

На правах рукописи
УДК 621.814.26:621.382

Солодарь Андрей Александрович

РГБ ОД

24 МАЙ 2000

Управление моментом асинхронного двигателя

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

Автореферат
диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном
техническом университете

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Бор-Раменский А.Е.

кандидат технических наук, доцент Ковалев Е.Н.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет

Защита состоится 30 марта 2000 г. в 15 часов на заседании
диссертационного совета К 063.38.25 в Санкт-Петербургском
государственном техническом университете в а.150 главного здания.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Санкт-Петербургского государственного технического университета

Автореферат разослан 29 февраля 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



проф. Кривцов А.Н.

3261.632.2 - 05,0

Актуальность. Объем мирового рынка регулируемых электроприводов (ЭП) в 90-х гг. оценивался в 9 млрд. долл., что составило более 10% всего рынка ЭП. При этом, на долю общепромышленного ЭП приходилось более 30% рынка. Доля регулируемого ЭП в общем рынке ЭП в 2010 г. может достигнуть 60%.

Особая роль отводится ЭП при создании гибких производственных системах. Около 90% оборудования таких систем требует применения в своем составе маломощных следящих ЭП с требованием к ресурсу на уровне 30000 ч., что возможно только при использовании бесконтактных двигателей переменного тока. Поэтому, доля регулируемых ЭП переменного тока может составить в 2010 г. от 66% до 97% полного рынка регулируемых ЭП.

Основную массу среднего парка двигателей составляют асинхронные (АД). К 2010 г. их доля снизится за счет широкого применения вентильных и вентильных реактивных двигателей. Несмотря на это, в ближайшее время регулируемый ЭП будет развиваться, в основном, на базе трехфазных короткозамкнутых АД. Основное внимание сегодня уделяется повышению надежности и экономичности АД и созданию на его основе специализированных электромеханизмов и мехатронных модулей. Таким образом, представляет значительный интерес разработка новых и улучшение существующих алгоритмов управления АД.

Высокие требования к быстродействию, качеству регулирования и энергетическим показателям ЭП с АД могут быть удовлетворены только при использовании систем векторного управления (ВУ), которые отличаются большой сложностью, чувствительны к параметрическим возмущениям и требуют задания параметров АД, идентификация которых затруднена. Алгоритм работы систем ВУ в значительной мере зависит от измеряемых фазовых координат АД.

Основным сдерживающим фактором применения ЭП с ВУ в промышленности является отсутствие отечественной серийной продукции и высокая стоимость зарубежных образцов. Стремление отечественных разработчиков к максимально возможному снижению стоимости ЭП существенно сужает круг допустимых схемотехнических решений, что значительно затрудняет проектирование. Поэтому, особый интерес представляют исследования, направленные на построение систем ВУ при минимальных аппаратно-программных затратах.

Целью работы является разработка алгоритмов ВУ и решение вопросов их метрологического обеспечения и практической реализации.

Для достижения поставленной цели в работе ставятся и решаются следующие задачи:

1. анализ функций электромеханического преобразователя в ЭП;
2. разработка алгоритмов ВУ;
3. анализ влияния возмущений на работу системы управления и оценка требуемой точности датчиков фазовых координат;
4. разработка методик расчета сигналов задания системы управления и параметров АД на основе его паспортных данных;
5. разработка алгоритмов компенсации дрейфа параметров АД;
6. экспериментальное исследование алгоритмов ВУ путем компьютерного моделирования.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использованы методы теории автоматического управления, методы анализа электромагнитных и электромеханических процессов в электрических машинах, алгебра комплексных чисел. Работоспособность полученных алгоритмов проверялась путем компьютерного моделирования.

