УДК 621.313

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА STM32F4

В. О. Квашнин, А. В. Бабаш
Донбасская государственная машиностроительная академия

Аннотация. *Для повышения точности определении угловой скорости асинхронного электродвигателя использовались программно-аппаратные средства микроконтроллера STM32F4, такие как режим захвата-сравнения каналов встроенного таймера. Представлен алгоритм настройки таймера микроконтроллера для захвата сигнала. Приведены и описаны разработанные программные средства для сбора данных измерений и их визуализации в виде переходной скоростной характеристики.*

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, захват-сравнение, канал таймера, импульсный датчик, угловая скорость, алгоритм.*

Введение

При разработке математических моделей и построения самих электроприводов возникает необходимость в точном определении мгновенных значений угловой скорости для различных режимов его работы (пуска, холостого хода, при работе под нагрузкой, торможении).

Определение динамических параметров, таких как угловое ускорение, динамический момент, момент инерции асинхронного электродвигателя, которые необходимы для построения математических моделей и проектирования асинхронных электроприводов, требует определенных эффективных и точных средств измерений и методик обработки полученной информации, которые в каждом конкретном случае могут быть оригинальными и иметь свои особенности [1-6].

Определение угловой скорости электродвигателя в этом случае производилось по методике [7]. Для сбора данных и осуществления измерений использовалось специализированное измерительное устройство АЦП L-Card. Однако в последствии оказалось, что точность определения скорости была недостаточной для дальнейшего решения ряда задач по разработке математических моделей и построения самих электроприводов.

Поэтому целью настоящей работы являлось дальнейшее повышение точности определения угловой скорости асинхронного электродвигателя. Для этого необходимо было решить ряд задач: 1) подобрать альтернативное оборудование; 2) разработать методику обработки данных, получаемых от него; 3) провести сопоставительную оценку полученных результатов.

Материалы исследований

Если условно считать, что для большинства АД жесткость статической механической характеристики составляет 2 %, то есть определение установившегося значения скорости вращения асинхронного двигателя (АД) на рабочем участке осуществляется с точностью хотя бы в 0,1 %

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0 - \omega_н}{20 \cdot \omega_0} \cdot 100\% = \frac{2}{20} = 0{,}1\% \qquad (1)$$

то ошибка по моменту будет находиться на уровне 5 %

$$\Delta M = \frac{M_н - 0}{20 \cdot M_н} \cdot 100\% = \frac{1 \cdot 100}{20} = 5\% \qquad (2)$$

С одной стороны, точность косвенного определения значения момента собственных механических потерь на трение, представляющего собой момент холостого хода в АД – $M_{хх}$, по измеренному соответствующему значению его угловой скорости холостого хода с точностью не менее 0,1 %, будет находиться в 5 % зоне допустимой ошибки по моменту. При этом, сам реальный момент механических потерь на трение, т.е. $M_{хх}$ не превышает 5 % номинального момента $M_н$.

С другой стороны, значение скорости вращения вала АД на холостом ходу – $\omega_{хх}$, может отличаться от синхронной скорости ω_0 всего лишь на сотые доли процента (0,01 – 0,05) % (рис. 1).

© Квашнин В. О., Бабаш А. В., 2017

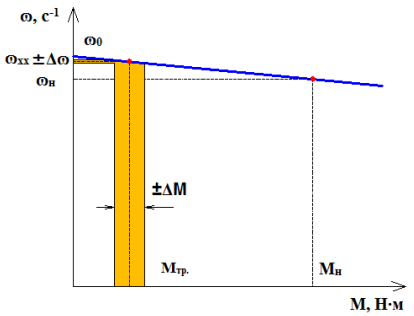

Рис. 1. Рабочий участок статической механической характеристики асинхронного электродвигателя

Изначально, угловая скорость исследуемого асинхронного электродвигателя, паспортные данные которого [8] представлены в таблице 1, экспериментально определялась при помощи устройства сбора данных АЦП L-Card.

