

Б.В. Арещенко

Разработка алгоритмов устройств интеллектуальной защиты двигателей

Рассмотрены примеры построения защиты двигателей от перегрузок посредством времятоковой защиты и тепловой модели. Предложены алгоритмы этих видов защит для использования в микропроцессорных устройствах защиты. Проведены экспериментальные исследования адекватности работы алгоритмов устройств интеллектуальной защиты двигателей.

Система электроснабжения и электроприёмники, получающие от неё электропитание, являются сложным производственным объектом, все единицы которого участвуют в едином технологическом процессе. Основные специфические особенности такого процесса — быстротечность и неизбежность повреждений аварийного характера. Поэтому защита двигателей как основных электроприёмников имеет решающее значение в целях обеспечения надежного функционирования системы электроснабжения и электроэнергетической отрасли в целом. В настоящее время наблюдается растущий спрос на микропроцессорные устройства, выполняющие функции защиты (устройства релейной защиты и автоматики, преобразователи частоты, устройства плавного пуска), которые имеют множество преимуществ перед электромеханическими и электронными устройствами защиты. Вот некоторые из них:

- сокращение эксплуатационных расходов за счет самодиагностики, автоматической регистрации режимов и событий;
- сокращение расходов на строительство, монтаж, уменьшение габаритов, экономия кабелей, уменьшение затрат на аппаратную часть;
- возможность реализации новых функций, программирование пользователем;
- возможность интегрирования в АСУ ТП.

Создание алгоритмов для устройств защиты является перспективным направлением развития.

В общем случае схема срабатывания защиты представляет собой систему, где с датчиков тока и напряжения приходит информация на устройство защиты, которое ведёт постоянный контроль состояния системы и выдаёт команду на отключение двигателя от сети в случае повреждения.

В данной статье предложены алгоритмы защиты от перегрузок по времятоковым характеристикам и с использованием тепловой модели.

Для написания программного кода, выполняющего защиту двигателя, была предложена структура системы «питающая сеть — двигатель — устройство защиты» и построена имитационная модель в приложении Simulink пакета MATLAB, которая позволяет задавать различного рода воздействия и наблюдать реакцию системы защиты и управления на эти воздействия, а также изучать переходные процессы (рис. 1).

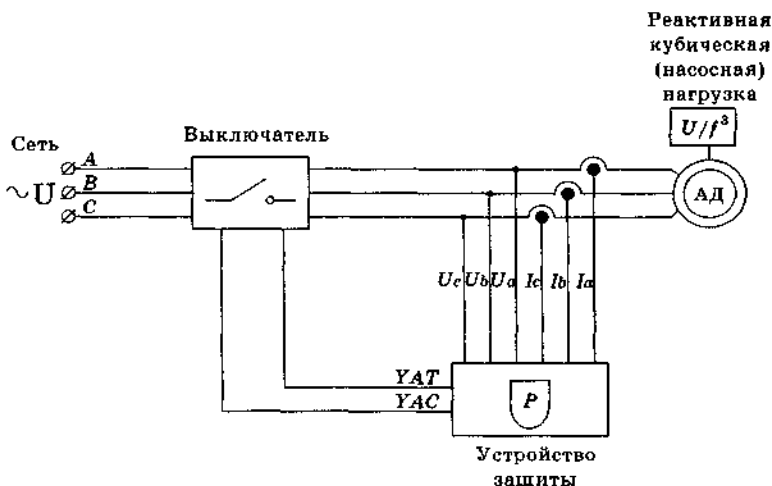


Рис. 1. Структура системы «питающая сеть — двигатель — устройство защиты»

На рисунке используются обозначения:

I_a, I_b, I_c — значения токов в каждой фазе; U_a, U_b, U_c — значения напряжений в каждой фазе; YAT — электромагнит отключения выключателя; YAC — электромагнит включения выключателя.

При создании модели учтены следующие факторы:

- нелинейное изменение нагрузки на валу электродвигателя в зависимости от скорости;
- возможность отклонения параметров сети от установленных;
- дискретный характер работы цифрового устройства защиты.