Научная новизна:

1. на основании проведенных исследований сделан вывод о том, что для разработки алгоритмов ВУ целесообразно рассматривать математическую модель АД в полярной системе координат, а для аналитических исследований процессов в АД - в декартовой;
2. предложена концепция построения систем ВУ при измерении полного и редуцированного вектора состояния АД;
3. разработана методика анализа влияния параметрических и сигнальных возмущений на работу системы ВУ;
4. разработаны способы компенсации дрейфа параметров АД;
5. предложена инженерная методика расчета основных и производных параметров АД по его паспортным данным;
6. даны рекомендации по выбору параметров релейного регулятора тока статора АД в зависимости от величины дополнительных потерь.

Практическая значимость состоит в том, что все результаты работы (алгоритмы, методики, модели) представлены в виде, пригодном для непосредственного использования разработчиками при

анализе существующих и проектировании новых систем управления ЭП с АД.

Положения, выносимые на защиту:

1. концепция построения систем ВУ при измерении полного и редуцированного вектора состояния АД;
2. методика анализа влияния параметрических и сигнальных возмущений на работу системы ВУ;
3. методика расчета сигналов задания системы управления, основных и производных параметров АД по его паспортным данным;
4. способы компенсации дрейфа параметров АД;
5. результаты моделирования систем ВУ.

Апробация работы. Основные положения и научные результаты работы докладывались и обсуждались на научно-технической конференции "Экстремальная робототехника" в 1998 г., XXVII и XXVIII неделях науки СПбГТУ в 1998 и 1999 гг.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации 124 страницы основного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, представлена научная новизна полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены структуры систем управления регулируемых ЭП и выявлены требования к электромеханическому преобразователю; приведена математическая модель АД и сделан обзор существующих способов управления АД; разработаны алгоритм ВУ в полярной системе координат и его модификации при измерении редуцированного вектора состояния АД.

Анализ различных структурных схем систем управления ЭП позволил заключить, что электромеханический преобразователь (двигатель и силовой преобразователь) выполняют функции источника момента. Передаточная функция источника момента "сигнал задания-момент" должна представлять собой стационарное безынерционное звено. При таком подходе синтез остальной части системы управления может вестись типовыми методами без учета специфики электродвигателя и силового преобразователя. Таким

тока. Алгоритмы ВУ, использующие представление математической модели АД в декартовой системе координат, реализуют расчет управляющих воздействий в системе координат, вращающейся синхронно с полем АД. Тем самым обеспечивается разделение каналов управления моментом и потоком (рис.2). Система управления (СУ) формирует управляющие сигналы, а их преобразование из подвижной в неподвижную систему координат и обратно осуществляют блоки координатных преобразований (КП2 и КП1). Подавление перекрестных связей каналов управления моментом и потоком происходит в блоке развязки (БР).

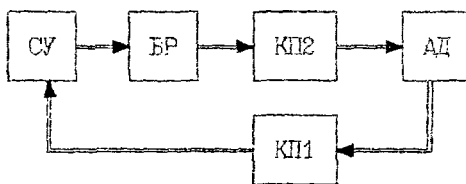


Рис.2. Функциональная схема ВУ в декартовой системе координат.

Существуют три типа систем ВУ в зависимости от выбранного для ориентации вектора потока:

1. системы с ориентацией на вектор потока статора,
2. системы с ориентацией на вектор потока в воздушном зазоре,
3. системы с ориентацией на вектор потока ротора.

Системы ВУ с ориентацией на вектор потока ротора проще алгоритмически, а при стабилизации потока ротора обеспечивается более высокая кратность момента АД. Указанные преимущества привели к тому, что среди систем ВУ наибольшее распространение получили именно они.

Каждое координатное преобразование является оператором поворота вектора на плоскости и содержит четыре операции умножения, а в блоке развязки каналов их как минимум два. Если учесть, что для микропроцессоров умножение является самой времяемкой операцией, то становится очевидно, что радикальным средством алгоритмического упрощения ВУ является устранение координатных преобразований и уменьшение (или полное устранение) взаимовлияния каналов регулирования.

