

На правах рукописи



Карпов Дмитрий Алексеевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЭЛЕКТРОПРИВОДА РУЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

Направление 27.04.04 – «Управление в технических системах»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

Комсомольск-на-Амуре

2016

Актуальность:

Энергосбережение является приоритетным направлением технической политики во всех развитых странах мира . Анализ структуры потерь в области производства, распределения и потребления энергий показывает , что основная составляющая потеря (около 90 %) находится в сфере потребления электрической энергии. В современной научной литературе можно найти немало примеров постановки и решения вопросов энергоэффективности промышленного электрооборудования, а также практической реализации. Однако, все еще недостаточно внимания к подобным системам малой и микро мощности (от десятков до сотен Ватт). КПД мощного электрооборудования может быть достаточно высок 95 - 99 % , а у маломощных двигателей, из -за небольших размеров , получить высокий процент КПД достаточно сложно . С другой стороны даже небольшое увеличение процента КПД приводов малой и микро - электрической мощности при незначительном повышении его эффективности дает свои результаты в мегаваттах экономии из - за его массового использования в небольших электрических инструментах , специального строительного оборудования, медицинской и бытовой техники . КПД двигателей малой мощности составляет от 30 до 60 % . оставляя большие возможности для его повышения, особенно в области электропривода, а, следовательно, существует значительный резерв экономии энергоресурсов .

Для действительной оценки энергоэффективности системы нужно воспользоваться энергетическим коэффициентом полезного действия , другими словами сравнить требуемую полезную энергию затраченную на выполнение определенной работы с этой энергией, которая в свою очередь была получена от источника за это же время. В некоторых случаях трудно оценить необходимую полезную энергию и приходится использовать фактическую оценку , которую может быть получена из результатов измерений и которые могут отличаться от требуемого(например, неправильно выбранная нагрузка). Тем не менее эта оценка лучше, чем обычно практикуемая оценка по коэффициенту полезного действия в точке,

рассчитанной относительно потребленной и полезной мощностей в любом режиме[4]. С учетом вышеизложенного возникает необходимость разработки новых функциональных, алгоритмических и технических решений по оптимизации энергетических и статических характеристик, обеспечивающих высокое качество регулирования с учетом трудно формализуемых требований к сложности системы, ее массогабаритным показателям и стоимости, что делает такую разработку актуальной.

Цель работы: является функциональный синтез системы электропривода на основе критерия минимума потерь, синтез законов управления электропривода с ОКД, основанных на алгоритмах оптимальных, с точки зрения энергоэффективности, управлений для достижения требуемых статических и динамических характеристик ЭП и поддержания динамического КПД на максимальном уровне.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи:**

- функциональный синтез системы электропривода на основе критерия минимума потерь;
- разработка математического описания электромагнитных процессов в ОКД с учетом найденных функциональных зависимостей;
- синтез структуры электропривода с нелинейными обратными связями, обеспечивающими компенсацию возмущений;
- разработка устройств управления ЭП с ОКД, основанных на алгоритмах оптимальных, с точки зрения энергоэффективности, управлений для достижения требуемых статических и динамических характеристик ЭП и поддержания максимального динамического КПД;
- проверка эффективности разработанных систем с помощью моделирования

Апробация работы. Основные положения работы были представлены на VI Международной студенческой электронной научной конференции журнала Академии Естествознания «Современные наукоемкие технологии «СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ 2014»-№5 2014 г. А так же были

опубликованы в международном научном издании по итогам международной научно-практической конференции «НОВАЯ НАУКА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД» г. Стерлитамак, декабрь 2015г.

Содержание диссертации

Во введении обозначена актуальность проблемы исследования темы диссертационной работы, сформулированы цель и отмечена ее практическая значимость.

В первом разделе рассмотрены вопросы рассмотрения математического описания, дающего наиболее полную картину о энергетике для модели однофазного коллекторного двигателя с последовательным возбуждением.

