sqrt{S}$ .

Описанный выше прием, в отличие от известных методов моделирования АДГР, расширил возможности формирования средних зон пусковых характеристик не только вращающего момента, но и тока статора двигателя.

Результаты вычислительных экспериментов показали высокую надежность метода при синтезе моделей АДГР с различным сочетанием его исходных параметров. Кроме того расчеты были выполнены для ряда АДГР, пусковые характеристики которых были получены экспериментальным путем. Во всех случаях были получены удовлетворительные результаты аппроксимации исходных пусковых характеристик, что свидетельствует об устойчивой работе программы расчета на ПЭВМ.

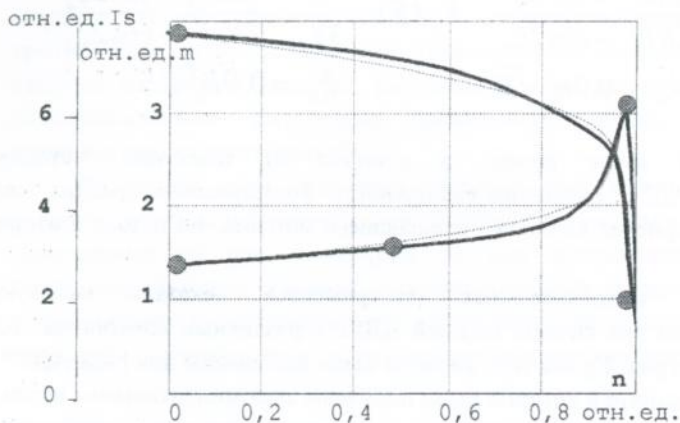
Ниже на рисунке 2 приведены пусковые характеристики одного из АДГР типа ВАЗ - 215/109-АМ05 привода главного циркуляционного насоса ядерного энергетического реактора типа ВВЭР 1000.

Применительно к двухконтурной эквивалентной схеме замещения АДГР предложено с целью разработки механизма формирования средних зон пусковых характеристик ввести зависимые от скольжения параметры пускового контура ротора (рис. 3).

Предложенный прием позволил одновременно сохранить преимущества двухконтурных схем замещения по моделированию динамических свойств АДГР и добиться удовлетворительных результатов аппроксимации статических пусковых характеристик. По предложенному методу также разработана программа расчета на ПЭВМ. Проведенный вычислительный эксперимент по большому количеству типов АДГР показал устойчивую работу метода. По сравнению с известными предложенные методы позволили снизить погрешность аппроксимации пусковых характеристик АД с 30-40% до 4-5%.

**В третьей главе** выполнена разработка математической модели АВК для исследования электромеханических и электромагнитных переходных процессов. Принципиальная схема АВК приведена на рис.4.

Основная схема АВК состоит из следующих элементов: асинхронного электродвигателя с фазным ротором АД, вентильного преобразователя ВВ, служащего для выпрямления тока ротора, источника добавочной ЭДС, в качестве которого использован вентильный преобразователь (инвертор),



- исходные по данным завода изготовителя ;
- расчетные по разработанному методу
- точки пусковых характеристик, принимаемые в качестве исходных для синтеза математической модели

Рисунок 2. - Пусковые характеристики вращающего момента и тока статора асинхронного двигателя типа ВА3 215/109-АМ05

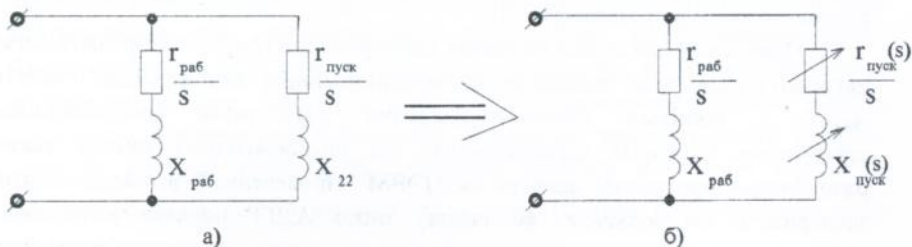


Рисунок 3. - Исходная (а) и предложенная (б) двухконтурная схема замещения роторной цепи АДГР

состоящий из управляемых вентилях 2В, трансформатора Т, сглаживающего дросселя  $L_d$  и пускового реостата ПР.