Для упрощения алгоритма ВУ используется представление математической модели АД в полярной системе координат, в этом

случае справедливо:

$$(1+T_2 \cdot p) \cdot |\Psi_2| = L_m \cdot i_p,$$

$$M = 1.5 \cdot p_n \cdot L_m / L_2 \cdot |\Psi_2| \cdot i_a,$$

где $i_p = |i_1| \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$; $i_a = |i_1| \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2)$; $T_2 = L_2 / R_2$; φ_1 и φ_2 - фазы векторов тока статора i_1 и потока ротора Ψ_2 относительно полярной оси П. Таким образом, i_p и i_a - реактивная и активная составляющие тока АД.

Если полярная ось П совпадает с действительной осью декартовой системы координат статора, то:

$$\left. \begin{aligned} i_{1\alpha} &= i_p \cdot \cos(\varphi_2) - i_a \cdot \sin(\varphi_2), \\ i_{1\beta} &= i_p \cdot \sin(\varphi_2) + i_a \cdot \cos(\varphi_2). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для работы системы ВУ необходимо определить фазу вектора Ψ_2 (рис. 3).

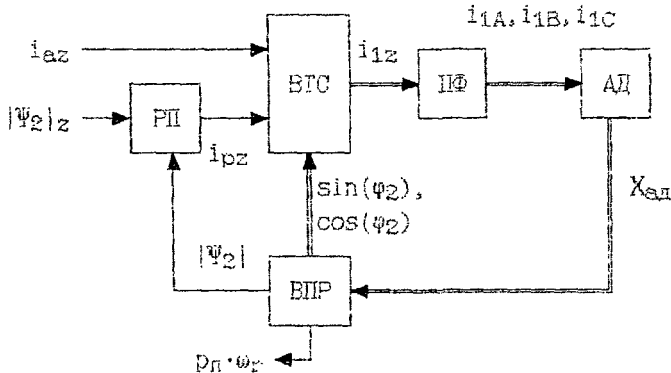


Рис. 3. Функциональная схема системы ВУ моментом АД в полярной системе координат.

Регулятор потока (РП) формирует сигнал задания тока i_{pz} . Блок вычисления тока статора (ВТС) работает в соответствии с системой (1). В блоке преобразования фаз (ИФ) осуществляется преобразование двухфазного сигнала задания тока $i_{1z} = i_{1\alpha} + j \cdot i_{1\beta}$ в трехфазный. В блоке вычисления потока ротора (ВВП) происходит расчет сигналов $|\Psi_2|$, $\sin(\varphi_2)$ и $\cos(\varphi_2)$, $p_n \cdot \omega_r$. В зависимости от измеряемых координат состояния АД $X_{ад}$ можно построить три основных алгоритма работы блока ВВП.

1. В случае измерения потока в воздушном зазоре Ψ_m поток ротора необходимо получать следующим вычислением:

$$\Psi_2 = L_2 / L_m \cdot \Psi_m - (L_2 - L_m) \cdot i_1.$$

Для расчета $|\Psi_2|$, $\sin(\varphi_2)$, $\cos(\varphi_2)$ и ω_r используется векторная следящая система (рис.4). Регулятор фазы (РФ), выполненный в виде ПИ²-регулятора (рис.5), ориентирует вектор $Ort = \cos(\phi) + j \cdot \sin(\phi)$ в соответствии с сигналом задания "0"z так, чтобы его направление совпадало с вектором Ψ_2 . В этом случае

$$\arg(\Psi_2) = \arg(Ort) \text{ и } (\Psi_2 \cdot Ort) = |\Psi_2|,$$

где (\cdot) - символ скалярного произведения векторов. Частота вращения ω_1 вектора Ort в РФ вычисляется суммированием скорости ротора $p_n \cdot \omega_r$ и абсолютного скольжения $\beta = (L_m \cdot i_{az}) / (T_2 \cdot |\Psi_2|)$.