Защита от перегрузки предназначена, фактически, для защиты изоляции электродвигателя от недопустимых термических воздействий [1]. Данный вид защиты может выполняться как в прямой форме — с помощью датчиков температуры, встраиваемых в обмотки фаз статора (для электродвигателей выше 1кВ нецелесообразно), так и в косвенной форме — с помощью максимально-токовой защиты с зависимой выдержкой времени или с помощью использования тепловой модели двигателя. Для оценки перегрева двигателя при перегрузках пользуются кривыми кратностей токов, которые показывают, сколько времени осталось проработать двигателю для достижения максимального перегрева при данной кратности тока. На основе этого был составлен алгоритм работы времятоковой защиты. Суть такого алгоритма сводится к построению правильной работы счётчика, значение которого, достигая определённой величины, сигнализирует о перегреве двигателя и подаёт сигнал на его отключение (рис. 2). Счётчик увеличивает своё значение, если кратность тока выше единицы. Причем величина, на которую возрастает значение счётчика, различна и зависит от величины кратности тока, определяемой из кривых кратностей тока. Уменьшается значение счётчика согласно постоянной времени остывания. Таким образом, значение счётчика косвенно определяет перегрев двигателя. Результаты моделирования приведены на рис. 3, 4.

На схеме алгоритма (рис. 2) используются следующие обозначения:

I_a, I_b, I_c — действующие значения токов; $I_{\text{сред}}$ — среднее значение действующего тока; $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток; K_i — кратность тока; Counter — счётчик косвенного перегрева; CounterMax — максимальное значение перегрева; T_s — шаг расчёта (постоянная времени дискретизации); T_{cool} — время охлаждения; T_{heat} — допустимое время нагрева; CounterCool — приращение энергии остывания; CounterHeat — приращение энергии нагрева; K_1, K_2 — ближайшие значения кратностей токов к кратности тока K_i ; t_1, t_2 — значения времён при кратностях K_1, K_2 соответственно, за которые двигатель достигнет перегрева; Warning — формирование сигнала предупреждения об опасности; Danger — формирование сигнала на отключение двигателя.

Из графиков переходных процессов видно, что при каждом случае увеличения кратности тока выше нормы счётчик перегрева увеличивает своё значение. Когда кратность тока в норме или ниже, счётчик уменьшает своё значение.

Создание алгоритма работы тепловой модели основано на моделировании нагрева и охлаждения двигателя, что является очень сложным процессом, в котором нужно рассмотреть и учесть многие факторы. Полный учёт всех этих факторов практически невозможен. Поэтому анализ нагревания и охлаждения обмоток основывается на ряде допущений:

- температура окружающего воздуха неизменна в течение всего неустановившегося режима;
- коэффициенты теплоотдачи и теплопроводности не зависят от температуры тела и постоянны в течение всего неустановившегося режима;
- нагреваемое (или охлаждаемое) тело обладает свойством неограниченной теплопроводности;
- не учитывается тепловое взаимодействие между отдельными частями сложной системы.

Указанные допущения позволяют с достаточной для целей релейной защиты точностью оценить нагрев и охлаждение обмоток при перегрузках. Процесс изменения превышения температуры ΔT электродвигателя по отношению к температуре окружающей среды под воздействием выделяющегося в нём за счёт протекания тока I тепла ΔP описывается уравнением [2]

$$\Delta P dt = C d\Delta T + A \Delta T dt, \quad (1)$$

где ΔP — мощность потерь энергии в двигателе; ΔT — превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды; C — суммарная теплоёмкость двигателя; A — суммарная теплоотдача; t — время.