Модель АВК основана на использовании полных дифференциальных уравнений для асинхронного двигателя, при этом в уравнения для цепи ротора введен вектор добавочного напряжения  $\vec{U}_r$ , пропорциональный току ротора (рис.4, (б))

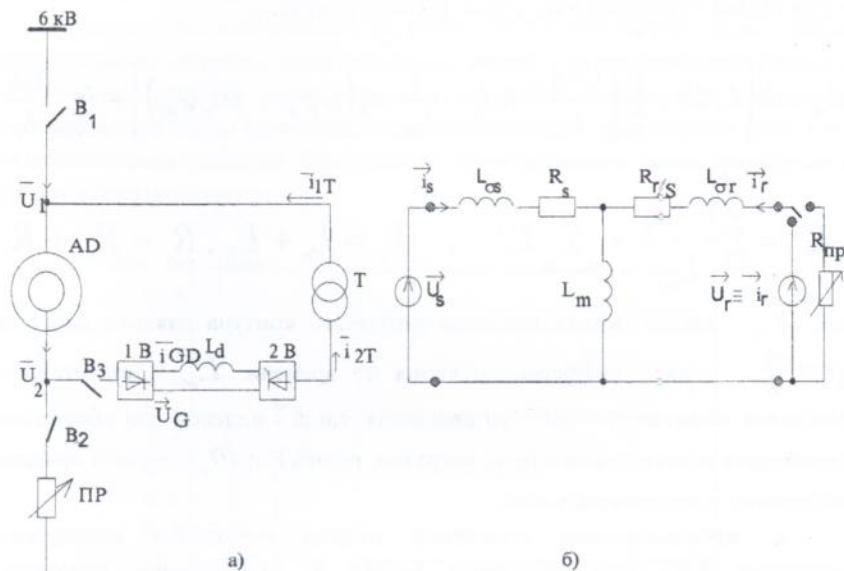


Рисунок 4. - Принципиальная электрическая схема и упрощенная схема замещения АВК

$$\left. \begin{aligned} \vec{U}_s &= R_s \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_s; \\ \vec{U}_r &= R_r \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} + j(\omega_k - \omega) \vec{\psi}_r; \\ m - m_c &= \frac{1}{J} \frac{d\omega}{dt}; \end{aligned} \right\}$$

В разработанной модели АВК принято допущение о неучете дискретности из - за наличия вентилей и искажения формы кривых токов статора и ротора. В то же время модель отражает основные принципиальные особенности каскадов и удобна для исследования режимов работы АВК. С ее помощью был исследован ряд индивидуальных переходных режимов работы АВК: его пуски и самозапуски, регулирование частоты вращения и КЗ.

Были исследованы также применительно к одноузловой схеме электроснабжения групповые переходные процессы работы АВК в группе АДГР. Математическая модель для анализа этих процессов основана на представлении каждого элемента схемы полными дифференциальными уравнениями. Взаимосвязь элементов описывается дифференциальным

уравнением, основанном на первом законе Кирхгофа для первых производных токов ветвей источника и нагрузок. Из него получено:

$$\vec{U}_{ш} = L \left\{ L_c^{-1} \vec{U}_c + \sum_{i=1}^N \left[ \frac{1 - a_{si}}{L_{\sigma i}} R_{i1} \vec{i}_{si} + \frac{1}{L_{\sigma i}} a_R (p \vec{\psi}_{Ri} + j \omega_{\kappa} \vec{\psi}_{Ri}) \right] + \sum_{l=c, n, ш} \frac{R_l \vec{i}_l}{L_l} \right\};$$

$$L^{-1} = \sum_{i=1}^N \frac{1 - a_{si}}{L_{\sigma i}} + \sum_{l=c, n, ш} L_l^{-1}; \quad L_c = L_n + L_T; \quad R_c = R_{И} + R_T$$

где  $\vec{\psi}_{Ri}$  - вектор потокосцепления роторного контура для i-го двигателя;  $p = \frac{d}{dt}$  - символ дифференцирования по времени;  $L_{\sigma i}$  - индуктивность рассеяния обмотки статора i-го двигателя; с, н, ш - индексы для обозначения параметров соответственно сети, нагрузки, шунта КЗ;  $\omega_{\kappa}$  - частота вращения выбранных координатных осей.

