

Система контроля нагрузки высоковольтных синхронных электродвигателей

на основе микропроцессора STM32F407

Валентин Юрзин

yuvamid@rambler.ru

Одним из достоинств синхронного электродвигателя является возможность получения оптимального режима по реактивной энергии. Показатели работы синхронного двигателя зависят от режима нагрузки и тока возбуждения. Для оценки функционирования и оперативного обслуживания параметров синхронных двигателей была создана система контроля параметров высоковольтных (6000 В) синхронных двигателей на основе микропроцессорного устройства.

Устройство предназначено для контроля значений основных параметров синхронных электродвигателей: тока нагрузки, коэффициента мощности $\cos(\varphi)$, напряжения, частоты сетевого напряжения и измерения пусковых характеристик в реальном времени с записью в память устройства на карту microSD. Функциональная схема системы

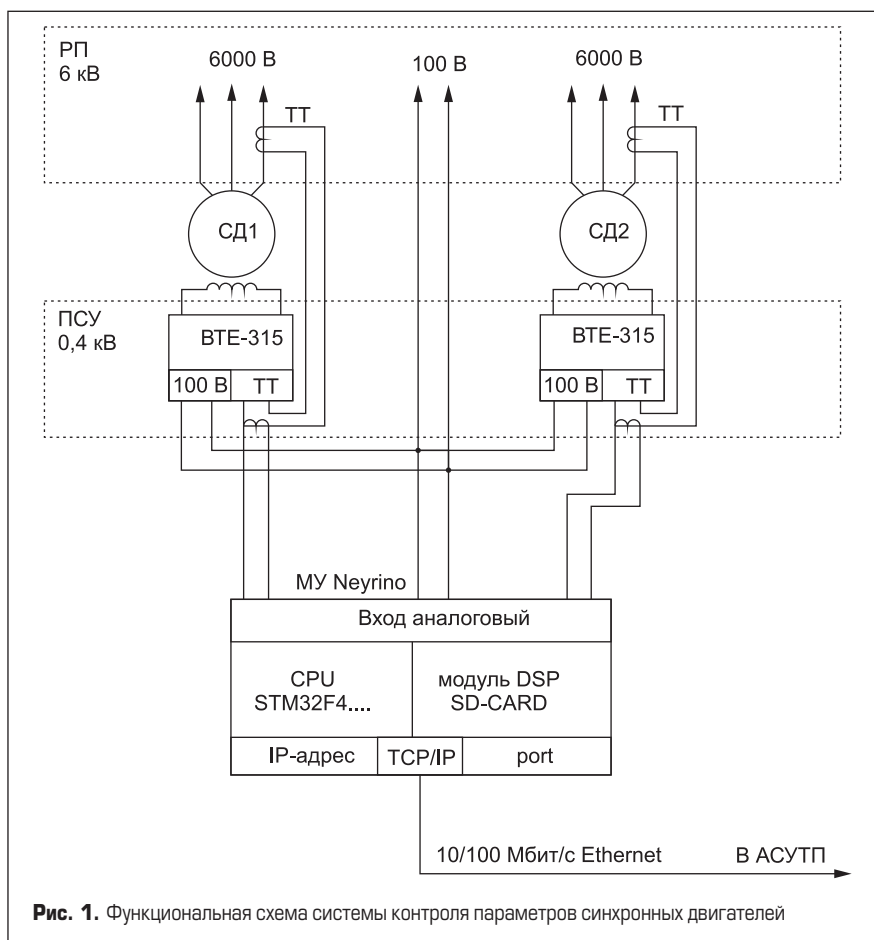
контроля параметров синхронных двигателей показана на рис. 1.

Система контроля нагрузки реализована на микропроцессорном устройстве (МУ) Neyrino, разработанном на основе микропроцессора STM32F407VGT с ядром ARM Cortex-M4 компании ST Microelectronics. Во время работы микропроцессорное устройство производит вычисления и поддерживает связь с внешней программой сбора данных с графическим интерфейсом для визуализации процесса в силовой цепи. Обмен сведениями МУ Neyrino с программой сбора данных происходит на основе сетевых протоколов передачи информации TCP/IP Ethernet 100/10M.