Однофазный коллекторный электродвигатель последовательного возбуждения, который питается от выпрямленного напряжения в двигательном режиме, описывается уравнением движения и электрического равновесия электропривода [1]:

$$U_c(t) = (R_{\text{я}} + R_{\text{в}}) \cdot i(t) + (L_{\text{я}} + L_{\text{в}}) \frac{di(t)}{dt} + L_{\text{яв}} \cdot i(t) \cdot \omega(t) \quad , \quad (1.1)$$

$$J \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = M_{\text{дв}} - M_{\text{с}} - B_m \cdot \omega(t) \quad . \quad (1.2)$$

где $B_m \cdot \omega(t)$ - переменный момент трения (имеет зависимость от скорости вращения), Н·м; B_m - коэффициент трения, Н·м·с; $R_{\text{в}}$ - активное сопротивление обмотки возбуждения, Ом; $L_{\text{я}}$ - индуктивность обмотки якоря, Гн; $L_{\text{в}}$ - индуктивность обмотки возбуждения, Гн; $L_{\text{яв}}$ - взаимная индуктивность между обмотками якоря и возбуждения, Гн; $U_c(t)$ - напряжение питания двигателя (сети), В; $i(t)$ - ток двигателя, А; $\omega(t)$ - угловая частота вращения двигателя, 1/с; $R_{\text{я}}$ - активное сопротивление обмотки якоря, Ом; J - суммарный момент инерции электродвигателя и рабочего органа, кг·м²; $M_{\text{дв}}$ - электромагнитный

момент двигателя, Н·м; M_c - момент нагрузки и постоянный момент трения двигателя, Н·м;

Если ввести обычную систему относительных единиц, приняв за базовые номинальные значения, т.е.:

$$i = \frac{I}{I_H} = \sqrt{\mu}; \mu = \frac{M}{M_H}; v = \frac{\omega}{\omega_H}; u = \frac{U}{E_H}; e = \frac{E}{E_H}; \Phi_* = \frac{\Phi}{\Phi_H}.$$

Тогда, уравнения электрического движения и равновесия электропривода имеют вид [2]:

$$\left. \begin{aligned} \lambda \frac{di(t)}{d\tau} &= u - (i \cdot \delta + e) \\ \frac{dv}{d\tau} &= \mu - \mu_{HT} \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

где τ – безразмерное (относительное) время, которое прямо пропорционально реальному времени:

$$\tau = \frac{t}{T_M} \quad (1.4)$$

где T_M – электромеханическая постоянная времени, с:

$$T_M = \frac{\Omega_H \cdot J}{M_H} \quad (1.5)$$

При этом двигатель определяется двумя параметрами δ и λ , которые имеют следующую энергетическую интерпретацию [2]:

$$\delta = \frac{I_H \cdot R}{E_H} = \frac{I_H^2 \cdot R}{E_H \cdot I_H} = \frac{\Delta P_H}{P_H} \quad (1.6)$$

$$\lambda = \frac{L \cdot I_H^2}{J \cdot \omega_H^2} = \frac{W_{\text{магн.}}}{W_{\text{кин.}}} \quad (1.7)$$

Эта математическая модель дает наиболее полную картину о энергетике однофазного коллекторного двигателя с последовательным возбуждением. Питание ОКД, обычно, осуществляется источником напряжения или от полупроводниковых преобразователей напряжения.

Во втором разделе рассмотрены вопросы проектирования математической модели электроприводов малой мощности с ОКД в программной среде .

Средой разработки и моделирования системы управления однофазным коллекторного двигателя последовательного возбуждения с нелинейной обратной связью был использован специализированный пакет инженерных и специализированных вычислений MatLab, как самый мощный на сегодняшний день инструмент для анализа и синтеза систем автоматического управления. [5,6,7]. В то же время, реализация однофазного коллекторного двигателя последовательного возбуждения осуществляется на основании использования стандартных блоков при непосредственном создании новых элементов для того , чтобы учесть кривую намагничивания двигателя последовательного возбуждения. Для того, чтобы создать новый блок использовались элементы доступные в библиотеке Simulink.

В ходе создания модели был создан новый блок , используя существующую библиотеку Simulink. Этот блок реализует функциональную зависимость электромагнитного постоянной времени от частоты вращения двигателя. При моделировании, двигатель постоянного тока [3] последовательного возбуждения была учтена кривая намагничивания , при изменении в структуре блока двигателя постоянного тока.

