

**ИЗ ФОНДОВ РОССИЙСКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ БИБЛИОТЕКИ**

**На правах рукописи**

**Глухенький Тимофей Георгиевич**

**Разработка и исследование бездатчиковых систем  
управления вентильно-индукторными  
электродвигателями**

Специальность 05.09.03

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени к.т.н.

**Чебоксары - 2004**

На правах рукописи

Глухенький Тимофей Георгиевич



**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫМИ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ**

Специальность 05.09.03 — Электротехнические комплексы и системы

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Чебоксары 2004

Работа выполнена на кафедре "Системы автоматического управления электроприводами" Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Александр Карапетович Аракелян

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Валерий Алексеевич Нестерин  
доктор технических наук, профессор  
Михаил Григорьевич Бычков

Ведущее предприятие: ОАО "Электропривод" (г. Москва)

Защита состоится 20 февраля 2004 г. в 15.00 в аудитории В-310 на заседании диссертационного совета Д212.301.02 при Чувашском государственном университете им. И.Н. Ульянова (428015, г. Чебоксары, Московский просп., 15).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим высылать по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Чувашского государственного университета.

Автореферат разослан 15 января 2004 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д212.301.02  
канд. техн. наук, доцент



Г.П.Охоткин

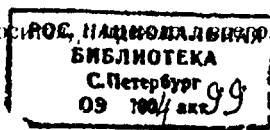
## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В последние годы внимание разработчиков электроприводов было привлечено новым типом двигателя, получившим название "вентильно-индукторного" (ВИД). Достоинством электрической машины этого типа являются конструктивная простота, надежность и высокая ремонтпригодность в сочетании с весьма высокими энергетическими показателями. По оценкам западных специалистов, по сравнению с самой дешевой машиной переменного тока - двигателем с беличьей клеткой - экономия активных материалов при использовании ВИД достигает 30%, а себестоимость производства оказывается в 1.7-2 раза ниже. Коэффициент полезного действия и удельная мощность ВИД оказываются близкими к аналогичным показателям асинхронного двигателя, уступая лишь вентильному двигателю с постоянными магнитами. При этом в случае работы с недогрузом (30-50% номинальной нагрузки) к.п.д. индукторного двигателя оказывается на (5-8)% выше, чем у асинхронного привода с векторным управлением.

В свете вышесказанного можно говорить о целесообразности применения ВИД во многих отраслях промышленности. Двигатели такого типа пригодны как для получения высоких и сверхвысоких скоростей вращения, так и для построения тихоходных высокомоментных электроприводов. Вызывает интерес возможность применения ВИД при создании уникальных механизмов, поскольку стоимость изготовления штучных ВИД оказывается существенно ниже таковой для любых иных типов электрических машин.

Однако вентильно-индукторный привод (ВИП) имеет и ряд недостатков. К ним следует отнести прежде всего высокие пульсации момента ВИД и повышенный уровень шума. Кроме того, распространение ВИП в значительной мере тормозится весьма сложной и не до конца отработанной процедурой проектирования электропривода для достижения высоких энергетических показателей. Сюда относятся

выбор



конфигурации машины из большого числа ее разновидностей, а также решение вариационной задачи, связанной с поиском оптимальных значений ее геометрических параметров. При этом нередко приходится рассматривать возможные варианты ВИД, отличающиеся не только количеством зубцов, но и фаз; сравнивать машины "классической" конструкции с двигателями, имеющими переменный зазор, многопакетный статор и т. п. Не вполне изученной является проблема взаимосвязи между геометрическими и электрическими параметрами ВИД, что затрудняет исследование поведения систем с ВИД на этапе проектирования.

Еще одной проблемой в создании промышленных приводов на базе ВИД является устранение датчика положения ротора, снижающего надежность и увеличивающего стоимость изделия. Общие принципы создания таких ВИП достаточно изучены. Широко известны работы по бездатчиковым ВИП таких авторов, как Р.Р.Асманley, Р.С.Кjaer, G.Gallegos-Lopez, J.P.Lyons и S.R.МаcMinn. Из русскоязычных работ следует отметить публикацию М.Г.Бычкова и Н.Ф.Ильинского (МЭИ), в которой рассматривается способ бездатчикового контроля положения с использованием фазного потокосцепления.

