

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В.И. Сташко, А.А. Фефелов, И.Ю. Поломошнов, В.О. Ситникова

Статья посвящена автоматизации процесса диагностики электродвигателей. Предлагаемый авторами измерительный прибор основан на использовании метода определения остаточного ресурса электродвигателя. Он измеряет температуру двигателя и подсчитывает число его пусков (включений). Далее метод сводится к расчету срока службы изоляции электродвигателя на основе данных о количестве переходных процессов и температуры корпуса. В статье приведены расчеты, схема прибора и алгоритм его работы.

Ключевые слова: диагностика, электродвигатель, изоляция, измерительный прибор, микроконтроллер, компьютер.

Большое распространение электродвигателей переменного тока для привода различного оборудования и механизмов обусловлено простотой, надежностью и относительно небольшой стоимостью этих машин.

Одним из основных недостатков асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором является их недостаточная надежность, обусловленная тяжелыми условиями эксплуатации.

Так, в сельском хозяйстве, двигатели работают в достаточно жестких условиях: сезонность работы, резкие перепады температуры и влажности, механические перегрузки, агрессивные среды и т.д. Все это сказывается на продолжительности работы асинхронного двигателя (АД).

Для того что бы спрогнозировать остаточный ресурс электродвигателя используются много, в том числе и не сложных, методик: испытание обмоток двигателя, измерение температуры обмоток, измерение температуры корпуса двигателя в работе.

За основу предлагаемого метода определения остаточного ресурса электродвигателя был взят метод «измерения температуры двигателя в работе», так как он является подходящим к любому типу двигателей и не требует вмешательства в рабочий процесс (двигатель не нужно демонтировать, отсоединять привод, выводить в резерв, и так далее).

Суть данного метода сводится к расчету срока службы изоляции электродвигателя на

основе количества пусковых переходных процессов и температуры корпуса.

Известно, что главными факторами, влияющими на срок службы изоляции, являются температура двигателя и количество пусков. Ниже приведены формулы, позволяющие производить расчеты, и тем самым, прогнозировать выход из строя АД из-за старения изоляции.

Вначале находится постоянная времени нагрева обмоток T , ч, по формуле (1) которая для удобства выражена в часах:

$$T = \frac{c \cdot \gamma}{1000 \cdot \rho \cdot \kappa_R} \cdot \frac{\tau_n}{j_{sn}^2} \cdot \frac{1}{3600}, \text{ ч.} \quad (1)$$

Далее, выразим постоянную C , ч, из уравнения продолжительности службы изоляции (2):

$$B = C \varepsilon^{-b \cdot \theta} \quad (2)$$

где B – срок службы изоляции, ч;

b – коэффициент численно равный 0,088, что соответствует сокращению срока службы изоляции в два раза на каждые 8°C увеличения температуры;

θ – температура, при которой срок службы изоляции равен 20000ч, $^\circ\text{C}$, откуда

$$C = B \div \varepsilon^{-b \cdot \theta}. \quad (3)$$

Далее находится износ изоляции ξ , за один пуск АД в долях срока службы по формуле (4):

$$\xi = \frac{1}{C} \frac{T^2 \varepsilon^{b \theta_n}}{b \tau_n (\kappa^2 - 1) \cdot t_{nep}} \left[4 \varepsilon^{\frac{b \tau_n (\kappa^2 - 1) t_{nep}}{2T}} + \varepsilon^{\frac{b \tau_n (\kappa^2 - 1) t_{nep}}{T}} \cdot \left(1 + \frac{t_{nep}}{T} \right) - 5 - \frac{t_{nep}}{T} \right], \quad (4)$$

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Износ изоляции ξ' за разные интервалы времени t , ч, с учетом пусков:

$$\xi' = \left(\xi_1 + \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_1} \varepsilon^{b-\theta^1} dt \right) + \left(\xi_2 + \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_2} \varepsilon^{b-\theta^2} dt \right) + \dots + \left(\xi_3 + \frac{1}{C} \cdot \int_0^{t_n} \varepsilon^{b-\theta^n} dt \right), \quad (5)$$

где t – время работы АД, ч;

ξ – износ изоляции из-за пусков за интервалы времени t , ч.