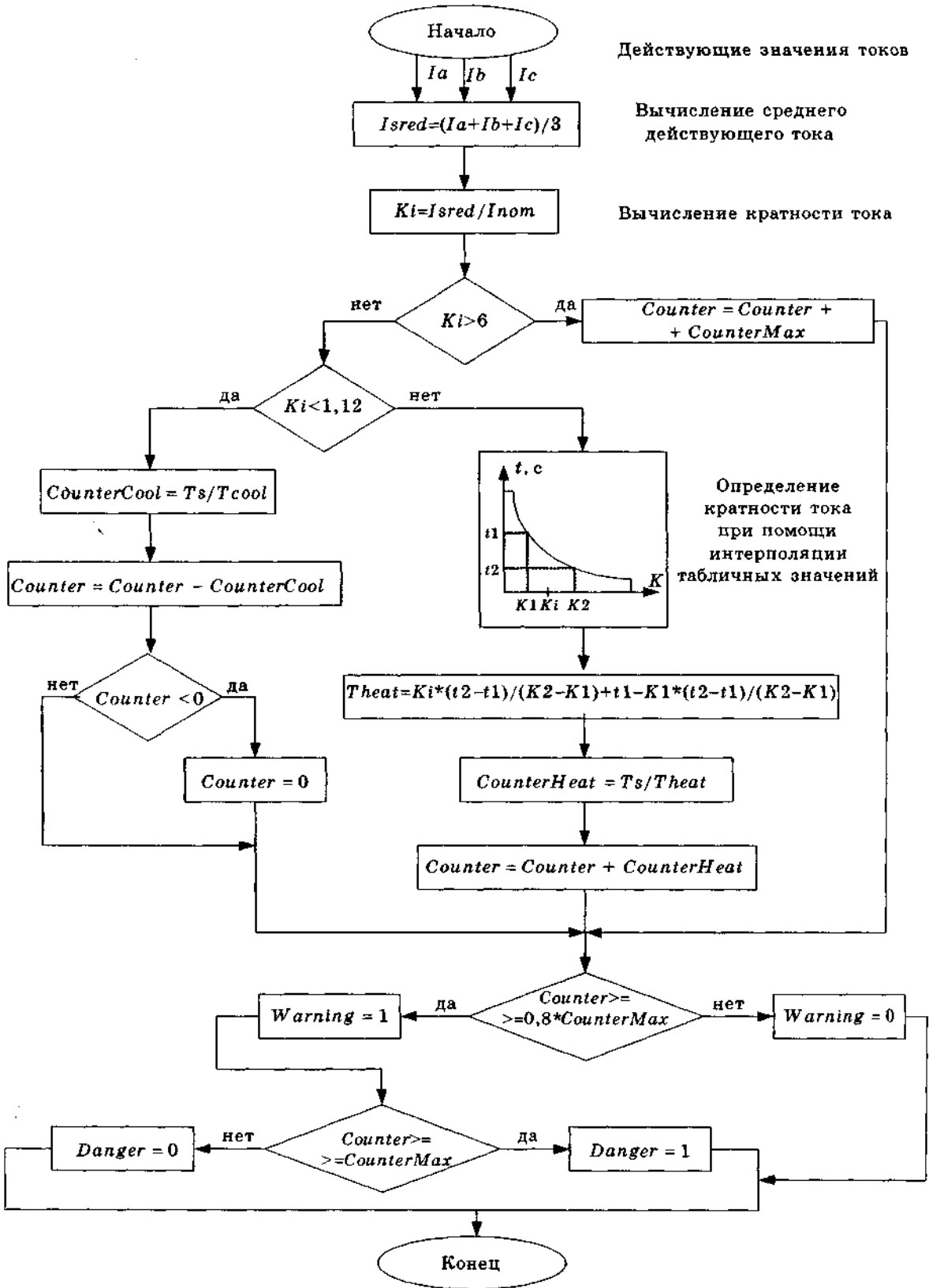


Рис. 2. Алгоритм времятоковой защиты

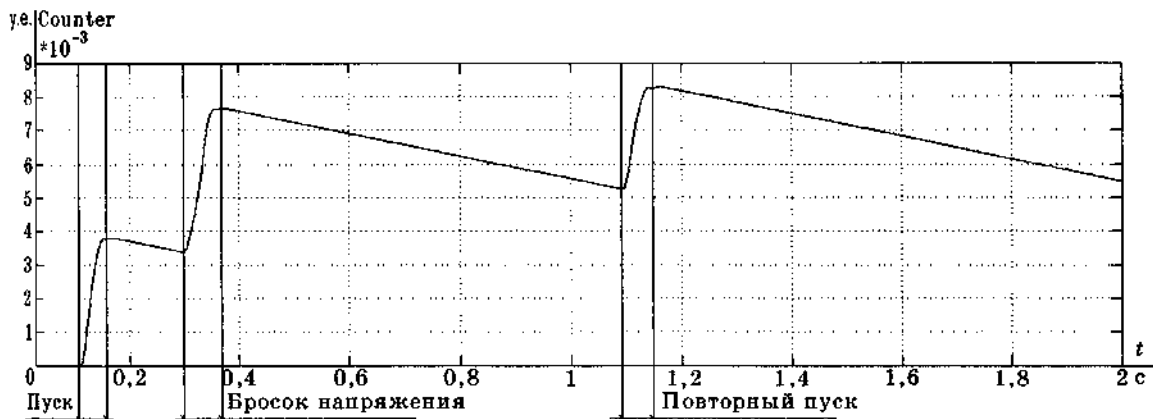


Рис. 3. Переходный процесс изменения величины счётчика косвенного перегрева при пуске, броске напряжения в сети, повторном пуске