К сожалению, в подавляющем большинстве работ вопросы, связанные с практической реализацией предлагаемых методов, как правило, не рассматриваются. Приняв за основу какой-либо типовой способ контроля положения, разработчик нередко сталкивается с большими, а иной раз - и непреодолимыми трудностями. Многие методики на практике оказываются неработоспособными на низких или, наоборот, на высоких скоростях вращения, имеют недостаточную помехоустойчивость или требуют прецизионных схем измерения. В этой связи представляется целесообразным более детальное изучение ряда перспективных методов бездатчикового контроля положения, как в отношении областей применения, так и используемых схмотехнических решений и программного обеспечения.

Целью работы являются разработка инженерных методик проектирования бездатчиковых ВИП, исследование особенностей применения различных способов контроля положения ротора в реальных системах, разработка методики моделирования типовых ВИД по их геометрическим и обмоточным параметрам.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи:

- Разработка инженерных методов моделирования фазной цепи типовых ВИД по их геометрическим и обмоточным параметрам.
- Исследование физических процессов в электроприводе при использовании время-импульсного способа измерения положения ротора и практических особенностей его применения.
- Изучение поведения систем с контролем положения ротора по методу "регенеративного тока"; поиск путей улучшения энергетических показателей таких систем.
- Исследование вопроса об устойчивости систем с прогнозированием моментов коммутации фаз при движении ротора ВИД с ускорением.
- Поиск способов повышения помехозащищенности бездатчиковых систем управления ВИП.

Методы исследования. Исследования выполнялись с использованием теории магнитного поля, теории электропривода, микропроцессорных систем управления и методов математического моделирования систем. Численные методы применялись в виде пакетов прикладных программ. Экспериментальные исследования выполнены на опытных образцах ВИП.

#### **Научная новизна.**

- Предложена методика моделирования фазной цепи двигателя, имеющая в основе расчет магнитной цепи ВИД по ее геометрическим параметрам и позволяющая существенно упростить анализ динамических процессов в электроприводе на этапе проектирования системы.

- На основании комплексного исследования физических процессов в бездатчиковом ВИП с время-импульсным контролем положения ротора, предложены методы определения начального положения ротора и моментов коммутации фаз, в том числе с использованием прогнозирования при высоких скоростях вращения вала двигателя.
- Предложена и экспериментально проверена новая разновидность метода "регенеративного тока", позволяющая существенно улучшить энергетические показатели электропривода.
- Предложен и экспериментально испытан комплекс мер по повышению помехозащищенности бездатчиковых систем управления ВИД.

Практическая ценность. Полученные соотношения, разработанные алгоритмы и методики моделирования позволяют эффективно производить анализ динамики электропривода на этапе проектирования системы. Указанные методики обеспечивают достаточную точность расчетов и существенную экономию машинного времени при их выполнении.

Разработаны бездатчиковые системы управления ВИД с контролем положения как по время-импульсному методу, так и по методу регенеративного тока.

Сформулированы практические рекомендации по проектированию бездатчиковых систем управления ВИД и соответствующего программного обеспечения.

Практическая реализация. Практическая ценность диссертации подтверждается решением ряда практических задач создания новой техники. Предложенные в работе методы и алгоритмы бездатчикового контроля положения ротора взяты за основу при разработке цифровой системы управления ВИП ключа для свинчивания-развинчивания труб на нефтяных скважинах, разрабатываемого для ОЛО "Татнефть" (г.Льметьевск).

Математические выкладки диссертации использованы при проектировании ряда перспективных электроприводов, разрабатываемых ОАО "ВНИИР" (г.Чебоксары).