С использованием описанной модели выполнено исследование поведения АВК при групповом выбеге и последующем самозапуске электродвигателей одной из секций, описываемой ниже типовой системы электроснабжения Марокко. На рис. 5 приведены результаты расчета на ПЭВМ режимов самозапуска электродвигательных агрегатов при наличии и отсутствии в их составе АВК. Как видно из приведенных результатов, в существующей схеме самозапуск двигателей не успешен. Наибольший эффект может быть достигнут, если при отключении питания секции ее защитой минимального напряжения подать команду на снижение частоты вращения к началу самозапуска АВК. В этом случае АВК снизит частоту вращения и будет потреблять значительно меньшую мощность, что облегчает режим самозапуска остальным нерегулируемым асинхронным приводам (рис.5).

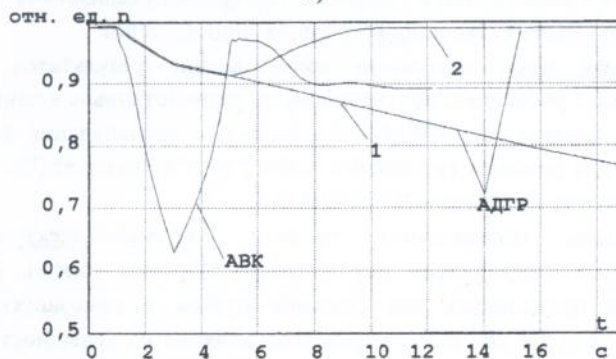
В четвертой главе выполнена разработка математической модели, алгоритма и программы расчета на ПЭВМ переходных электромеханических процессов в ММСЭ с асинхронным электроприводом. Модель основана на расчете по алгебраическим уравнениям напряжений в узлах электрической схемы и решении на каждом шаге расчета переходного процесса уравнения движения роторов электродвигательных агрегатов с использованием статических характеристик механизмов и АДГР. Последние рассчитываются по эквивалентным Т-образным схемам замещения, методика расчета параметров которых разработана в данной работе.

Поскольку схемы большинства систем электроснабжения в основном имеют радиальный вид для повышения быстродействия расчетов разработан

новый метод преобразования радиальных схем произвольной структуры с любым количеством источников и нагрузок. Он основан на последовательном преобразовании матрицы связи пассивных ветвей с электрическими узлами и аналогичного вектора связи активных ветвей (источников и нагрузок). Преобразование схемы производится по отношению к узлу свертки (узел с КЗ или подключения системы). В результате преобразования схема приводится к виду многолучевой звезды.



а)



б)

Рисунок 5. - Расчетные значения изменения напряжения секции (а) и частот вращения агрегатов (б) в режиме самозапуска двигателей при перерыве питания  $\Delta t = 2\text{ с}$  и  $X_{вн} = 4\text{ Ом}$ . (1 - в существующей схеме, 2 - с учетом предложенного в работе управления АВК в переходных режимах).

Расчет каскадных режимов ММСЭ производится путем расчленения общего режима на отдельные расчетные подрежимы, в пределах которых структура расчетной схемы не изменяется. Общее количество подрежимов не

ограничивается, что позволяет выполнять анализ схемы произвольной структуры. Формирование отдельных подрежимов производится путем отключения из общей расчетной схемы отдельных элементов или их фрагментов.

Для этого программа расчета на ПЭВМ имеет развитой интерфейс пользователя, построенный на интерактивном графическом режиме ее работы. На экране монитора с помощью специально созданных для каждого вида оборудования графических блоков формируется полная расчетная схема исследуемой системы электроснабжения. Пример схемы показан на рис. 6. Разработан алгоритм перехода от графического представления схемы на экране монитора к ее расчетной эквивалентной схеме замещения. По последней выполняется расчет подрежима.

Дружественность интерфейса пользователя программы обеспечивается кроме того использованием баз нормативно-справочных данных основных видов электротехнического оборудования и приводных механизмов, а также баз данных расчетных вариантов. Применение последних особенно эффективно при исследовании режимов работы сложных схем, содержащих большой объем исходных данных.

Предусмотрено представление входных данных и результатов расчетов по программе в виде таблиц и графиков. Программа реализована для работы на ПЭВМ типа IBM PC 286 и более старших модификаций.