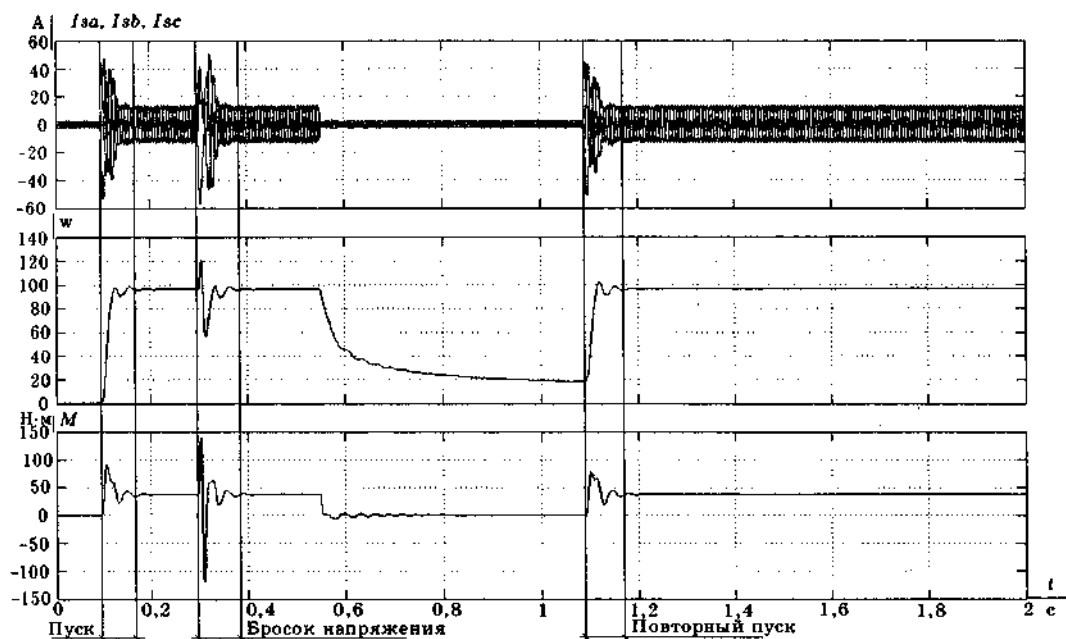


Рис. 4. Графики переходных процессов токов, скорости и момента двигателя при пуске, броске напряжения в сети, повторном пуске

То есть выделившаяся мощность потерь идёт на нагрев двигателя и отдачу тепла в окружающую среду. При этом, чем больше мощность потерь, тем быстрее происходит нагрев машины, из-за того что двигатель не успевает отдавать тепло в окружающую среду. В разностной форме уравнение выглядит так [3]:

$$\Delta T_k = \Delta T_{k-1} + \frac{T_s}{C} (\Delta P - A \cdot \Delta T_{k-1}), \quad (2)$$

где ΔT_k — превышение температуры в k -й момент времени; ΔT_{k-1} — превышение температуры в $(k-1)$ -й момент времени; T_s — шаг расчёта.

Тогда температура двигателя будет равна

$$T_{дв} = \Delta T_k + T_{ок},$$

где $T_{ок}$ — температура окружающей среды; $T_{дв}$ — температура двигателя.

Реализация вычисления формулы на микропроцессорном уровне не представляет больших трудностей. В данном случае параметры ΔP и $T_{ок}$ могут быть получены непосредственным измерением соответственно тока двигателя и температуры окружающей среды с помощью датчиков. Отношение теплоёмкости к теплоудаче — это постоянная времени нагрева двигателя, которая зависит от мощности двигателя, класса изоляции и числа пар полюсов. Алгоритм работы тепловой модели приведён на рис. 5.