По этой формуле можно прогнозировать срок службы изоляции. Для этого нужно с определенной регулярностью, например, раз в месяц измерять температуру обмоток и считать количество пусков и подставлять значения этих величин в уравнения.

Техническая реализация данного метода, наиболее эффективна при полной автоматизации диагностического процесса, тем более, что при нынешнем развитии электроники, она не требует сложных и громоздких технических решений.

Всё оборудование является комплексом устройств, и состоит из следующих элементов:

1. Прибор диагностики электродвигателя (устанавливается на электродвигателе);
2. Пульт для считывания показаний с прибора диагностики;

3. Data-кабель для подключения пульта диагностики к ПК через USB;

4. Программное обеспечение ПК (персональный компьютер), с помощью которого ведется статистика и определяется остаточный ресурс каждого электродвигателя с установленным прибором диагностики.

Основные технические характеристики прибора диагностики следующие:

Напряжение питания	220 В
Потребляемая мощность	5 Вт
Точность измерения температуры	0,1 °С
Емкость памяти	512 кбайт
Количество записываемых пусков	256
Максимальное время записи времени работы электродвигателя (одного пуска)	128 ч
Интерфейс передачи данных	RS232

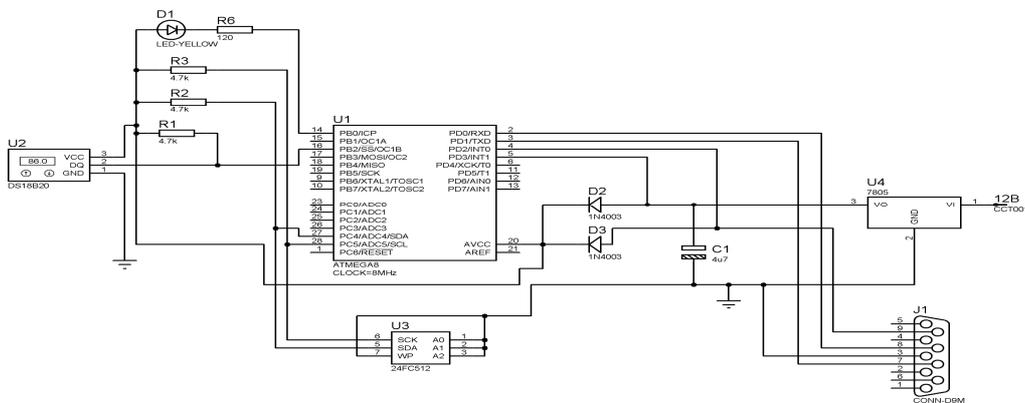


Рисунок 1 – Схема прибора диагностики на основе микроконтроллера ATMEGA8

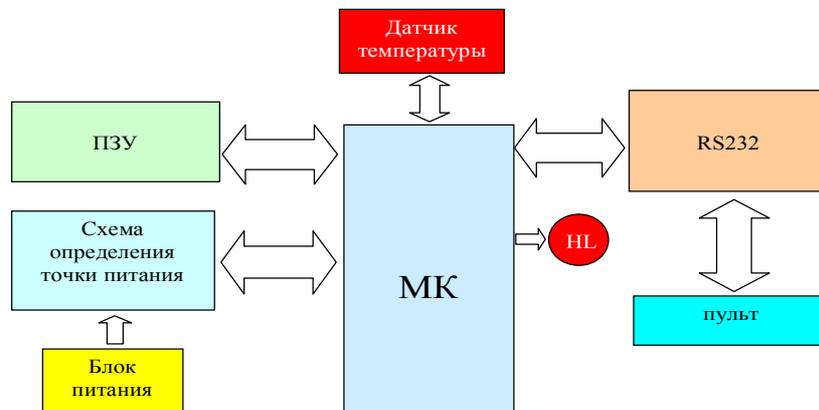


Рисунок 2 – Блок-схема прибора диагностики двигателя

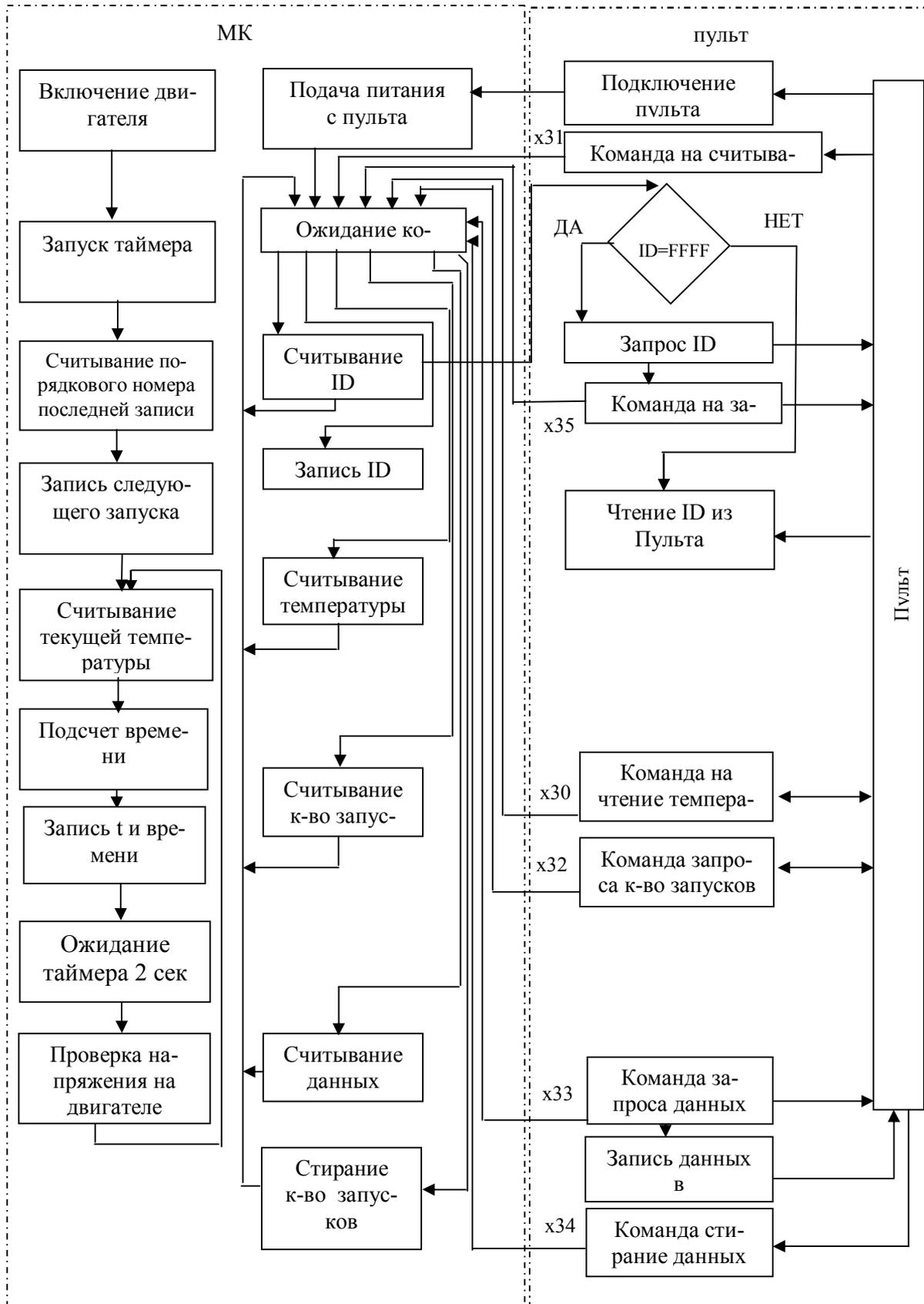


Рисунок 3 – Блок-схема работы прибора совместно с пультом управления

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Ниже описано взаимодействие узлов прибора диагностики и пульта в двух режимах.

Режим диагностики.