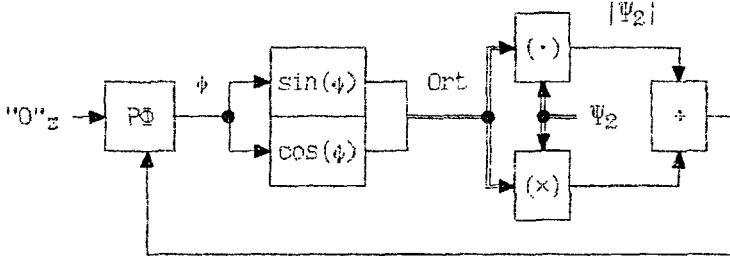


Рис.4. Функциональная схема векторной следящей системы.

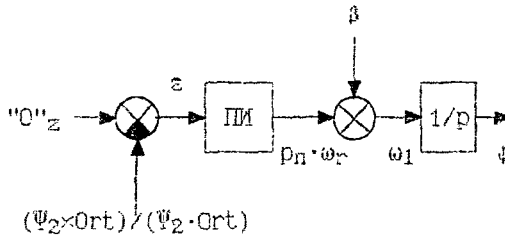


Рис.5. Функциональная схема регулятора фазы.

2. При наличии у АД датчика положения ротора фаза вектора потока вычисляется согласно выражению:

$$\varphi_2 = \frac{1}{T_2 \cdot p} \cdot \left[\frac{i_{az}}{i_{pz}} \right] + p_n \cdot \varphi_r,$$

где φ_r - угол поворота ротора АД. Показано, что вычислить модуль потока при измерении только положения ротора АД в данном случае не представляется возможным и допустимо применение разомкнутого канала регулирования потока.

3. При наличии датчиков напряжения статора АД для расчета вектора $i_B = \Psi_2 / L_m$ используется выражение:

$$i_E(s) = \frac{U_1(s)/R_1}{1+T_e \cdot s} - i_1(s) \cdot \frac{1+T_d \cdot s}{1+T_e \cdot s} + \frac{(i_{p2} \cdot \text{Exp}(j \cdot \varphi_2))(s)}{1+T_e \cdot s}, \quad (5)$$

где $T_e = T_1 - T_d$, $T_1 = L_1/R_1$, $T_d = (L_1 - L_m^2/L_2)/R_1$, s - оператор Лапласа. Для расчета $|i_E|$, $\sin(\varphi_2)$, $\cos(\varphi_2)$ и ω_T используется векторная следящая система (рис. 4).

На основании выполненных исследований сделаны выводы:

1. Описание процессов в АД в полярной системе координат и использование разомкнутого канала управления моментом позволяют значительно упростить алгоритм ВУ.

2. Применение источника тока для питания АД дает возможность полностью устранить взаимовлияние каналов управления и избавиться от пульсаций потока и момента в переходных процессах.

3. Полное разделение каналов регулирования позволяет легко и качественно реализовывать различные законы управления АД: управление скоростью ослаблением поля, управление по минимуму потерь, управление со стабилизацией поля. С этой целью достаточно сигнал задания потока изменять в функции режима работы АД.

4. Полученный вариант ВУ в значительной степени инвариантен к параметрам АД и имеющимся в АД датчикам фазовых координат, так как модификации затрагивают только один блок ВПР (рис. 3).

Во второй главе получены линеаризованные структурные схемы управления потоком и моментом АД при наличии возмущений; проведен анализ влияния возмущений на работу ЭП; получены аналитические оценки возникающих ошибок регулирования.

Все возмущающие факторы в системе ВУ разделены на две группы:

1. параметрические - дрейф параметров Т-образной схемы замещения АД;

2. сигнальные - цифровой характер работы системы управления ЭП; ошибки измерения координат состояния.

Ввиду существенной нелинейности системы ВУ применение теории чувствительности встречает значительные трудности. Для их преодоления разработаны линеаризованные структурные схемы управления моментом и потоком АД (рис. 6, 7). Показано, что возмущения любого вида эквивалентны появлению фазовых ν_ϕ и амплитудных δ_ϕ ошибок при определении вектора потока Ψ_C .