МУ Neyrino предназначено для использования в АСУ ТП и информационных системах, а также для функционирования в качестве устройств локальной автоматики. Neyrino работает на процессоре с ядром ARM Cortex-M4 STM32F407VGT, который представляет собой высокопроизводительный 32-битный RISC-процессор с поддержкой инструкций цифровой обработки сигналов DSP и вычислений с плавающей точкой (операции деления и умножения выполняются за один такт), что позволяет использовать его в системах измерения и регулирования привода в реальном времени. Объем флэш-памяти программ составляет 1 Мбит, оперативная память 192 кбит, частота тактирования 168 МГц. Есть возможность установки карты памяти формата microSD. Обобщенная структура микроконтроллеров STM32F4xx представлена на рис. 2.

МУ Neyrino представляет собой специализированный одноплатный микроконтроллер, созданный для выполнения задач сканирования входов, производства необходимых вычислений и передачи информации. На одной плате находятся преобразователь питания 12 В в 5 В, 3,3 В, схемы делителей и релейные выходы. Аналоговые входы обрабатываются с помощью 12-разрядного АЦП с быстродействием 2,4 MSPS (7,2 MSPS при групповой работе). Релейные выходы служат для управления технологическим оборудованием, если требуется. При помощи порта Ethernet 100/10M в устройстве реализуются функции объединения в локальную сеть. Светодиодные индикаторы «Работа» и «Питание» отображают текущее состояние устройства. Изображение печатной платы приведено на рис. 3.

Принцип функционирования микропроцессорного устройства основан на измерении аналоговыми преобразователями ADC величин тока двигателя через трансформаторы тока, напряжения высоковольтной сети с трансформатора собственных нужд 6000/100 В,



измерении интервалов времени между вектором напряжения и вектором тока синхронного двигателя с точностью до 0,01 электрического градуса и вычислении коэффициента мощности — $\cos(\phi)$. По измеренному периоду времени вычисляется частота сетевого напряжения с точностью до 0,1 Гц. После измерения значения тока, коэффициента мощности и напряжения вычисляется полная и активная мощности, потребляемые синхронным двигателем из сети. Измеренные данные отображаются на экране монитора в доступной форме (рис. 4).

Принципиальная схема преобразователей I-U и U-U датчиков построена на операционных усилителях микросхемы LM224 и показана на рис. 5. Переменное напряжение 0–3 В трансформатора тока ТТ1 поступает на мостовой выпрямитель на диодах D1–D4. Сопротивление R35 является нагрузкой и формирует нагрузочную характеристику трансформатора тока ТТ1. Падение напряжения на R35 является входным для преобразователя ток-напряжение I-U датчика тока ДТ1, выполненного на ОУ DA1.1.

Выход DA1.1 подключен на аналоговый вход IN_A1 STM32F407. Коэффициент усиления ДТ1 подбирают резисторы R3, R5. Другой преобразователь ток-напряжение I-U датчика тока ДТ2 для трансформатора ТТ2 выполнен по аналогичной схеме на ОУ DA1.3. Коэффициент усиления ДТ2 подбирают резисторы R25, R27. Датчик напряжения представляет собой понижающий трансформатор Тг со 100 до 10 В, мостовой выпрямитель на диодах D9–D12, делитель напряжения на резисторах R34, R39 и ОУ DA2.1, выход которого соединен с аналоговым входом IN_A3 STM32F407. Коэффициент усиления датчика напряжения (ДН) устанавливается резисторами R14, R16. Для каждого из датчиков тока и напряжения ДТ1, ДТ2, ДН есть свой компаратор КП1, КП2, КП3 для обнаружения перехода переменного напряжения через ноль. Прямоугольные синхроимпульсы, которые формируются на ОУ DA2.2 компаратора КП3, являются точкой отсчета для измерений периода времени напряжения, отсчета времени между напряжением и токами фаз, синхроимпульсы которых формируются операционными усилителями ОУ DA1.2 КП1 и ОУ DA1.4 КП2. Выходы компараторов КП1–КП3