На защиту выносятся:

1. Методика составления математической модели индукторного двигателя по геометрическим параметрам магнитной цепи и обмоточным данным.
2. Алгоритмы бездатчикового управления ВИД с использованием время-импульсного метода контроля положения.
3. Метод бездатчикового контроля положения ротора с использованием регенеративного тока и прогнозирования моментов коммутации фаз.
4. Результаты экспериментальных исследований бездатчиковых ВИП, выполненных на опытных и макетных образцах.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы были доложены и обсуждены на научно-технической конференции, посвященной 40-летию ОАО "ВНИИР" (г. Чебоксары, 2001), научно-практической конференции «Электротехника и энергетика. Поволжья на рубеже тысячелетий» (г. Чебоксары, 2002), IV Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике» (г. Чебоксары, 2002), а также внутривузовских научно-технических конференциях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано семь печатных работ, из них четыре научные статьи (в том числе две в центральных изданиях) и три тезиса к докладам на научных конференциях.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 185 наименований и пяти приложений. Основная часть работы изложена на 137 страницах и включает 57 рисунков и 7 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, анализируется современное состояние науки в области вентильно-индук горного электропривода, формулируются задачи, решаемые в диссертационной работе.



В первой главе исследуется задача построения динамической модели фазной цепи ВИД по геометрическим параметрам статора и ротора, а также обмоточным данным. При этом доказано, что приемлемая по точностным показателям модель может быть построена на основании расчетов магнитной цепи двигателя для двух фиксированных положений ротора, при которых фазная индуктивность принимает максимальное и минимальное значения.

Расчет минимальной индуктивности производится по аналитической методике, имеющей своей основой аппроксимацию пространственной

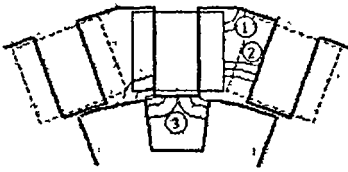


Рис.1. Разбиение расчетной области на подобласти

картины магнитного поля с помощью набора сферических поверхностей. При этом выделяются 3 подобласти (рис.1).

Вклад подобласти 1 в суммарный поток фазы для большинства машин пренебрежимо мал и может не учитываться. Для подобласти 2 поток рассеяния с боковой поверхности зубца статора приблизительно пропорционален кубу числа витков статорной обмотки, откуда потокосцепление от подобласти

$$\Psi_2 = \frac{2Z_{cm}}{m} k_{\psi} w^3, \quad (1)$$

где  $Z_{cm}$  – число зубцов статора;  $m$  – число фаз;  $w$  – число витков одной катушки статора; а  $k_{\psi}$  – коэффициент, находимый из следующего выражения:

$$k_{\psi} = k_0 \rho_r \left[ R_m \ln \frac{R_m}{R_1} - (R_m - R_1) \right]. \quad (2)$$

Здесь  $R_m$  – расстояние от оси ротора до основания зубца статора,

$R_1 = R_m - \frac{h_{обм}}{w}$  ( $h_{обм}$  – высота обмотки);  $k_0 = \mu_0 l_{cm} / \gamma_2$  – коэффициент ( $l_{cm}$  – длина пакета статора;  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\gamma_2$  – угловая ширина зубца статора);  $\rho_r$  – линейная плотность МДС обмотки статора (А/м).

Для подобласти 3 выделяются две зоны — наружная и внутренняя (рис.2).  
Потоки через означенные зоны определяются выражениями:

$$\Phi_{\text{внш}} = \frac{2 \mu_0 l_{cm} t w}{\pi b_{\text{внш}}} \ln \frac{b_{\text{внш}} R_{\text{кон}} - R_1}{(b_{\text{внш}} - 1) R_1}, \quad (3)$$

$$\Phi_{\text{внутр}} = \frac{2 \mu_0 l_{cm} t w}{\pi b_{\text{внутр}}} \ln \frac{(b_{\text{внутр}} + 1) R_1}{R_1 + b_{\text{внутр}} R_{\text{нач}}}, \quad (4)$$

где  $b_{\text{внш}} = \frac{2}{\pi} \gamma_3 + 1$ ,  $b_{\text{внутр}} = \frac{2}{\pi} \gamma_3 - 1$ ;  $R_1$  — радиус расточки статора;  $i$  — ток в обмотке статора.