В режиме диагностики микроконтроллер (МК) получает питание, и одновременно, со схемы определения точки питания подается положительный сигнал на порт PD3. При этом МК по шине 1WIRE инициализирует количество подключенных к порту PB2 термодатчиков и необходимую точность измерения температуры. Далее МК обращается по шине I2C к микросхеме памяти и определяет записное по адресу 0xFFFFE и 0xFFFF количество пусков, вычисляет ячейку памяти для записи измеренной температуры микросхеме памяти, производит запись измеренной температуры. Опираясь по внутреннему прерыванию таймера, МК, каждые 2 секунды производит запись текущего времени работы двигателя в ячейку памяти микросхемы памяти, вычисленную ранее. МК сигнализирует работу внутреннего таймера посредством индикационного светодиода CD, при превышения температуры у подконтрольного двигателя выше 80 °C CD светится непрерывно. По истечении 60 сек, 10 минут, 15 минут, и 30 минут, МК производит опрос датчика температуры и записывает данные в следующие, свободные адреса микросхемы памяти.

Режим работы с пультом.

При работе с пультом, МК получает питание, и одновременно, со схемы определения точки питания подается положительный сигнал на порт PD2. При этом МК по шине 1wire инициализирует количество подключенных к порту PB2 термодатчиков и необходимую точность измерения температуры. МК конфигурирует порт RS-232 с параметрами: скорость передачи – 9600, количество бит – 8, передача стоп бита – нет. Далее МК переходит в режим ожидания команды. При подключении пульта, на МК кодом 0x30 подается команда для считывания текущей температуры, в данном случае окружающей среды, тем самым проверяется готовность оборудования к работе.

Далее пульт отправляет в МК код 0x31 соответствующий действию по таблице 1. Для считывания индикационного номера МК, в случае отсутствия индикационного номера в базе данных пульта, программа на пульте производит опрос оборудования и вносит в базу данных название оборудования, ПК отправляет в МК код 0x35, МК стирает индикационный номер оборудования в памяти микросхемы памяти и передает 2 байта нового

индикационного номера соответствующий введенному пользователем ПК названию оборудования, в соответствии с базой данных программы. Далее по запросу пользователя определяется количество пусков оборудования, что соответствует передаче из ПК в МК (код 0x32) времени работы оборудования, температуры оборудования в контрольных точках (по меткам времени) работы оборудования, что соответствует передаче из ПК в МК (код 0x33) и сохранения результатов считывания в текстовом формате. В тексте диагностические данные размещены под названием оборудования и даты считывания. После сохранения данных пользователь очищает информацию о количестве пусков, что соответствует передаче из ПК в МК кода 0x34.

Таблица 1
Расшифровка кодов ПК, соответствующих действиям МК

Код	Действие
0x30	Измерение текущей температуры
0x31	Считывание индикационного номера оборудования
0x32	Запрос количество пусков
0x33	Запрос данных
0x34	Стирание количество пусков
0x35	Стирание и запись нового индикационного номера

Пульт для считывания показаний с прибора диагностики представляет собой устройство, состоящее из шнура с 9-ти штырьковым разъемом, тремя батареями питания 1,5 В и индикационным светодиодом.

Порядок подключение пульта к прибору диагностики.

При подключении пульта к прибору диагностики, включается питание, затем, система делает задержку в 3 сек, кодом 0x31 запрашивает идентификационный номер прибора диагностики, который сохраняется в памяти. Далее делается запрос кодом 0x32 для считывания количество пусков двигателя, кодом 0x33 запрашиваются данные с прибора диагностики, а кодом 0x34, соответственно, очищается ячейка памяти, т. е. стирается количество пусков.

В процессе передачи данных происходит индикация работы устройства переключением светодиода, при заполнении памяти более чем на 70 % светодиод будет светиться с паузами частотой 0,5 Гц.

Подключение пульта к ПК

К ПК необходимо подключить шнур, затем, подключить пульт к шнуру.

В случае корректной инициализации внешнего устройства и предустановленного драйвера data-кабеля, запускается програм-

ма, и на экране монитора отображается номер порта по которому будут передаваться данные.

Пульт передает сохраненные данные по команде ПК 0x32, 0x33 и после передачи данных, ПК подает сигнал на стирание (код 0x34)

Во время работы пульта с ПК, пульт получает питание от шины USB.