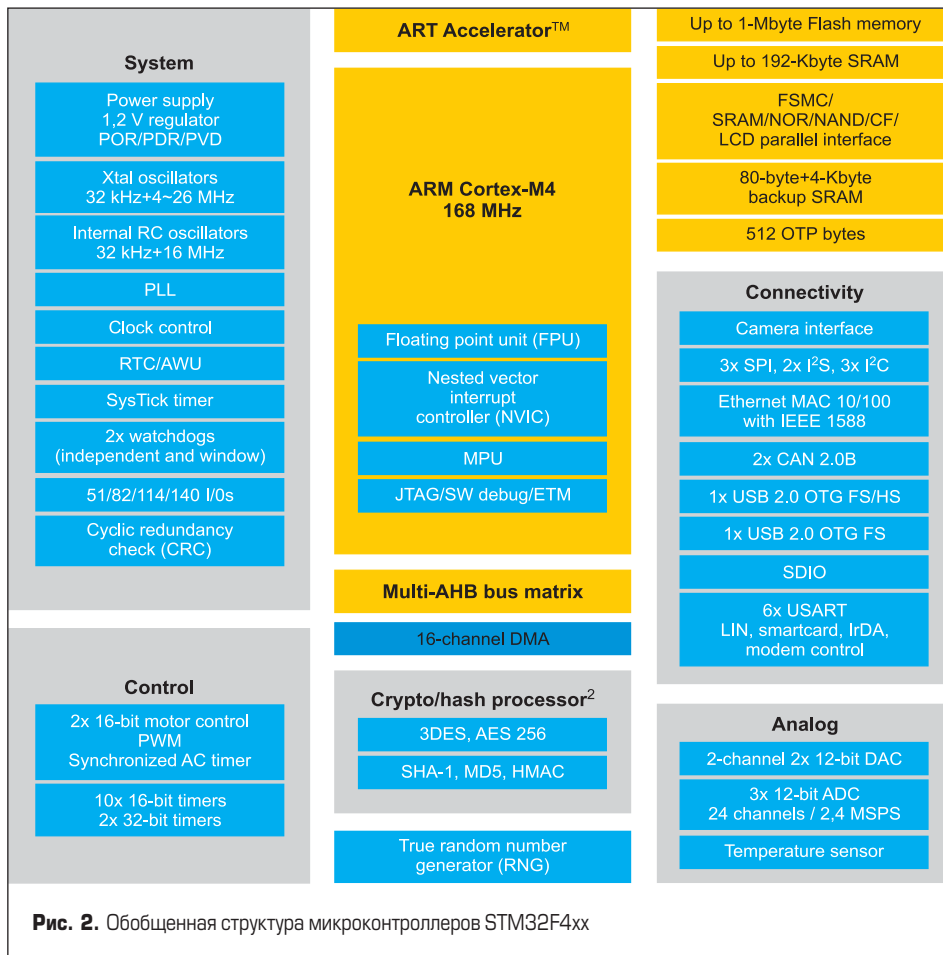


Рис. 2. Обобщенная структура микроконтроллеров STM32F4xx

подключены на дискретные входы IN_D 1–3 микроконтроллера. По положительному фронту каждого входного сигнала происходит прерывание в STM32F407, вызывающее функции вычисления разницы между током и напряжением или вычисления частоты. По величине напряжения на аналоговых входах IN_A 1-3 микроконтроллера определяется среднеквадратичное или действующее значение тока или напряжения.

Программа сбора данных реализована на платформе MS Windows. Обмен данными между программным обеспечением и микропроцессорным устройством происходит по технологии «клиент-сервер». В качестве HTTP-сервера выступает МУ Neyrino. HTTP-сервер отвечает на запросы со стороны клиента.

При этом клиентов может быть много, вот почему поддерживается мультиподключение. Графический интерфейс окна клиента показан на рис. 6. HTTP-сервер осуществляет связь с клиентом через клиентский и серверный сокет, с установленным IP-адресом и номером порта. Каждые 150 мс происходит запись текущих значений измерения на карту памяти формата microSD, установленную на плате устройства. Общее количество информации, записанной на карту, зависит от размера памяти (от 24 часов и более). При интервале записи в 150 мс в течение 24 часов потребуются 256 Мбайт памяти на карте SD. Входные и расчетные данные могут быть отображены в виде графиков и записаны для построения трендов и другой аналитической обработки.