Нелинейная обратная связь осуществляется посредством измерения постоянной времени двигателя на каждой области выключения транзистора ШИП. Постоянная времени в этом случае прямо пропорциональна времени спада ЭДС однофазного коллекторного двигателя до нуля и определяется выражением :

$$T_{окд} = \frac{L_{яц}}{R_{яц} + L_{яв} \cdot \omega} = T_{\varepsilon} \frac{1}{1 + b \cdot \omega} \quad (2.1)$$

В соответствии с данным положением , величина постоянной времени может быть определена двумя способами: путем непосредственного расчета по формуле (2.1), или путем измерения скорости затухания тока самоиндукции до нуля , когда транзистор широтно- импульсного преобразователя выключен и двигатель отключен от питающей сети.

Разработанная модель использует второй метод. Для этой цели был использован блок обнуляемым дискретного интегратора.

На рисунке 2.5 показана структурная схема разработанной математической модели электропривода с однофазным коллекторным двигателем . Силовая цепь состоит из стандартных блоков Simulink: Неуправляемый однофазный выпрямитель; источник напряжения переменного тока два транзистора и двигателя постоянного тока с последовательно соединенной обмоткой возбуждения.

Цепь управления состоит из блока задания, блока синхронизации включения, генератора импульсов, блоков нелинейной обратной связи.

При моделировании были использованы следующие данные двигателя серии КОО-5361:

$$U_H=220 \text{ В}, P_H=300 \text{ Вт}, n_H=12000 \text{ об/мин}, M_H=0.252 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