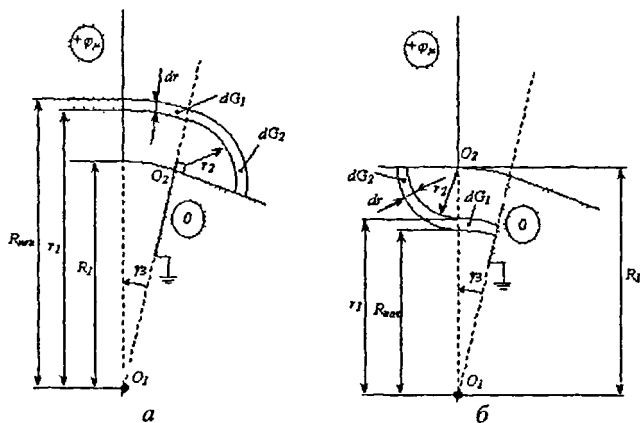


Рис 2 Аппроксимация магнитного поля в области зазора а - внешняя подобласть, б-внутренняя подобласть

Результаты расчетов по разработанной методике и соответствующие экспериментальные данные для трех изготовленных ВИД показаны в таблице.

Двигатель	$L_{\text{риск}}$ (расчетная), Гн $10^3$	$L_{\text{риск}}$ (измеренная), Гн $10^3$	Относительная погрешность расчета $\epsilon$ , %
4 кВт (12/8)	18 66	19 6	-4 8
230 Вт (24/16)	26 50	32 2	-17 7
3 кВт (12/8)	18 70	17 5	+6 9

Наибольшая погрешность расчета наблюдается в случае машин с коротким шагром ("плоских" машин), когда возрастает влияние потоков

рассеяния со сторон лобовых частей обмоток (вышеприведенный двигатель 24/16 с толщиной пакета статора 15 мм).

Расчет магнитной цепи для согласованного положения производится с учетом насыщения магнитной цепи методом итераций. Потоки рассеяния аппроксимируются по методике, близкой к вышеприведенной. Потокосцепления для промежуточных положений ротора вычисляются по формуле

$$\Psi(\theta, I_\phi) = \Psi_{\text{рас}}(I_\phi) + (\Psi_{\text{сизн}}(I_\phi) - \Psi_{\text{рас}}(I_\phi)) \frac{\theta - \theta_{\text{рас}}}{\theta_{\text{сизн}} - \theta_{\text{рас}}}, \quad (5)$$

где  $\theta_{\text{рас}}$  - угловое положение ротора, при котором начинается перекрытие зубцов;  $\theta_{\text{сизн}}$  - положение, при котором площадь перекрытия достигает максимума;  $\Psi_{\text{рас}}$  и  $\Psi_{\text{сизн}}$  - рассчитанные потокосцепления в этих положениях;  $\theta$  - текущее угловое положение ( $\theta_{\text{рас}} < \theta < \theta_{\text{сизн}}$ );  $\Psi$  - потокосцепление в этом положении;  $I_\phi$  - ток фазы.

Средний момент ВИД рассчитывается общепринятым энергетическим методом.

Во второй главе исследуются физические процессы при бездатчиковом контроле положения ротора в ВИД. При этом произведен анализ опубликованных методов контроля положения с точки зрения их точностных показателей, требований к аппаратной части электропривода и помехоустойчивости. Далее в главе рассмотрены два перспективных метода:

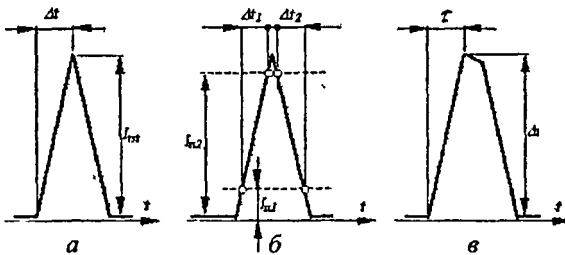


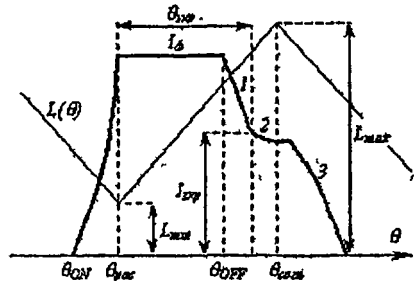
Рис 3 Способы измерения индуктивной фазы с использованием тестовых импульсов

время-импульсный метод и метод регенеративного тока.