В пятой главе выполнено сопоставление результатов натуральных экспериментов с расчетами, полученными по разработанному в данной работе программам расчета на ПЭВМ. Максимальное несовпадение результатов имеет место для режимов группового выбега и не превышает 7%. для схемы электроснабжения с.н. блоков 200 и 300 МВт.

Проведены исследования типовой системы электроснабжения промышленного предприятия для условий Марокко (рис.6). Указанные исследования проводились для режимов пусков и самозапусков АДГР, напряжением 6 и 0,4 кВ. Было определено влияние на успешность режимов самозапуска следующих факторов (табл.1): загруженности секции; мощности питающей системы; нагрузки соседней подстанции; нагрузки соседней секции, подключаемой к питающему трансформатору при ремонте смежного трансформатора. Как показали расчеты (табл.2) наибольшее влияние на процесс самозапуска оказывает мощность энергосистемы, а также время перерыва питания.

В результате проведенных исследований типовой системы электроснабжения промышленного предприятия Марокко разработаны рекомендации для повышения надежности ее работы, заключающиеся в применении АВР трансформаторов и АПВ линий электропередач;

применении защиты минимального напряжения для отключения неответственных электродвигателей с целью облегчения условий самозапуска ответственных агрегатов, а также применении специальных пусковых схем для пуска мощных электродвигателей.

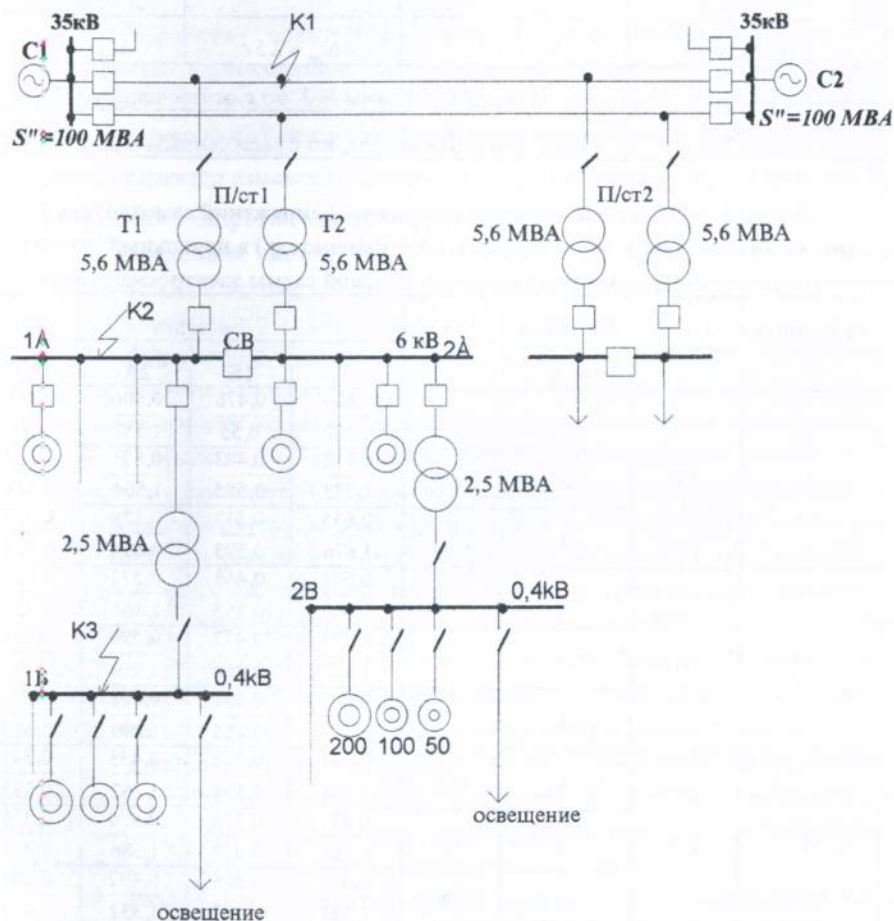


Рисунок 6. - Типовая схема электроснабжения промышленного предприятия Марокко

Таблица 1.- Расчетные условия исследуемых режимов самозапуска электродвигателей типовой схемы электроснабжения Марокко