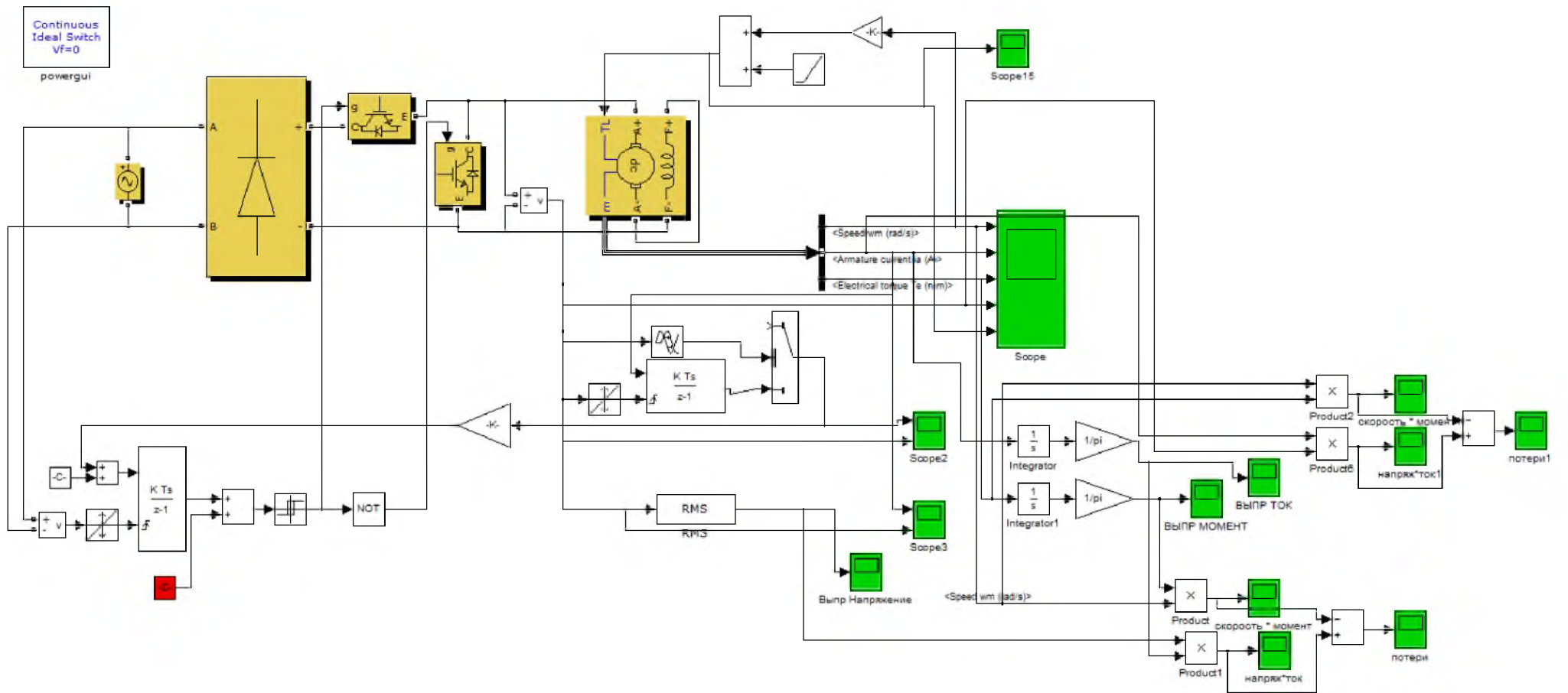


Рисунок 2.5 – Структурная схема СУ ЭП, разработанная в Simulink

Третий раздел посвящен исследованию статических характеристик электропривода с ОКД.

Для того чтобы построить статические характеристики замкнутой системы с положительной обратной связью, на вход подается линейно нарастающий момент нагрузки.

На рисунке 3.2 изображено семейство механических характеристик системы управления с нелинейной обратной связью. На рисунке ниже видны, основные характеристики. Из приведенного рисунка видно, что чем выше скорость работы ОКД, тем больше момент потери двигателя. Это связано с тем, что основным компонентом в моменте потери является - момент трения зависящий от числа оборотов двигателя. Основная характеристика имеет гиперболическую структуру, это разъясняется уравнением механической характеристикой разомкнутой системы электропривода с однофазным коллекторным двигателем. Поэтому, где это возможно, диапазон нагрузки где возможна стабилизации скорости будет больше там, где ниже скорость работы.

Из анализа статических механических характеристик следует, что модуль жесткости лежит в пределах:

$$|\beta| = 1 \cdot 10^6 \div 1 \cdot 10^9$$

Такой уровень величины модуля жесткости удовлетворяет требованиям, которые предъявляются к системам управления электропривода на основе однофазных коллекторных двигателей [8, 9].