На основании полученных структурных схем проведен анализ влияния возмущений на работу системы ВУ. Показано, что фазовая

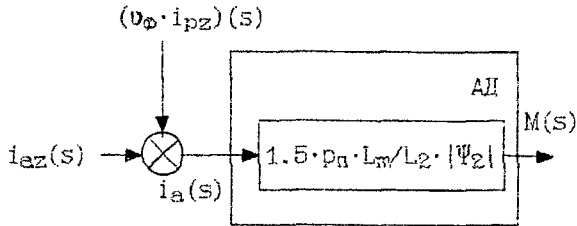


Рис.6. Структурная схема управления моментом АД при наличии возмущений.

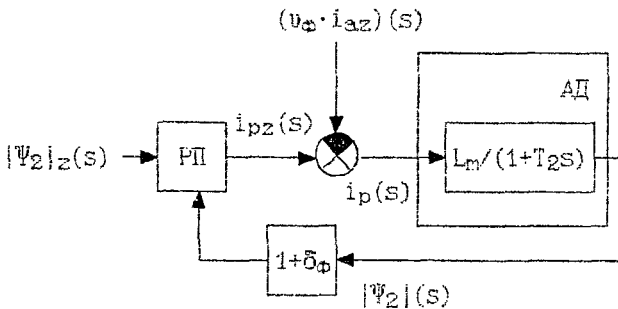


Рис.7. Структурная схема управления потоком АД при наличии возмущений.

ошибка v_{ϕ} приводит к возникновению взаимовлияния каналов регулирования потока и момента и является важным фактором, определяющим качество регулирования и устойчивость работы ЭИ. Амплитудная ошибка δ_{ϕ} влияет только на статическую точность стабилизации потока и вызывает динамическую расстройку контура потока. Ошибка регулирования момента в силу своей малости может быть исключена из рассмотрения.

Принимается, что регулятор потока имеет передаточную функцию:

$$W_{\text{рп}}(s) = \frac{1 + T_{\Sigma} \cdot s}{L_m \cdot T_{\Sigma} \cdot s}$$

Получены оценки максимальных относительных ошибок регулирования потока $\delta|\Psi_2|$, возникающих при 3-х видах возмущений.

1. Дрейф параметров Т-образной схемы замещения АД.

Система ВУ с измерением потока в воздушном зазоре АД:

$$\delta|\Psi_2| = \left[\frac{i_{az}}{|\Psi_2|_z} \right]^2 \cdot L_m \cdot (L_2 - L_m) \cdot \delta_L \cdot \left[\frac{T_H}{T_2} \right] T_2 / (T_2 - T_H)$$

где δ_L - относительная вариация индуктивности рассеяния ротора $L_2 - L_m$;

Система ВУ с измерением положения ротора АД:

$$\delta|\Psi_2| \approx 2 \cdot \delta_T, \quad \delta|\Psi_2| \approx \delta_T$$

в переходном и установившемся режиме, где δ_T - относительная вариация T_2 ;

Система ВУ с измерением напряжения статора АД:

$$\delta|\Psi_2| \approx \delta_R \cdot \frac{1 + T_e \cdot \omega_1 \cdot i_{az} / i_{p2}}{1 + T_e^2 \cdot \omega_1^2}, \quad \delta|\Psi_2| \approx \delta_e \cdot \frac{T_e^2 \cdot \omega_1^2}{1 + T_e^2 \cdot \omega_1^2},$$

$$\delta|\Psi_2| \approx \delta_d \cdot \frac{T_d \cdot \omega_1 \cdot (T_e \cdot \omega_1 - i_{az} / i_{p2})}{1 + T_e^2 \cdot \omega_1^2}$$

в установившемся режиме, где δ_R , δ_e и δ_d - относительные вариации R_1 , T_e и T_d соответственно;

2. Квантование по времени.