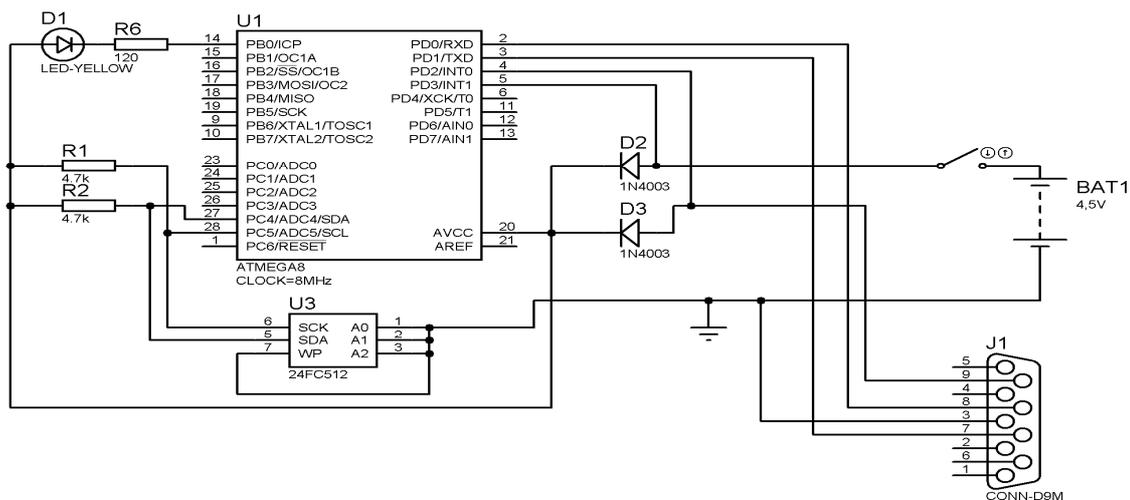


Рисунок 4 – Схема пульта на основе микроконтроллера ATMEGA8

Data-кабель представляет собой шнурок со встроенным контроллером преобразователем USB/RS232.

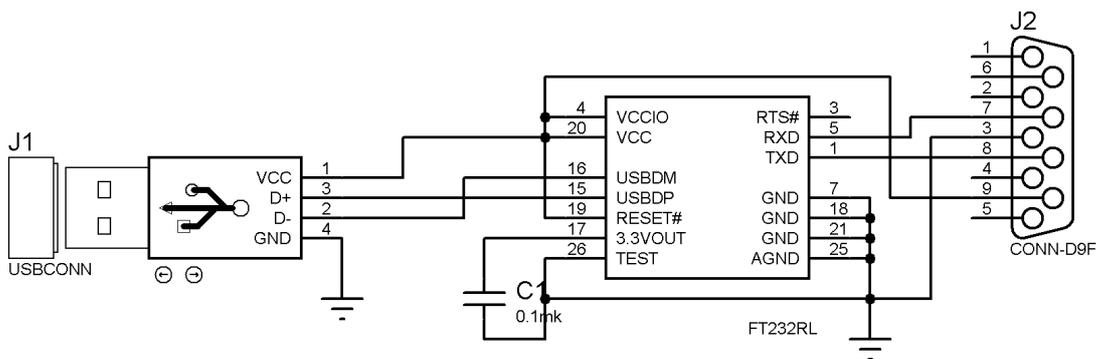


Рисунок 5 – Схема кабеля для ПК

Разработанное программное обеспечение позволяет не только обеспечить ввод диагностических данных в ПК, но и автоматизировать процесс оценки остаточного ресурса неограниченного количества электродвигателей. При этом, рассчитывается остаточный ресурс каждого конкретного двигателя, время его работы, количество пусков, колебаний температуры, и перехода температурного

режима во время работы двигателя через ноль.

Также, возможно определение других параметров электродвигателя на основе использования соответствующих математических расчетов.

Сташко В.И., Фефелов А.А., Поломошнов И.Ю., Ситникова В.О., тел. (3852) 36-85-32