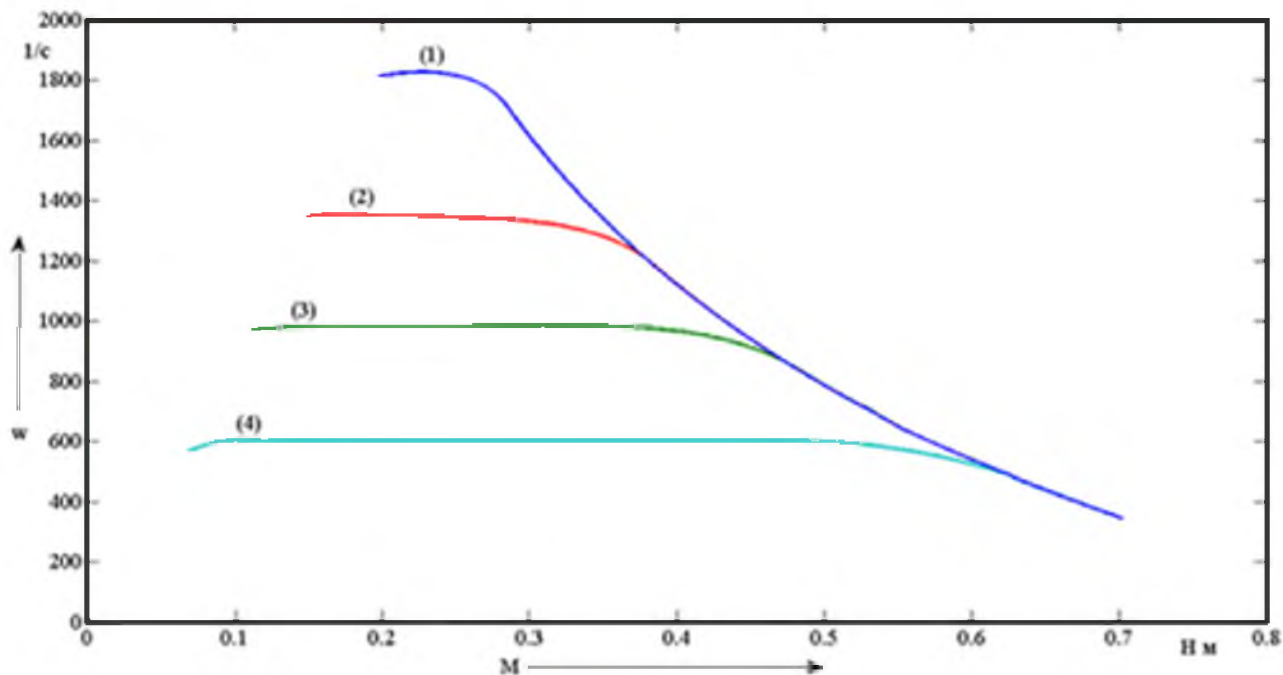


Рисунок 3.2 – Семейство статических механических характеристик разработанной системы управления ЭП с ОКД (характеристики 1, 2, 3, 4 – соответствуют замкнутой системе регулирования).

Четвертый раздел посвящен исследованию динамических характеристик электропривода с ОКД.

Исследование динамических характеристик проводилось на основе математической модели, созданной в приложении Simulink. Моделирование проводилось для трех типов нагрузок : линейно-нарастающего, ступенчатого и пилообразного. Для рассматриваемых режимов работы система показала удовлетворительные характеристики.

Пятый раздел посвящен поиску путей тщательной оценки эффективности процессов передачи электроэнергии и преобразования ее в другие виды.

Задачу оптимального управления с точки зрения энергоэффективности можно сформулировать следующим образом: изменить скорость двигателя от значения v_1 до v_2 так, что бы в любое время переходных процессов, электрическая энергия потребляемая преобразователем и двигателем , была минимальной. Основное уравнение

движения ЭП в системе относительных единиц записывается следующим образом :

$$\mu = \frac{dv}{d\tau} + \mu_c$$

Для обеспечения максимальной динамической эффективности :

$$\eta(\tau) = \frac{\int (\mu_c \cdot v) \cdot d\tau}{\int (\mu_c \cdot v + \Delta P) \cdot d\tau}$$

где ΔP - это потери в ЭП: электрические $\Delta P_{ЭЛ}$ и механические $\Delta P_{МЭХ}$. Необходимо удовлетворить следующее условие:

$$\int \left(\mu_c \cdot v + \frac{u^2}{\rho} + \Delta P_{МЭХ} \right) d\tau \rightarrow \min$$

В тех случаях, когда μ_c является функцией скорости и не зависит явно от времени и пути, минимум определенного интеграла достигается при том условии, что для каждого значения скорости на интервале времени двигателя обеспечивает минимум подинтегральной функции :

$$\frac{d}{d\mu} \left[\left(v \cdot \mu_c + \frac{u^2}{\rho} + \Delta P_{МЭХ} \right) / \mu - \mu_c \right] = 0$$

Тогда, при постоянной скорости и пренебрегая механическими потерями, решение имеет вид:

$$u = \pm \sqrt{v \cdot \rho \cdot \mu + \rho \cdot \Delta P_{МЭХ}} = \pm \sqrt{a \cdot \mu}$$

Таким образом, действующее значение питающего напряжения должно увеличиться по параболическому закону. Эта функция изменяет

текущее значение напряжения питания и будет оптимальной с энергетической точки зрения критерия энергоэффективности[10].

В Шестом разделе приведены графики зависимостей полезной и затраченной мощностей от времени при статическом и динамическом режимах с линейно нарастающей нагрузкой для различных значений скорости двигателя

Седьмой раздел посвящен построению зависимостей коэффициента полезного действия от момента нагрузки при статическом и динамическом режимах для различных значений скорости двигателя на базе зависимостей полученных в шестом разделе .

На рисунках 7.1 и 7.2 приведены результаты расчета энергетических показателей электропривода в статическом и динамическом режимах , данные для которых были сняты с модели (Рисунок 2.5) , в виде зависимости коэффициента полезного действия(η) от момента нагрузки на валу двигателя (М) . Из данного рисунка прослеживается зависимость : чем больше значение динамического момента , тем выше показатель коэффициента полезного действия , данный характер и положение зависимостей относительно друг друга на графике совпадают с результатами рабочих характеристик электропривода с регулированием в 1 зоне выведенными экспериментальным путем(Рисунок 5.1) , что доказывает теорию о том , что оптимальным законом управления с точки зрения энергоэффективности будет являться изменение подводимого к двигателю напряжения прямо пропорционально корню квадратному от электромагнитного (переменного) момента нагрузки на валу однофазного коллекторного двигателя.