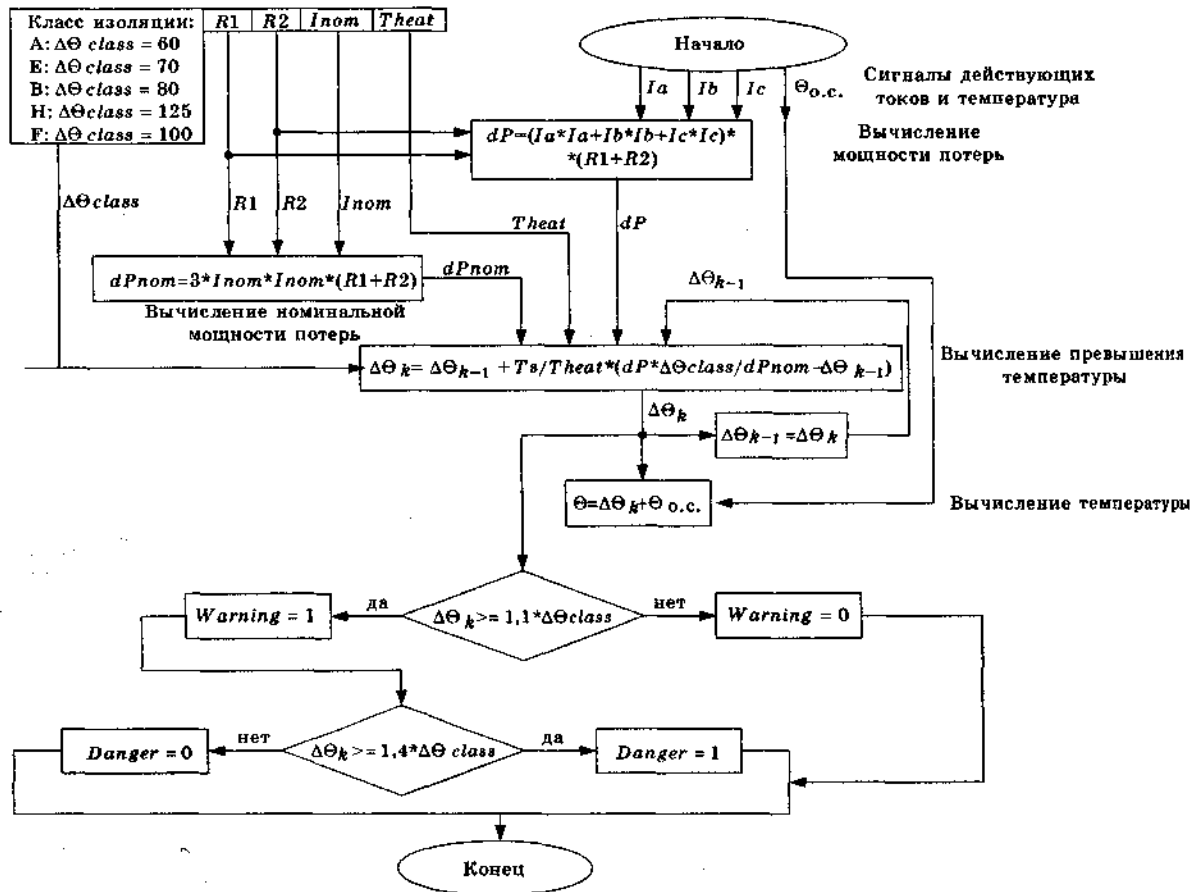


Рис. 5. Алгоритм работы тепловой модели

На схеме алгоритма используются следующие обозначения:

$R1, R2$ — сопротивления фаз статора и ротора соответственно; $Theat$ — постоянная времени нагрева; $\Delta\theta_{class}$ — допустимое превышение температуры двигателя над температурой окружающей среды для соответствующего класса изоляции [4]; $\theta_{о.с.}$ — температура окружающей среды; $\Delta\theta_k$ — превышение температуры в k -й момент времени; $\Delta\theta_{k-1}$ — превышение температуры в $(k-1)$ -й момент времени; dP_{nom} — номинальная мощность потерь энергии в двигателе; dP — реальная мощность потерь энергии в двигателе.

Процессы нагрева и остывания исходя из вышеприведённого алгоритма в результате моделирования при номинальной нагрузке приведены на рис. 6 и 7.

Тепловая модель плохо работает в динамических режимах, поэтому её целесообразно использовать совместно с другими видами защит (например, с максимально-токовой защитой).