Система ВУ с измерением потока в воздушном зазоре АД:

$$\delta|\Psi_2| \approx \frac{L_m \cdot i_{az}}{|\Psi_2|_z} \cdot \omega_1 \cdot \tau \cdot \left[\frac{T_H}{T_2} \right] T_2 / (T_2 - T_H)$$

где τ - интервал квантования системы управления;

Система ВУ с измерением положения ротора АД:

$$\delta|\Psi_2| \approx p_n \cdot \omega_r \cdot \tau;$$

Система ВУ с измерением напряжения статора АД:

Относительная ошибка регулирования потока при квантовании по времени совпадает с ошибкой регулирования в системе с измерением потока в воздушном зазоре;

3. Ошибки измерения координат состояния АД.

Система ВУ с измерением потока в воздушном зазоре АД:

$$\delta|\Psi_2| = - \frac{\delta_{ам}}{1 + \delta_{ам}} - \frac{L_m \cdot i_{az}}{|\Psi_2|_z} \cdot \delta_{ам} \cdot \left[\frac{T_H}{T_2} \right] T_2 / (T_2 - T_H)$$

где $\delta_{ам}$ - относительная погрешность измерения датчика потока;

Система ВУ с измерением положения ротора АД:

Относительная ошибка регулирования потока совпадает со случаем квантования по времени, а допустимая абсолютная погрешность

измерения датчика положения ротора $\Delta\varphi$ равна:

$$\Delta\varphi < \tau \cdot R_p \cdot \omega_{\text{rmax}}$$

Система ВУ с измерением напряжения статора АД:

$$\delta|\Psi_2| = -\delta U / (1 + \delta U)$$

в установившемся режиме, где δU - относительная погрешность измерения датчика напряжения.

Полученные оценки возникающих ошибок регулирования потока могут быть использованы для выбора точности датчиков фазовых координат АД, величины интервала квантования системы управления и точности задания параметров АД.

Третья глава посвящена разработке методик расчета сигналов задания системы управления и параметров АД на основании его паспортных данных; разработаны два алгоритма компенсации дрейфа параметров АД; приведен способ расчета регулятора тока статора АД и оценка диапазона регулирования скорости ЭП при отсутствии датчика скорости.

В результате анализа Т-образной схемы замещения АД в номинальном режиме работы и справочных данных АД серии 4А получены следующие приближенные формулы:

Сигналы задания:

$$i_a \approx |i_1| \cdot \sin(\alpha + 1/6),$$

$$i_p \approx i_a \cdot \left[\frac{\text{Im}(Z_{\text{ад}})}{\text{Re}(Z_{\text{ад}}) - R_1} - 0.2 \right], \quad |\Psi_2| \approx 0.9 \cdot |E_1| / \omega_1;$$

Параметры АД:

$$L_2 - L_m \approx 0.5 \cdot \frac{|\Psi_2|}{|i_1|} \cdot \frac{\sin(1/6)}{\sin(\alpha)}, \quad T_d \approx 2 \cdot (L_2 - L_m) / R_1, \quad T_2 = \frac{i_a}{i_p \cdot s_p \cdot \omega_1},$$

$$T_e = \frac{1}{\omega_1 \cdot i_p} \cdot \sqrt{\left[(U_1 / R_1)^2 + i_1^2 \cdot (1 + T_d^2 \cdot \omega_1^2) - 2 \cdot |U_1 / R_1| \cdot |i_1| \cdot Y \right]}$$

где $|E_1| = \sqrt{U_1^2 + (i_1 \cdot R_1)^2 - 2 \cdot |U_1| \cdot |i_1| \cdot R_1 \cdot \cos(\varphi)}$; $Z_{\text{ад}} = U_1 / i_1$;

$$\alpha = \arccos \left[\frac{|U_1|}{|E_1|} \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)} \right]; \quad Y = \cos(\varphi) + T_d \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)^2};$$

$\cos(\varphi)$ - "косинус φ " АД; s_p - скольжение АД.