При использовании время-импульсного метода выделяются три способа измерения индуктивности: времен-

ной однопороговой (рис. 3, а), временной двухпороговой (рис. 3, б) и амплитудный (рис.3, в). Первые два способа отличаются минимальными требованиями к управляющему микроконтроллеру, а третий - повышенной помехоустойчивостью. Все три способа пригодны для организации измерения скорости без физического датчика скорости. При этом предложен комплекс мер, направленных на снижение влияния насыщения магнитной цепи ВИД на качество измерения скорости. Кроме того, доказана возможность применения время-импульсного метода не только на низких, но и на высоких скоростях за счет прогнозирования моментов коммутации фаз.

При рассмотрении метода регенеративного тока акцент делался на повышение энергетических показателей электропривода. На основании приведенного в работе анализа сделан вывод, что указанные показатели могут быть существенно улучшены при помощи предварительной редукции тока перед ожиданием входа фазы в генераторный режим, а также использования прогнозирования моментов коммутации фаз на основании измеряемого тактового периода. При ЭТОМ формируется специфическая осциллограмма фазного тока (рис.4). Минимальная



р и с 4 Форма фазного тока ВИД при кусочно-регенеративном методе контроля «имени ротора»

(по соображениям качества контроля положения ротора) величина фазного тока связана с угловой скоростью ротора соотношением

$$i \geq \frac{\omega L_{\max}}{k_l \omega - R} \frac{m Z_p I_{\text{уст}} k_z \Delta \Pi \Pi}{2 \pi N_{\text{АЦП}} \varepsilon}, \quad (6)$$

где  $\omega$  - угловая скорость ротора;  $L_{\max}$  - максимальная индуктивность фазы;  $k_l$  - производная фазной индуктивности по углу на рабочем участке;  $R$  - активное сопротивление обмотки статора;  $m$  - число фаз;  $Z_p$  - число зубцов

ротора;  $I_{уст}$  - установившийся ток фазы (при котором ЭДС источника питания уравнивается ЭДС машины);  $k_{\text{зап}} > 1$  - коэффициент запаса АЦП (отношение общего числа дискрет к их числу, соответствующему номинальному току);  $N_{\text{АЦП}}$  - число дискрет АЦП;  $\epsilon$  - допустимая относительная погрешность в определении положения, базовой величиной для которой является угловая ширина зубца статора. С помощью моделирования в работе доказывается, что при продолжительности участка ожидания генерации (участок 2 на рис.4) до 20% расстояния ( $\theta_{\text{рас}} - \theta_{\text{сген}}$ ) снижение среднего электромагнитного момента ВИД не превышает (10-12)% относительно такового при идеальном управлении. Это позволяет говорить о существенном улучшении использования машины по сравнению с классическим методом регенеративного тока.

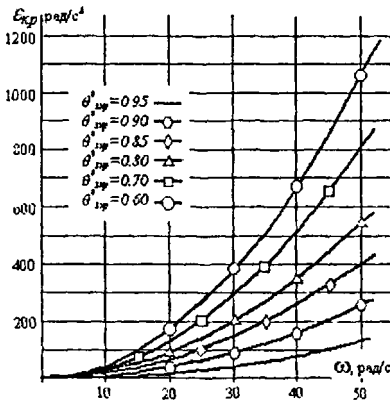


Рис.5. Зависимость критического ускорения от продолжительности ожидания генерации и угловой скорости ротора

для различных углов перехода в режим ожидания генерации (относительно величины  $\theta_{\text{рас}} - \theta_{\text{сген}}$ ).

В третьей главе рассматриваются структуры бездатчиковых систем управления ВИД и алгоритмы соответствующего программного обеспечения. При проектировании систем с использованием время-импульсного метода

В главе обращается внимание на возможность потери ориентации в бездатчиковом электроприводе при высоких значениях ускорения вала двигателя из-за возникающих при этом ошибок прогнозирования моментов коммутации. Аналитическим путем доказывается, что для кусочно-регенеративного метода критических ускорений имеют

вид, показанный на рис.5. На ЭТОМ

рисунке приводится семейство кривых

контроля положения' ротора особое значение приобретает грамотное построение алгоритма генерации импульсов. Как показано в главе, недостаток внимания к таким явлениям, как задержка прохождения сигналов от микропроцессора к силовым ключам, пульсации напряжения' в звене постоянного тока, перекрестные наводки между фазами- ВИД, может привести к появлению некорректных измерений индуктивности и ошибкам в определении положения. В то же время использование специальных мер позволяет использовать время-импульсный метод даже в системах, проблемных с точки зрения помехоустойчивости, например при наличии длинного кабеля между двигателем и преобразователем. Предложенные в главе методы генерации импульсов используются совместно с программой коммутации фаз, принцип действия которой показан на рис.6. При этом возможна работа электропривода в режиме противовключения.