Рис. 3. Внешний вид печатной платы

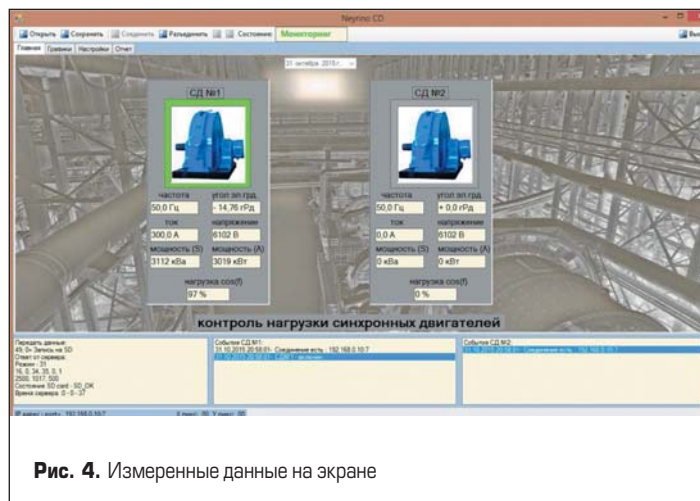


Рис. 4. Измеренные данные на экране

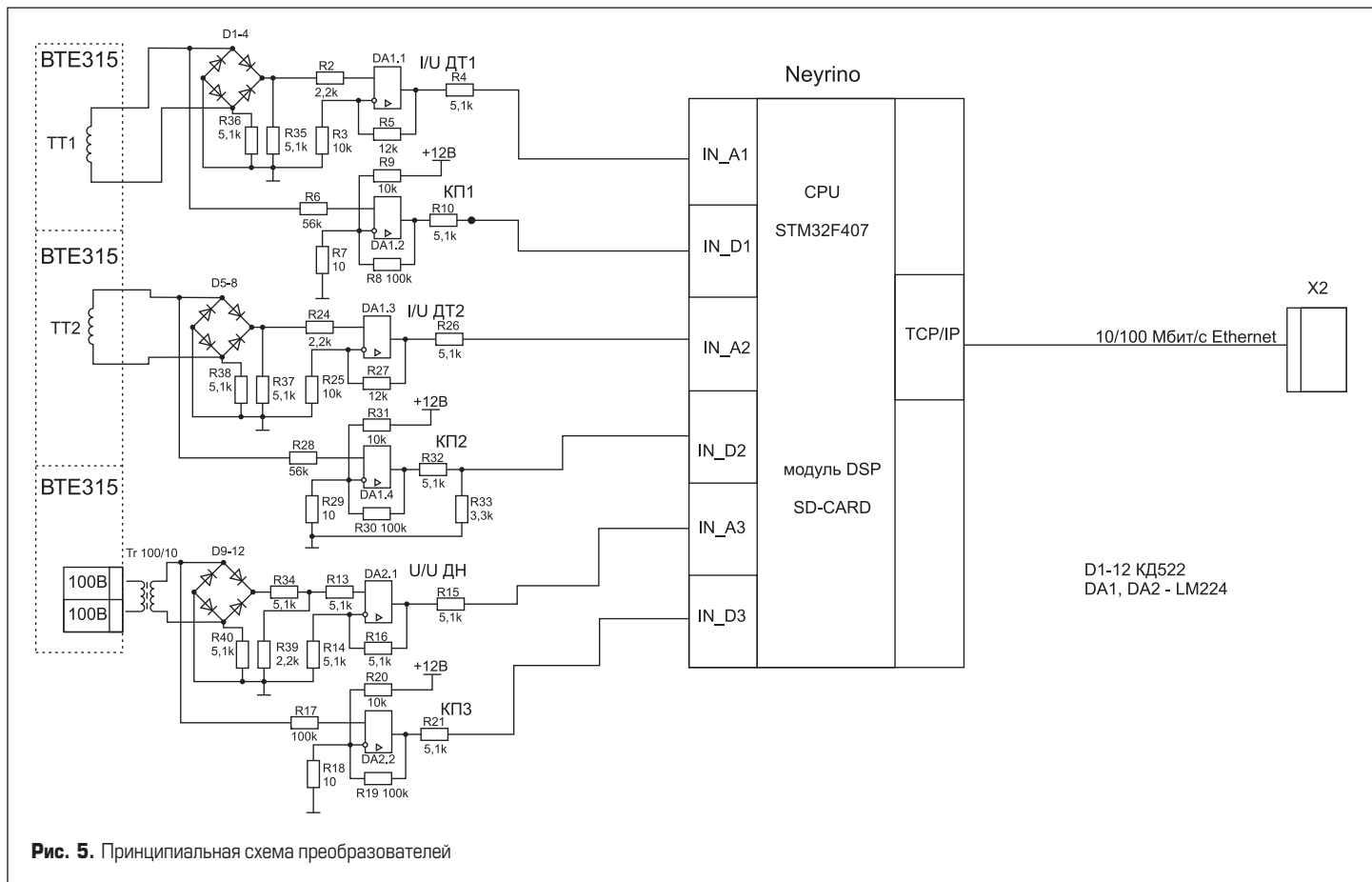


Рис. 5. Принципиальная схема преобразователей

На графике (рис. 6) показан момент включения высоковольтного (6000 В) синхронного двигателя мощностью 1250 кВт в сеть после пуска и разгона тиристорным устройством плавного пуска. Переключение с тиристорного устройства плавного пуска на питание от сети 6000 В происходит, когда скорость двигателя будет немного больше номинальной и есть синхронизация фаз обоих источников питания.