Уровень напряжения	35 кВ	6 кВ	0,4 кВ
точка КЗ	К1	К2	К3
Режим №1	$\Delta t_{\text{пр}} = 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5 \text{ с}$	—	—
Режим №2	$\Delta t_{\text{пр}} = 2.5 \text{ с}$	$\Delta t_{\text{пр}} = 2.5 \text{ с}$	$\Delta t_{\text{пр}} = 2.5 \text{ с}$
Режим №3	то же, что и режим №2, но с отключением С2		
Режим №4	то же, что и режим №2, но с выведенным в ремонт Т2		

Таблица 2. – Расчетные значение начальных напряжений самозапуска в отн.ед. (числитель) и токов секций в кА (знаменатель) в начальный момент самозапуска для ремонтных режимов типовой схемы электроснабжения

№ Режима	$\Delta t, \text{ с}$	№ точки	$t_{\text{сз}}, \text{ с}$	секции			
				К.З.	1А	1Б	2А
2	2,5	1	18,2	$\frac{0,606}{1,757}$	$\frac{0,478}{0,55}$	$\frac{0,606}{1,757}$	$\frac{0,478}{0,55}$
		2	16,9	$\frac{0,612}{1,773}$	$\frac{0,483}{0,555}$	$\frac{0,651}{1,504}$	$\frac{0,534}{0,516}$
		3	10,1	$\frac{0,655}{1,676}$	$\frac{0,517}{0,593}$	$\frac{0,828}{0,674}$	$\frac{0,776}{0,308}$
3	1	1	>20	$\frac{0,571}{1,464}$	$\frac{0,468}{0,455}$	$\frac{0,571}{1,464}$	$\frac{0,468}{0,455}$
		2	>20	$\frac{0,577}{1,477}$	$\frac{0,472}{0,460}$	$\frac{0,596}{1,350}$	$\frac{0,501}{0,435}$
		3	>20	$\frac{0,607}{1,399}$	$\frac{0,497}{0,484}$	$\frac{0,661}{1,090}$	$\frac{0,576}{0,420}$
4	2,5	1	>20	$\frac{0,434}{1,264}$	$\frac{0,342}{0,394}$	$\frac{0,433}{1,262}$	$\frac{0,341}{0,393}$
		2	>20	$\frac{0,477}{1,388}$	$\frac{0,376}{0,433}$	$\frac{0,476}{1,386}$	$\frac{0,376}{0,432}$
		3	>20	$\frac{0,492}{1,333}$	$\frac{0,388}{0,447}$	$\frac{0,492}{1,332}$	$\frac{0,394}{0,427}$

**В заключении** подведен общий итог работы и сформулированы выводы по результатам проведенных исследований.

**В приложении** приведены исходные тексты разработанных программ

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано решение актуальной научной задачи совершенствовании методов математического моделирования и анализа переходных процессов в системах электроснабжения при наличии в них асинхронных двигателей и асинхронно-вентильных каскадов.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем.

1. Разработан новый более точный метод расчета параметров и характеристик глубокопазных асинхронных двигателей, который отличается от известных тем, что реальные глубокопазные стержни ротора представлены в виде двух фиктивных прямоугольного сечения, один из которых высотой  $h_r$  отражает характер изменения активного сопротивления, а другой высотой  $h_x$  - индуктивного сопротивления цепи ротора.

2. Предложен метод уточнения параметров двухконтурной схемы замещения АДГР путем введения нелинейной зависимости от скольжения сопротивлений одного из контуров ротора (пускового).

3. Разработана математическая модель для анализа переходных режимов работы электромашинных систем, содержащих АД и АВК с представлением всех элементов полными дифференциальными уравнениями.

4. С использованием разработанной математической модели АВК установлена закономерность поведения систем электроснабжения с двигательной нагрузкой в режимах выбега и самозапуска, что позволило разработать рекомендации по повышению надежности их работы в переходных режимах за счет использования регулировочных свойств и характеристик АВК. Показана целесообразность автоматического перевода АВК на пониженную скорость в режимах группового самозапуска двигателей, что повышает надежность электроснабжения за счет облегчения условий самозапуска всех двигателей, подключенных к общим шинам питания.

5. Разработана структура и математическое обеспечение программного комплекса для расчета переходных процессов в ММСЭ, отличающегося улучшенными вычислительными характеристиками, и позволяющего рассчитывать сложные каскадные режимы.

6. Разработан алгоритм преобразования схем радиального вида произвольной конфигурации, который позволил повысить точность и быстродействие программы расчета режимов работы ММСЭ.