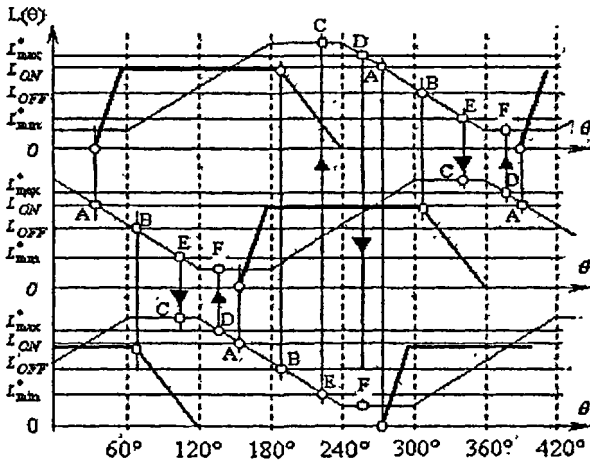


Рис 6. Алгоритм коммутации фаз и смены тестовых фаз при время-импульсном способе контроля положения ротора

С точки зрения измерения скорости время-импульсный метод уступает методу с использованием потокосцепления рабочей фазы. При этом на качество измерения скорости значительное влияние оказывает глобальное насыщение магнитной цепи ВИД. Тем не менее указанное влияние может быть существенно снижено за счет использования близких по величине

выборку фазной индуктивности при потактовом измерении последней. Анализ, проведенный в главе, показывает, что требования к аппаратной части ВИП при потребности в измерении скорости намного выше, чем необходимо для бездатчиковой коммутации фаз как таковой. Исходя из этого сделан вывод об экономической целесообразности создания так называемых "квазибездатчиковых" электроприводов (от лат. quasi - "как бы", "вроде"), в которых используется бездатчиковая коммутация фаз, но скорость контролируется при помощи упрощенного импульсного датчика скорости. В диссертации предложен один из вариантов такого датчика, представляющего собой диск с токопроводящими рисками (выполненный при помощи травления), с неподвижным чувствительным элементом в виде кольцевого сердечника с зазором и обмоткой, входящей в состав колебательного LC-контура. Принцип работы устройства основан на модуляции добротности контура за счет потерь в материале риски. Получаемый на контуре сигнал обрабатывается специальной схемой, структура которой показана на рис.7. Проектирование "квазибездатчиковых" ВИП наиболее целесообразно в случае использования относительно маломощных двигателей, поскольку в этом случае стоимость системы управления составляет существенную часть стоимости всего изделия в целом.

При использовании кусочно-регенеративного метода контроля положения ротора ВИД необходимы процедуры начального запуска и прогнозирования моментов коммутации. Кроме того, возникает