Также в МУ Neyrino реализован веб-сервер, который вместе с HTTP-сервером является частью пакета программ, разработанного на уровне lwIP-стека TCP/IP с открытым исходным кодом, созданного разработчиками компании ST Microelectronics и предназначенного для встраиваемых систем. Для доступа к Ethernet используется микросхема Ethernet PHY (физического уровня) серии LAN8720 с интерфейсом RMII. Для взаимодействия

веб-сервера с клиентами по сети формируются MAC-адрес, IP-адрес, шлюз, маска сети и номер порта, на котором работает сервер. Данные параметры сети для веб-сервера такие же, как у HTTP-сервера. При формировании странички, которую должен отображать браузер, реализуются SSI- и CGI-обработчики. CGI (Common Gateway Interface — общий интерфейс шлюза) — стандарт интерфейса, используемый для связи внешней программы с веб-сервером. Интерфейс CGI осуществляет связь между веб-сервером и браузером пользователя с динамически обновляемой информацией. Для отправки информации браузеру применяется технология SSI (Server Side Includes — включения на стороне сервера), осуществляющая сборку веб-страницы на сервере и выдачу клиенту отдельных частей полученного HTML-документа.

Для подключения к веб-серверу Neyrino не нужно специализированного программного обеспечения — достаточно любого веб-браузера. На странице веб-сервера можно наблюдать состояние переменных объектов измерения (рис. 7). Доступны значения: ток двигателя, мощность двигателя, коэффициент мощности, значение напряжения сети. Данные на странице веб-сервера обновляются каждую секунду.

Представленная система измерения является эффективным методом автоматизированного контроля динамических процессов. Дружелюбность человеко-машинного интерфейса (HMI) и его удобство, полнота и наглядность представляемой на экране информации — все это повышает эффективность взаимодействия пользователя с технологической системой.

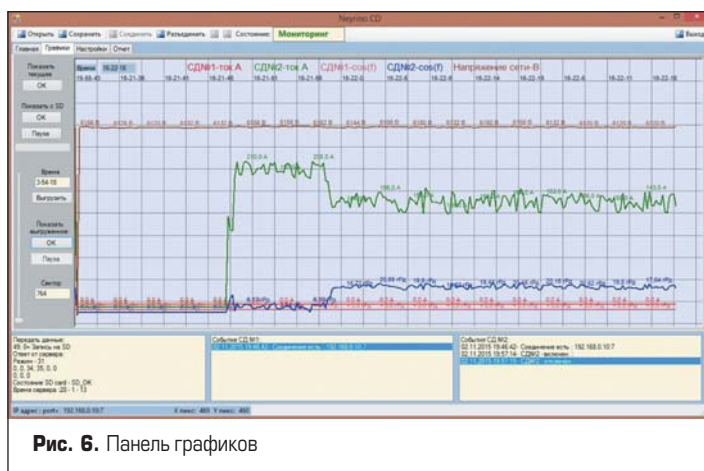


Рис. 6. Панель графиков

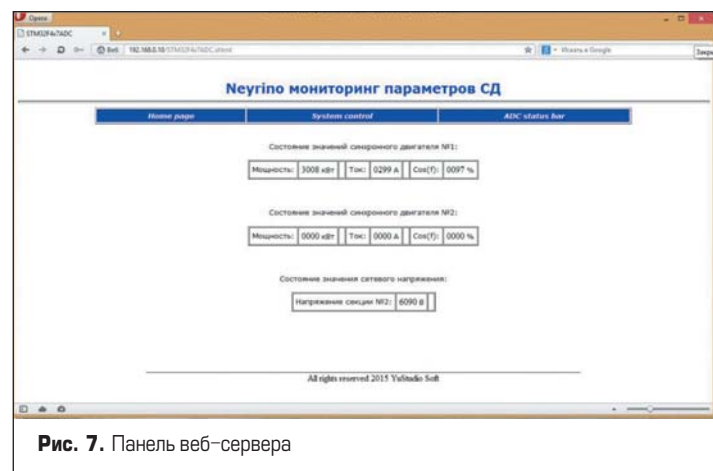


Рис. 7. Панель веб-сервера