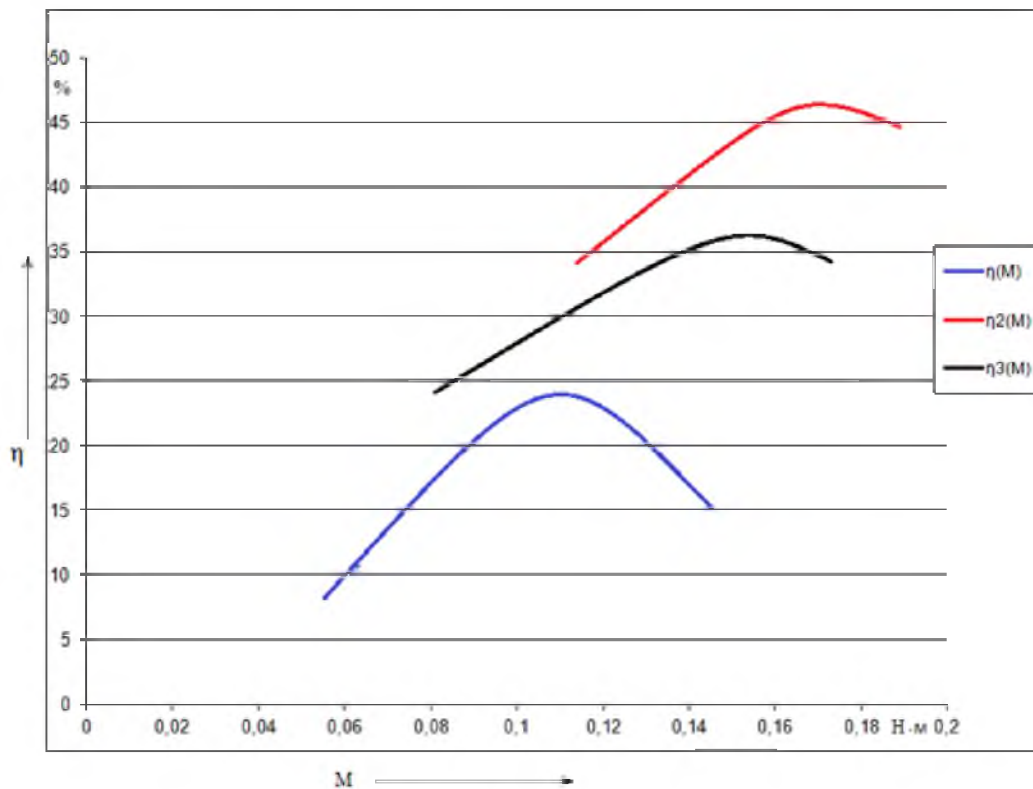


Рисунок 7.1 – Зависимость коэффициента полезного действия от момента нагрузки в статическом режиме для различных значений скорости