7. Проведены с использованием разработанного комплекса программ исследования динамических режимов работы агрегатов, и предложены на их основе рекомендации по повышению надежности работы ММСЭ систем электроснабжения Марокко.

**Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Хенниуи Халид, Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А. Метод расчета схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных двигателей. Электротехника №1 1996.- С.38-41.

2. Prof. Sivokobylenko. V. F., Dr Pavliukov. V. A., Mr Hennioui Khalid. The method of short circuit equivalenting and calculation in induction motors system.VII International symposium on short-circuit currents in power system, Poland, 1996. (№ 1-1.3.1).

3. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А., Хенниуи Халид Совершенствование многоконтурных схем замещения глубокопазных асинхронных двигателей. Депонирование ГНТБ Украины, Киев. № 1690 - УК95 от 23.06.1995, 8 с

4. Хенниуи Халид, Сивокобыленко В.Ф. Моделирование режимов коротких замыканий в системе электроснабжения с асинхронными двигателями. Сб. тез. докл. V Всеукраинской студенческой научной конференции: "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов".- Донецк. 1995.- с.186.

5. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А., Хенниуи Халид. Расчет параметров схем замещения глубокопазных асинхронных двигателей. Сб. науч трудов энергетического факультета "Электромеханика и электроэнергетика" Донецк: ДонГТУ, 1996-с.9-13.

6. Хенниуи Халид Расчет режимов работы в электрических системах ветроэлектростанции. Сб.докл VI Всеукраинской студенческой научной конференции " Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов".- Донецк. 1996 - с.143-144.

7. Хенниуи Халид. Расчет токов короткого замыкания в системе собственных нужд тепловых электрических станций. Сб.докл. Региональной научной конференции "Творческое наследие В.И. Вернадского и современность".- Донецк: ДонГТУ, 1996 - с.16.

8. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А., Хенниуи Халид. Программа расчета на ПЭВМ электромеханических переходных процессов в многоузловых системах электроснабжения с.н.ТЭС и АЭС" (в печати).

**Личный вклад автора** в работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит: - Алгоритм и программа расчета параметров двухконтурной схемы замещения асинхронного двигателя [3,4]; Определение аппроксимирующей зависимости при определении зависимостей сопротивлений ротора от скольжения [1,5]; алгоритм учета внешних сопротивлений асинхронных двигателей [2]; комплекспрограмм расчета на ПЭВМ переходных процессов в многоузловых системах электроснабжения [8].

## ANNOTATION

Hennioui Khalid: " Analysis of transients in power supply systems with electrotechnical complexes on the basis of inductions motors inductions and ventiles of cascades".

The dissertation is presented for the PHD degree in the speciality 05.09.03 "Electrotechnical complex and systems, including their control and regulations". Donetsk state technical university, Donetsk, 1996.

In the dissertation improved mathematical model deep-bar slot a induction motors, induction - вентиляного of a cascade and multinode multimachine system of power supply for the analysis of its behaviour in transitive modes of operations is developed. The developed models are fixed in the basis of algorithms and program of account on PC. On the basis of conducted researches necessity of use ABK for facilitation of modes of restart of electric motors is shown. The recommendations for increase of reliability of work of Morocco power supply systems are developed.

## АНОТАЦІЯ

Халид Х. " Аналіз перехідних процесів в системах електропостачання із електротехнічними комплексами на базі асинхронних двигунів та асинхронно-вентильних каскадів".

Работа з рукописом на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 "Електротехнічні комплекси і системи, включаючи їх управління та регулювання". Донецький держ. техн. університет, Донецьк, 1996.

У дисертації розроблена покращена математична модель глибокопазового асинхронного двигуна, асинхронно-вентильного каскаду та багатовузлової, багатомашинної системи електропостачання для аналізу и поведінки в перехідних режимах роботи. Розроблені моделі покладено в основу алгоритму та програми розрахунку на ПЕОМ. На основі проведених розрахунків показана необхідність використання АВК для облегчення режимів самозапуску двигунів. Розроблені рекомендації по підвищенню надійності роботи систем електропостачання Марокко.

Ключові слова:

Синтез математичних моделей, алгоритм, програма розрахунку на ПЕОМ, асинхронно-вентильный каскад, глибокопазовий асинхронний двигун, самозапуск двигунів