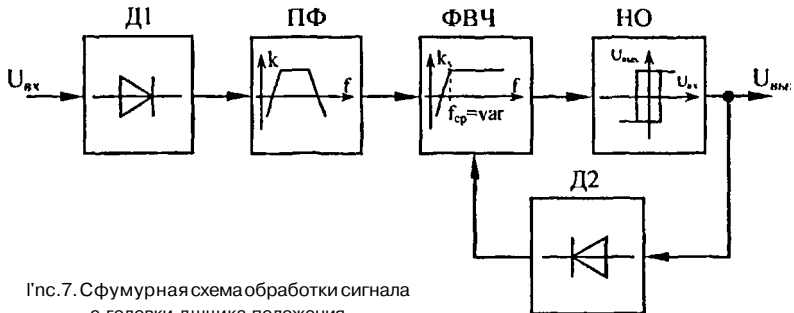


Рис.7. Сфумурная схема обработки сигнала с головки дшчика положения

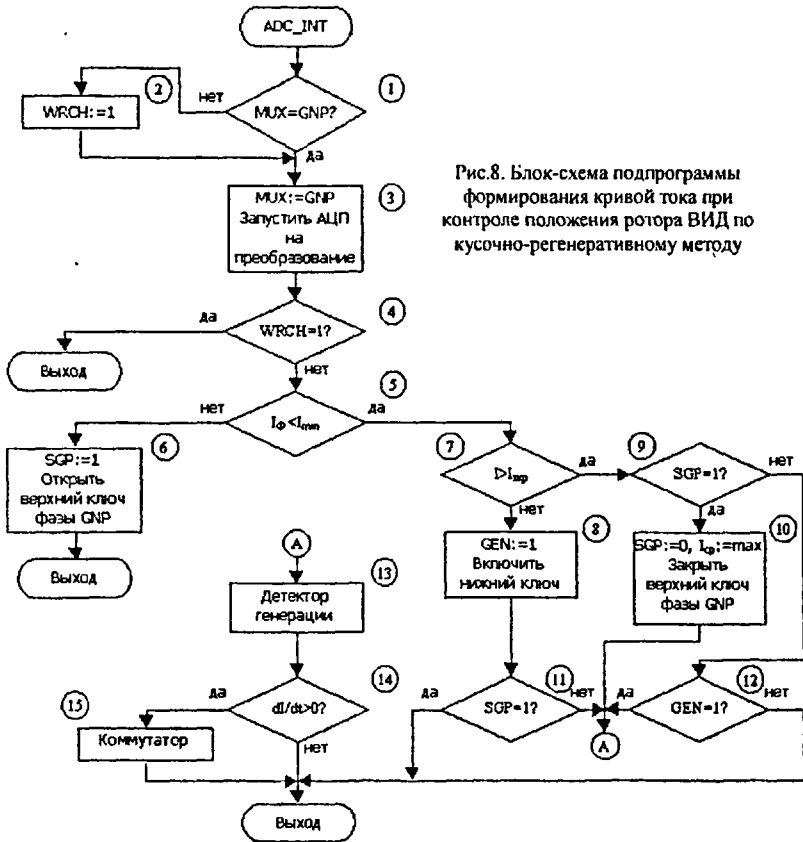


Рис.8. Блок-схема подпрограммы формирования кривой тока при контроле положения ротора ВИД на кусочно-регенеративному методу

необходимость в специальной подпрограмме формирования фазного тока (в соответствии с рис.4). Предложенный в работе алгоритм последней (с вызовом по прерыванию от АЦП) показан на рис.8. В главе также демонстрируется возможность реализации режима рекуперативного торможения двигателя с использованием метода регенеративного тока. Для повышения надежности определения момента смены знака производной тока в фазе, используемой для контроля положения, применяется статистический анализ поступающей с АЦП информации.

В четвертой главе производится анализ требований, предъявляемых к электроприводу ключа для завинчивания труб на нефтяных скважинах. При



этом показано, что основным требованием к электроприводу является обеспечение минимальных потерь в электродвигателе в режимах пуска и торможения. В качестве ВИД выбрана трехфазная машина классической конструкции с конфигурацией 12/8 мощностью 3 кВт при 1000 об/мин. Токомоментная характеристика двигателя представлена на рис.9. На основании приводимого анализа показано, что для реализации бездатчикового управления таким электроприводом достаточно 8-битного контроллера RISC-архитектуры, например серии "Atmel-AVR".