Точность вычисления сигналов задания и параметров АД зависит от точности исходных паспортных данных. Особенно это касается "косинуса фи" и скольжения.

Широкий диапазон изменения температуры ротора приводит к появлению значительных вариаций постоянной времени ротора АД, что в системе ВУ с измерением положения ротора вызывает ошибки регулирования потока. Коррекцию T_2 можно производить двумя путями.

1. Использование информации о напряжении статора.

Алгоритм компенсации заключается в том, что величину модуля абсолютного скольжения $|\beta|$ необходимо увеличивать, если $|i_B| - i_{p2} > 0$ и уменьшать в противном случае (рис.6).

В блоке ВВ согласно (5) вычисляется ток i_B . Сигнал ошибки (ε) поступает на вход интегрального регулятора. На его выходе образуется сигнал, который после умножения на β образует скорректированный сигнал скольжения (β_K). При $|\omega_1| < 1/T_0$ блок управления ключом (К) прерывает процесс коррекции.

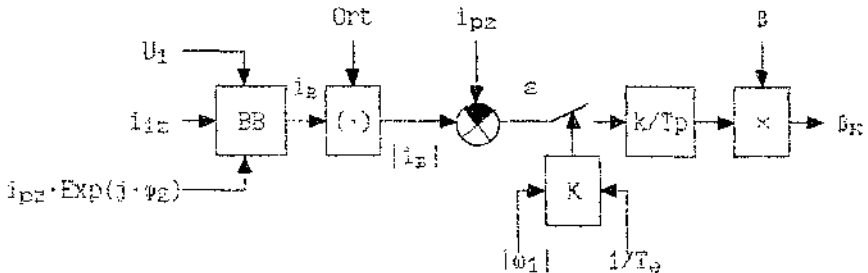


Рис.6. Функциональная схема процесса компенсации вариаций T_2 .

2. Применение тепловой модели.

Короткозамкнутый массивный ротор АД малой мощности можно рассматривать как однородное тело. Из-за относительно своих малых размеров и массы температура разных его частей отличается незначительно. Поэтому, тепловая модель ротора строится в рамках одноступенчатой теории нагрева (рис.7). В блоке Рв рассчитывается коэффициент ухудшения теплоотдачи (β_T), который используется для коррекции теплоотдачи ротора (A) и постоянной времени нагрева (T_H). В блоке РП вычисляются потери в роторе (P_p). Сигнал температуры ротора (t_p) поступает в блок РГ, где корректируется T_2 . Температура окружающего воздуха учитывается сигналом t_B .

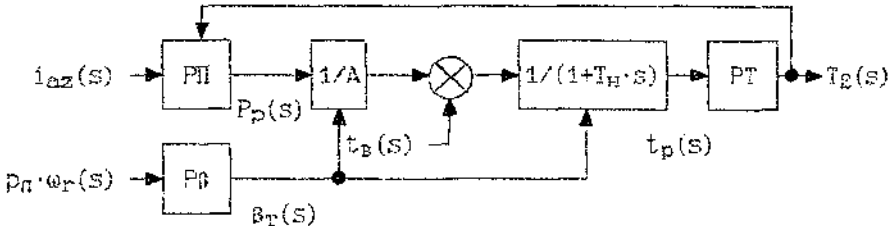


Рис.7. Структурная схема тепловой модели.

Маломощные ЭП в качестве силовых преобразователей используют транзисторные инверторы напряжения. Полностью решить проблему регулирования токов позволяет релейное регулирование. Показано, что целесообразно гистерезис реле ξ выбирать исходя из величины допустимых дополнительных потерь в староре АД ζ :

$$\xi \approx 1.2 \cdot |I_1|_{\text{ном}} \cdot V_{\zeta}$$

где $\zeta = P_{\text{ДТ}}/P_{\text{огном}}$; $P_{\text{ог}}$, $P_{\text{ДТ}}$ - потери, вызванные основной и высокочастотными гармониками тока в номинальном режиме.

