

УДК 621.3.012

# РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В РАМКАХ СИСТЕМЫ «ПЧ-АД»

*А. С. ТРЕТЬЯКОВ, А. О. НЕКИПЕЛОВ*

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

UDC 621.3.012

# DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CONTROL OF THERMAL STATE OF INDUCTION MOTOR WITHIN "FT-IM" SYSTEM

*A. S. TRETSIAKOU, A. O. NEKIPELAU*

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос теплового состояния асинхронных электродвигателей и необходимость его контроля. Для решения данной задачи предложено специализированное программное обеспечение, описаны его возможности и принцип работы.

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, тепловое состояние, программное обеспечение

**Abstract.** This article discusses the thermal state of induction motors and the need to monitor it. To solve this problem, specialized software is offered, its capabilities and operating principle are described.

**Key words:** induction motor, thermal state, software.

В настоящее время доминирующим в парке электродвигателей по всему миру является асинхронный электродвигатель (АД). Большинство всех электроприводов являются асинхронными. Более того, асинхронные электроприводы в своем большинстве регулируемые и построены по системе «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» (ПЧ-АД).

Для долгой и безотказной службы АД необходимо выполнение ряда критериев, среди которых – поддержание оптимального температурного режима. Также такие двигатели должны проходить периодический осмотр и диагностику.

Существует большое количество программного обеспечения (вернее, программно-аппаратных комплексов), которые могут проводить профилактический осмотр и диагностику.

Цель работы – разработка программного обеспечения (ПО), которое способно в реальном времени обеспечивать контроль и идентификацию теплового состояния АД, прогнозировать изменение температур его отдельных узлов и – как отдельная опция – выдавать соответствующие сигналы в систему управления преобразователем частоты.

Внешний вид программного обеспечения представлен на рис. 1.

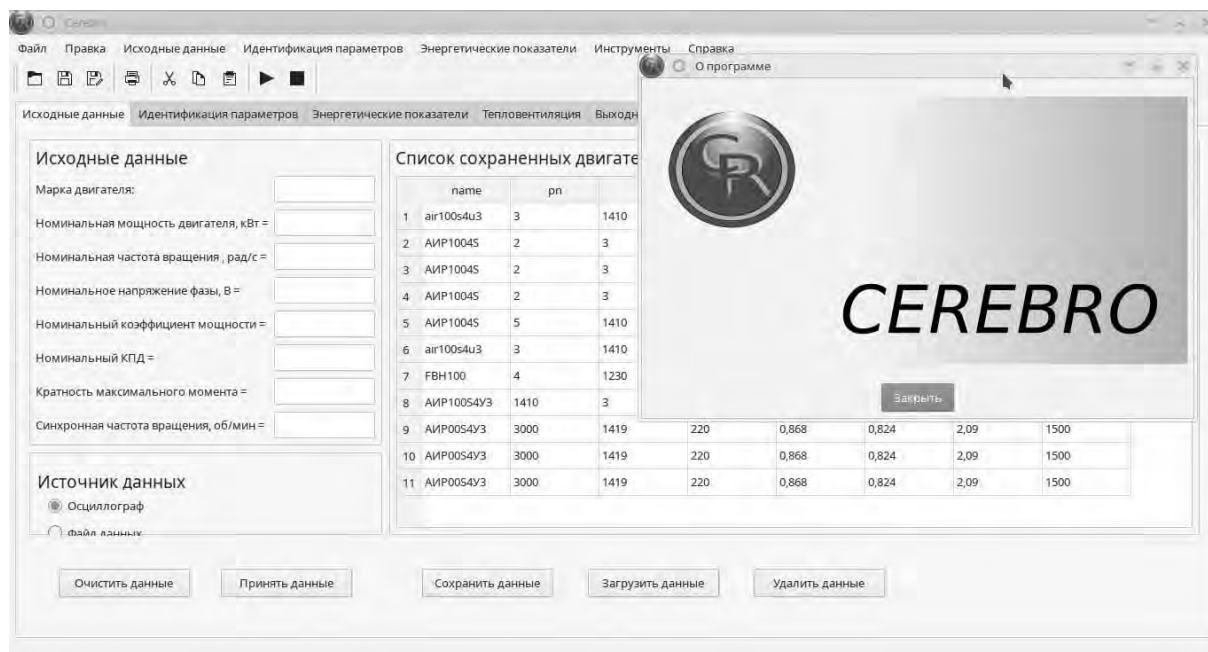


Рис. 1. Внешний вид программного обеспечения для идентификации теплового состояния асинхронного двигателя

Данное ПО написано на кроссплатформенном фреймворке qt5 под Linux, может быть портировано на Windows и Mac OS и имеет два основных режима работы:

1) использование в качестве исходных данных заранее сформированных txt-файлов (возможно использование и других форматов, например, csv);

2) использование в качестве исходных данных сигналов токов, напряжений, скорости, момента, температур отдельных узлов асинхронного электродвигателя, с которого снимаются эти параметры. В данном случае используется блок ввода аналоговых сигналов с их последующей оцифровкой.

Другими словами, первый режим работы позволяет просчитать, а второй – экспериментально в реальном времени определить и спрогнозировать тепловентиляционные режимы.

В состав данного ПО входят следующие модули:

- 1) модуль исходных данных;
- 2) модуль идентификации параметров T-образной схемы замещения АД;
- 3) модуль расчета электромагнитных режимов АД;
- 4) модуль расчета энергетических характеристик АД;
- 5) модуль идентификации и прогноза тепловентиляционных режимов работы АД;
- 6) модуль результатов работы программы.

Модуль исходных данных представляет собой базу данных, в которой хранится марка двигателя, его параметры и параметры, необходимые для

работы ПО. Можно загрузить, выгрузить, удалить, преобразовать исходные данные и вывести их на печать.