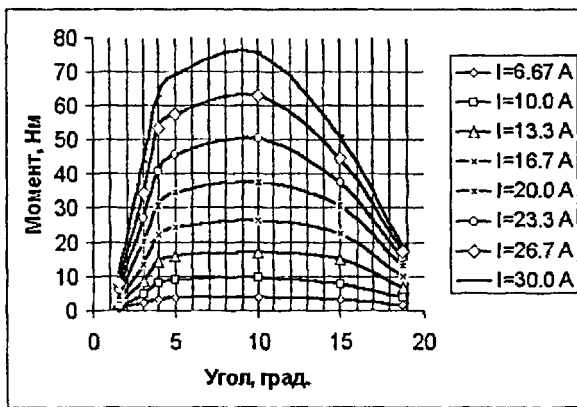


Рис 9 Зависимость момента двигателя от ключа тока фазы и положения ротора

Опытный образец электропривода разработан в ОАО "ВНИИР" (г.Чебоксары) с участием автора. Устройство состоит из неуправляемого выпрямителя с накопительной емкостью, цепи сброса энергии (в режиме рекуперативного торможения) и преобразователя на ЮВТ-модулях. Изделие прошло успешные испытания на объектах ОАО "Татнефть" в весенне-летний период 2003 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные при выполнении настоящей работы теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать целостную методику моделирования динамических процессов в индукторных двигателях, а также выработать практические рекомендации по созданию

бездатчиковых электроприводов на базе таковых. Основные теоретические и практические результаты, полученные в работе, заключаются в следующем:

1. Разработана методика построения динамической модели типовых ВИД по их геометрическим и обмоточным параметрам. Сравнение расчетных и экспериментальных данных свидетельствует о пригодности предложенной методики для проведения расчетов во время проектирования систем с ВИД.

2. Разработаны теоретические основы проектирования бездатчиковых электроприводов с использованием время-импульсного метода контроля положения ротора, а также измерения скорости в таких электроприводах.

3. Предложен новый метод бездатчикового определения положения, являющийся разновидностью метода регенеративного тока. Использование метода приводит к существенному улучшению использования машины, повышению энергетических показателей электропривода. Произведен математический анализ процессов в электроприводе при использовании предложенного метода, исследована область его применимости.

4. Разработаны и экспериментально апробированы алгоритмы программного обеспечения бездатчиковых электроприводов; выработаны практические рекомендации по разработке схемотехники и программного обеспечения для таких электроприводов.

5. Разработан импульсный датчик скорости для совместного применения с электроприводами, использующими бездатчиковую коммутацию фаз. Использование такого датчика позволяет существенно снизить стоимость маломощных ВИП.

6. С участием автора разработан и успешно испытан на объекте заказчика бездатчиковый электропривод для свинчивания и развинчивания труб на нефтяных скважинах.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих печатных работах**

1. Донской Н.В., Глухенький Т.Г. Повышение помехозащищенности бездатчиковых систем управления высокоскоростными вентильно-индукторными двигателями // Тр. акад. электротехн. наук Чувашской Республики. - 2002. - № 1. - С.27-31.

2. Глухенький Т.Г. К расчету минимальной индуктивности фазы в индукторных электродвигателях // Электротехника. - 2003. - № 10. - С.15-20.

3. Лракелян А.К., Донской Н.В., Глухенький Т.Г. Методика моделирования магнитной цепи двигателя с переключаемым магнитным сопротивлением // Сб. тез. докл. поволжской науч.-практ. конференции «Электротехника и энергетика Поволжья на рубеже тысячелетий». - Чебоксары. - 2002. - С.48-49

4. Донской Н.В., Глухенький Т.Г., Альтшуллер М.И., Куклин И.И. Применение вентильного индукторного двигателя в электроприводах с тяговой характеристикой // Материалы науч.-технич. конф., посвященной 40-летию ВНИИР. - Чебоксары. - 2001. - С.215-218.

5. Лракелян А.К., Глухенький Т.Г. Определение положения ротора в высокоскоростных бездатчиковых вентильно-индукторных электроприводах. // Электричество. - 2003. - №4. - С.27-30.

6. Глухенький Т.Г., Донской Н.В. Расчет минимальной индуктивности фазы индукторного двигателя. // Сб. тр. «Автоматизированный электропривод». - Чебоксары. - 2003. - С.50-57.

7. Глухенький Т.Г. Кусочно-регенеративный метод контроля положения ротора в бездатчиковых вентильно-индукторных электроприводах // Сб. тез. докл. IV Всероссийской конференции "Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике". - Чебоксары. - 2002. - С.35-37.

Подписано в печать 12.01.2004. Формат 60x84/16.  
Печать оперативная. Бумага писчая. Усл.-печ. л. 1,0.  
Тираж 100 экз. Заказ № 2.

Отпечатано в типографии Чувашского государственного университета  
428015, г. Чебоксары, Московский просп., 15.

**№ - 2455**

РНБ Русский фонд

2004-4

27933