Показано, что для систем ВУ без датчика скорости достижимый диапазон регулирования составляет:

$$D = \frac{\omega_{\text{гмакс}} \cdot V_W}{\Delta_{\text{вн}} + |\beta \cdot (\delta|\Psi_{\Sigma}| - \delta_T)|}$$

где V_W - заданная относительная погрешность стабилизации скорости; $\Delta_{\text{вн}}$ - статическое падение скорости, обусловленное воздействием момента нагрузки АД;

Четвертая глава диссертации посвящена компьютерному моделированию системы ВУ и сопоставление теоретических результатов с полученными в процессе моделирования.

В пакете численного моделирования DS-8E разработаны математические модели ЭП с ВУ в полярной системе координат при измерении тока в воздушном зазоре, подсекии ротора и напряжения статора в виде их функциональных схем.

Результаты теоретических исследований совпадают с результатами компьютерного моделирования, что подтверждает их достоверность.

Закключение

1. При построении систем управления ЭП целесообразно электродвигатель рассматривать как источник момента.

2. Разработанные алгоритмы ВУ в значительной степени инвариантны к параметрам АД и имеющимся в АД датчикам фазовых координат и позволяют проводить практически безынерционное регулирование момента АД.

3. Проведен анализ влияния возмущений на работу системы управления и получены аналитические оценки для возникающих ошибок регулирования.

4. Разработаны методики расчета сигналов задания системы управления и параметров АД на основе анализа паспортных данных АД.

5. Разработаны два алгоритма компенсации дрейфа постоянной времени ротора АД.

6. Разработаны математические модели ЭП с ВУ при измерении редуцированного вектора состояния АД. Результаты теоретических исследований подтверждены компьютерным моделированием.

7. Наилучшее качество стабилизации потока АД обеспечивает система ВУ с измерением потока. Однако, глубокое регулирование скорости невозможно без датчика положения (скорости) и система управления оказывается информационно избыточной. В случае создания мехатронных модулей на основе АД измерение потока может оказаться более предпочтительным, чем измерение скорости. Таким образом, системы ВУ с измерением потока могут быть основой при построении интегрированных модулей движения с высокими удельными показателями.

8. В настоящее время большинство ЭП строится на основе серийных АД не имеющих встроенных датчиков и наиболее целесообразным является применение систем ВУ с измерением положения ротора. При этом, совершенно необходимым является компенсация дрейфа параметров. Измерение положения ротора АД, а не конечного звена механизма, предполагает отсутствие значимых упругих деформаций в кинематической цепи. Такие ЭП, в основном, применяются или в безредукторных или относительно быстроходных узлах. Поэтому, системы ВУ с измерением положения ротора наиболее приспособлены для создания станочных ЭП.

9. Системы ВУ с измерением напряжения статора наиболее просты

и дешевы при практической реализации, но обладают высокой параметрической чувствительностью и не способны работать в области низких частот. Поэтому, их рекомендуется применять только в ЭП, являющихся источником скорости с малым диапазоном регулирования и продолжительным режимом работы.

Публикации по теме диссертации:

1. Семенов И.М., Солодарь А.А. Алгоритм векторного управления без датчика скорости: Тез. докл. XXVII недели науки СПбГТУ. ч. IV: Материалы межвузовской науч. конф.: Изд-во СПбГТУ, 1999, с. 32-33

2. Семенов И.М., Солодарь А.А. Алгоритмы управления моментом асинхронного двигателя//Вычислительные, измерительные и управляющие системы: Труды СПбГТУ № 476, Изд-во СПбГТУ, 1998, с. 28-30

3. Семенов И.М., Солодарь А.А. Способ компенсации дрейфа постоянной времени ротора асинхронного двигателя: Тез. докл. XXVIII недели науки СПбГТУ: Изд-во СПбГТУ, 1999.

4. Семенов И.М., Солодарь А.А. Управляемый источник момента для приводов роботов//Экстремальная робототехника: Материалы IX науч.-техн. конф. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998, с. 379-383