Второй модуль необходим для идентификации параметров Т-образной схемы замещения АД. Это связано с тем, что для работы любого преобразователя частоты (ПЧ) необходимо знать эти данные для корректной работы выбранного закона частотного управления. При подключении двигателя в первый раз ПЧ производит так называемую идентификацию – определение параметров Т- или Г-образной схемы замещения АД по заранее заложенному в него алгоритму.

В качестве идентифицируемых параметров Т-образной схемы замещения АД выступают:

- активное сопротивление фазы статора;
- приведенное к статору активное сопротивление фазы ротора;
- реактивное сопротивление фазы статора;
- приведенное к статору реактивное сопротивление фазы ротора.

Алгоритм, заложенный в данное ПО, основывается на математическом аппарате, представленном в [1].

Сам эксперимент проходит в несколько стадий. На первой стадии ПЧ подает на двигатель напряжение постоянного тока не более 24 В, после чего методом вольтметра-амперметра определяется сопротивление фазы статора. На втором ПЧ формирует специальный полигармонический сигнал, который будет подаваться на АД.

Вначале на АД подается кратковременный импульс постоянного тока для подмагничивания магнитной системы, а далее – сформированные по заданному управляющему сигналу напряжения на статор электродвигателя. При этом двигатель не стартует и железо магнитопроводов статора и ротора не входит в насыщение (при этих условиях можно считать, что параметры схемы замещения неизменны). Далее считываются показания напряжений и токов на статоре и передаются на персональный компьютер, где происходит обработка данных. Расчет заканчивается, когда достигается необходимая точность. При этом итоги расчета отображаются как в текстовом, так и в графическом виде – в виде трендов.

В случае использования текстовых файлов заранее моделируются и переводятся в массивы данные полигармонические сигналы токов и напряжений. При запуске расчета из этих файлов считываются массивы данных, и на их основе проводится идентификация параметров схемы замещения.

Данный модуль является источником данных для остальных модулей.

Третий модуль предназначен для расчета электромагнитных режимов АД. В его основе лежит двухфазная математическая модель в осях  $\alpha$ - $\beta$  [2, 3]. Входными являются параметры Т-образной схемы замещения, выходными – токи, скорость и момент.

Четвертый модуль предназначен для расчета энергетических характеристик АД. Здесь определяются параметры энергетической диаграммы АД:

- входная мощность АД;
- потери в статоре АД;
- потери в роторе АД;
- выходная мощность АД;
- прочие потери, необходимые для дальнейших расчетов.

Входная мощность определяется на основании измеренных токов и напряжений на статоре двигателя. Потери в статоре и роторе рассчитываются по методике, изложенной в [3]. Выходная мощность определяется на основании измеренных показаний скорости и момента. Опционально можно найти коэффициент мощности и коэффициент полезного действия.

В случае расчетов для определения выходной мощности используется синтезированный наблюдатель состояния, целью которого является восстановление сигнала скорости. Момент точно вычисляется на основании заложенного алгоритма.

Итогом работы данного модуля является набор параметров потерь в отдельных узлах АД, которые будут использованы в следующем модуле.

Пятый модуль основной, он предназначен для идентификации и прогноза тепловентиляционных режимов работы АД. В его основе лежит метод эквивалентных тепловых схем замещения [4]. В зависимости от решаемой задачи выбирается требуемая m-массовая система однородных тел, на основании которой составляется система дифференциальных уравнений. В данной системе уже учтена взаимосвязь тепловых и вентиляционных режимов работы АД. На основе данных, получаемых из предыдущих модулей, идет расчет температур отдельных узлов АД. С учетом тепловой инерционности формируется сигнал на ПЧ для увеличения / уменьшения скорости вращения ротора, что в конечном счете приводит к увеличению / уменьшению объема воздуха, поступающего в АД для интенсивного отвода тепловых потерь. Большей функциональности можно достигнуть, применяя наездники – электроприводы вращения вентиляторов, работающих независимо от самого АД и монтирующихся в зоне основного вентилятора АД.

Последний модуль представляет собой сводный отчет по итогам работы программы, в котором отображаются все основные переменные, снятые или рассчитанные, на основе которых можно судить о текущем состоянии АД.

В качестве дальнейшего развития программы можно выделить следующее:

- расширение функционала модуля расчета электромагнитных режимов АД (использование трехфазной математической модели,

выборочное включение в модель уточняющих факторов, таких как учет насыщения магнитной цепи, эллиптического кругового магнитного поля статора, переменных параметров схемы замещения и т. д);

– использование математического аппарата, заложенного в данное ПО, для создания прошивки ПЧ, которая будет учитывать тепловое состояние АД и автоматического регулирования расхода охлаждающего воздуха для интенсивного отвода тепловых потерь, для поддержания теплового режима АД на заданном уровне.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Peresada, S.** Adaptive observers for self-commissioning of induction motor drives: Theory and experiment / S. Peresada, S. Kovbasa, D. Prystupa // 2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 2–6 June 2014. – Kyiv, 2014. – P. 240–245.

2. **Castaldi, P.** Parameter estimation of induction motor at standstill with magnetic flux monitoring / P. Castaldi, A. Tilli // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2005. – Vol. 13, № 3. – P. 386–400.

3. **Третьяков, А. С.** Разработка уточненной электромагнитной модели асинхронного электродвигателя / А. С. Третьяков, О. А. Капитонов, Г. С. Леневский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 4. – С. 69–77.

4. **Третьяков, А. С.** Моделирование тепловентиляционных режимов работы асинхронных электродвигателей при питании от синусоидального источника напряжения / А. С. Третьяков, О. А. Капитонов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2018. – № 2 (73). – С. 66–73.

E-mail: loggie121@gmail.com.