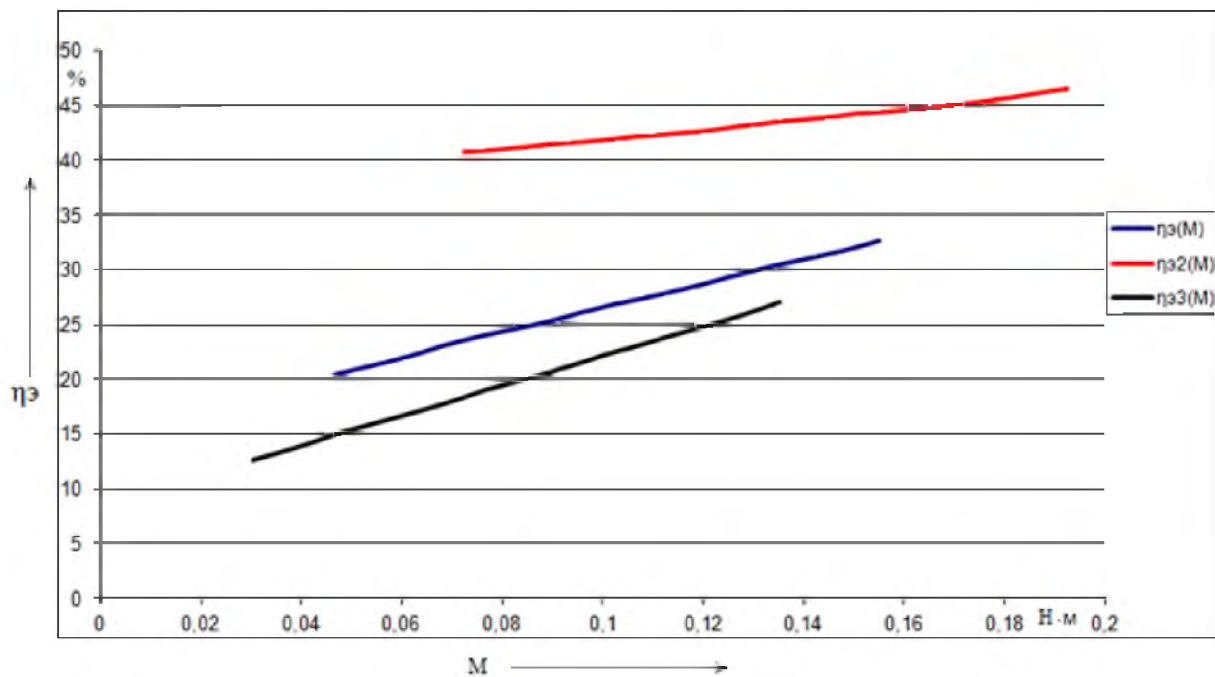


Рисунок 7.2 – Зависимость коэффициента полезного действия от момента нагрузки в динамическом режиме для различных значений скорости

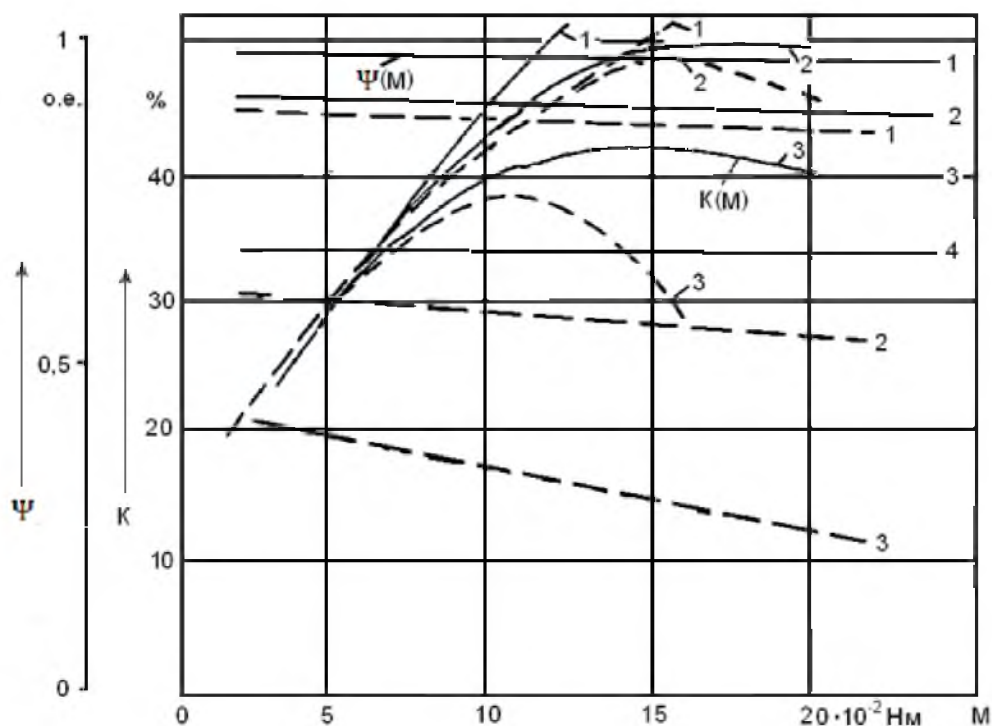


Рисунок 5.1 – Рабочие характеристики электропривода с регулированием в 1 зоне. Коэффициент мощности (Ψ) и коэффициент полезного действия (K) в зависимости от нагрузки на валу двигателя.