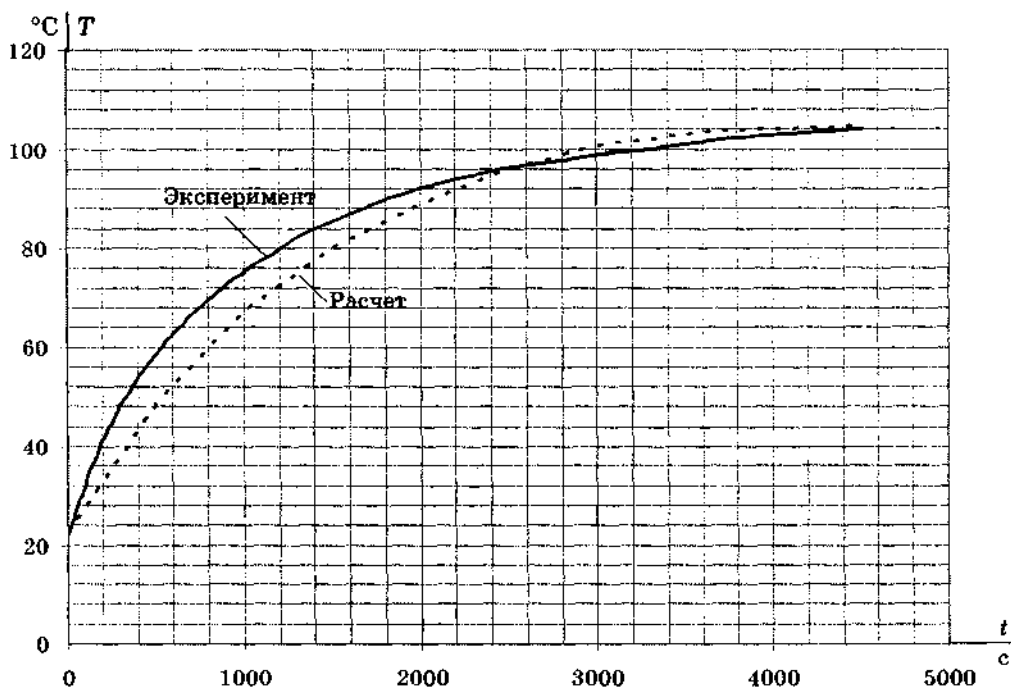


Рис. 6. Результаты моделирования нагрева двигателя

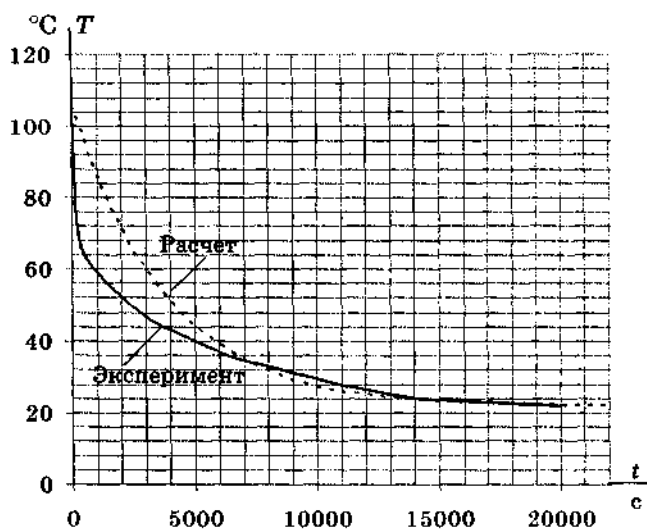


Рис. 7. Результаты моделирования остывания двигателя

Литература

1. Басс Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие / Э.И. Басс, В.Г. Доргунов ; под ред. А.Ф. Дьякова. - Изд. 2-е, стер. - М. : Издательский дом МЭИ, 2006. - 296 с.
2. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников ; под ред. Л.Г. Мамиконянца. - Изд. 4-е, переработ. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1984. - 240 с.
3. Синчук О.Н. Тепловая модель кранового АД для диагностирования и настройки цифровой защиты от перегрузок / О.Н. Синчук, В.В. Чумак, С.Л. Михайлов // Электротехника. - 2003. - № 3. - С. 61-65.
4. Справочник по электротехническим машинам. В 2 т. Т. 1 / под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. - М. : Энергоатомиздат, 1988. - 456 с.

Арещенко Борис Владимирович
Магистрант института Инноватики ТУСУРа,
инженер-электроник НИИ электронных систем
Тел.: 8 923 404 30 78
Эл. почта: Boris.Areshchenko@elesy.ru

B.V. Areshchenko

Development of algorithms for motors intelligent protection devices

This article presents the design samples of overload protection of motors by means of time-current protection and heat model. Algorithms of these kinds of protection for using in microprocessor based protection units are offered. Experimental researches on verification of operation of algorithms for motors intelligent protection devices have been carried out.