Заключение

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача – по повышению энергетической эффективности электропривода электрофицированного ручного инструмента массового потребления, за счет построения, синтеза новых структур электропривода и создания энергоэффективных алгоритмов управления ими. Выполненные исследования определили следующие основные результаты и выводы

1. На основе анализа статических и динамических характеристик Электротехнических комплексов массового назначения (электрофицированного инструмента) рекомендованы функциональные решения для построения систем массового электропривода;

2. Синтезированы структуры электропривода с ОКД с нелинейными

обратными связями, обеспечивающие новые функциональные свойства;

3. Обоснованы теоретические условия обеспечения энергоэффективности и синтезированы практические алгоритмы управления электроприводом малой мощности с ОКД с точки зрения минимума потерь, содержащие новые положения, связанные с контролем электромагнитной «постоянной времени».

4. По материалам исследований разработаны предложения по учету особенностей формирования статических и динамических характеристик электропривода с учетом критерия минимума потерь и синтезирован алгоритм управления с точки зрения энергоэффективности электроприводом на основе однофазного коллекторного двигателя, согласно которому, напряжение, подводимое к двигателю, изменяют прямо пропорционально корню квадратному от электромагнитного момента двигателя.

5. Предложено математическое описание электромагнитных процессов в ОКД с учетом найденных функциональных зависимостей и разработана математическая модель с нелинейными обратными связями;

6. Предложены алгоритмы оптимального управления с нелинейной коррекцией динамических параметров, основанные на методе динамического программирования, и, определяющие требуемый закон изменения питающего напряжения с целью обеспечения максимального значения КПД электропривода;

7. Разработаны устройства управления электропривода с ОКД, основанные на алгоритмах оптимальных, с точки зрения энергоэффективности, управлений для достижения требуемых статических и динамических характеристик ЭП и поддержания максимального динамического КПД;

8. Обоснована эффективность разработанных систем энергоэффективного управления ЭП с ОКД последовательного возбуждения, путем сравнения зависимостей мощностей и КПД полученных из разработанной модели с характеристиками полученными экспериментальным путем.

Список использованных источников

- 1 Андреев, В.П., Основы электропривода / В.П. Андреев, Ю.А., Сабинин. Л.: Госэнергоиздат, 1963 – 772 с.
- 2 Каган, В.Г. Полупроводниковые системы с двигателями последовательного возбуждения / В.Г. Каган, Г.В. Лебедев, Л.И. Малинин - М., Энергия, 1971. – 96 с.
- 3 Мешков, А.С. Математическая модель однофазного коллекторного электропривода / А.С. Мешков, В.И. Суздорф - Международный симпозиум «Образование, наука и производство: проблемы, достижения и перспективы»: материалы международной научно-технической конференции «Электротехнические комплексы и системы» (Комсомольск-на-Амуре, 21-22 октября 2010 года): В 5 т. т.3 / Редкол.: А.М. Шпилев (отв. ред.) и др. - Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2010.
- 4 Карпов, Д.А. Энергоэффективность возобновляемых источников энергии малой мощности / Д.А. Карпов – VI Международная студенческая электронная научная конференция журнал Академии Естествознания Современные наукоемкие технологии «СТУДЕНЧЕСКИЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ 2014»- . вып.5, ч.1. г. Пенза .2014 г. Лик, 2014. - С. 41-42.
- 5 Герман-Галкин, С.Г., Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. / С.Г. Герман-Галкин – СПб.: КОРОНА принт, 2001, - 320 с.
- 6 MATLAB в инженерных и научных расчетах / А.Ф. Дашенко, В.Х. Кириллов, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей. Одесса: «Астропринт», 2003 г.
- 7 Дьяконов, В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. / В.П. Дьяконов – М.: СОЛОН-пресс, 2004. – 384 с.
- 8 Клюев, А.С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие / А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев; под ред. А.С. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

9 Шенфельд, Р. Автоматизированные электроприводы: пер. с нем. / Р. Шенфельд, Э. Хабигер; под ред. Ю.А. Борцова. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 464 с.

10 Карпов, Д.А. Энергоэффективность ручного электрофицированного инструмента / Д.А. Карпов, В.И. Суздорф – Международное научное издание по итогам международной научно-практической конференции «НОВАЯ НАУКА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД»г. Стерлитамак , декабрь 2015г. Лик, 2015. - С.55-57.