Таблица 1

Паспортные данные асинхронного электродвигателя АИР56А4У3

$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А	$\eta_н$, %	$\cos\varphi_н$
0,12	1350	0,5	57	0,66
$I_п/I_н$	$M_п/M_н$	$M_{max}/M_н$	J, кг·м²	m, кг
5	2,2	2,2	0,0007	3,6

Результаты определения $\omega_{хх}$, при различной частоте дискретизации АЦП L-Card сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты исследований динамических скоростных характеристик

f, кГц	$\omega_{уст.\ ср.ар.}$, $с^{-1}$	$\omega_{уст.\ ср.кв.}$, $с^{-1}$	$\omega_{уст.\ ср.гарм.}$, $с^{-1}$	ω_0, $с^{-1}$
100	157,739	157,739	157,739	157,07
200	157,202	157,202	157,202	
400	157,010	157,010	157,010	

Значение синхронной скорости для рассматриваемого АД составляет ω_0 = 157,070 $с^{-1}$. Установившееся значение скорости холостого хода для указанного двигателя при обработке сигнала, снимаемого с датчика скорости ПДФ5 (600 имп/об) при помощи АЦП L-Card 440 на частоте 100 кГц, составило $\omega_{хх.}$ = 157,74 $с^{-1}$, что противоречило ожидаемому результату $\omega_{хх.} < \omega_0$. Это объясняется потерей информации при преобразовании аналогового сигнала импульсного датчика скорости в цифровой сигнал при помощи АЦП.

При обработке сигнала на частоте 200 кГц удалось добиться уменьшения данного противоречия, т.е. $\omega_{хх.}$ = 157,20 $с^{-1}$ < 157,74 $с^{-1}$, но при этом все равно получаемая скорость холостого хода оставалась выше синхронной $\omega_{хх.} > \omega_0$.

Только лишь на частоте 400 кГц удалось получить удовлетворительный результат $\omega_{хх.}$ = 157,01 $с^{-1}$ < 157,07 $с^{-1}$ с которым можно было бы уже и согласиться. Однако, его желательно было бы подтвердить используя другие аппаратные средства в виде более точного АЦП. Кроме того, использование в качестве АЦП L-Card 440 при синхронизации нескольких обрабатываемых сигналов (тока, напряжения, частоты) требует уменьшения частоты обработки каждого измеряемого параметра, кратного количеству измеряемых параметров. К тому же для L-Card 440 максимальная частота обработки сигналов составляет 400 кГц.

Для более точного измерения были использованы возможности микроконтроллера STM32F4, которые позволяют производить измерения на частоте 1 МГц и выше. Микроконтроллер имеет большое количество встроенных таймеров, которые могут работать в режиме захвата-сравнения внешних сигналов.

Таким образом, возможности таймеров могут быть использованы для измерения периода импульсного сигнала датчика скорости (энкодера). Для получения характеристики переходного процесса угловой скорости асинхронного электродвигателя в зависимости от времени на основе экспериментально полученных данных, применялась усовершенствованная методика определения угловой скорости.

Каналы таймеров микроконтроллера STM32F4 могут использоваться для захвата сигнала. Захват может происходить по возрастающему фронту, по спадающему или по обоим фронтам. Режимы работы захвата сигналов программно настраиваются при разработке программы для прошивки в микроконтроллер.

При наступлении события захвата сигнала содержимое счетного регистра таймера переносится в его регистр захвата-сравнения. После из регистра захвата-сравнения данные необходимо перенести в переменную. Таким образом, при каждом событии захвата сигнала в специальных переменных сохраняется значение количества тактов таймера.

Путем вычитания количества тактов таймера текущего захвата и предыдущего (захват должен в таком случае быть настроен по нарастающим или по спадающим фронтам) можно получить

значение периода сигнала в количестве тактовых импульсов.

Зная длительность одного такта, несложно определить весь период сигнала.

$$T_{сигнала} = N_{тактов} \cdot \Delta t_{т}, \qquad (3)$$

$T_{сигнала}$ – период сигнала; $N_{тактов}$ – период в тактовых импульсах; $\Delta t_{т}$ – длительность одного такта таймера в секундах.

$$\Delta t_{т} = \frac{T}{ARR_VAL}, \qquad (4)$$

T – период таймера в секундах; ARR_VAL – значение регистра таймера ARR.

Для расчета угловой скорости, измеренной при помощи импульсного датчика ПДФ5 (600 импульсов за оборот) использовались расчетные соотношения для преобразования исходных массивов данных скорости в читабельные, удобные для восприятия единицы измерения (c^{-1}).

Графическая иллюстрация захвата сигнала по возрастающим фронтам приведена на рис. 2.

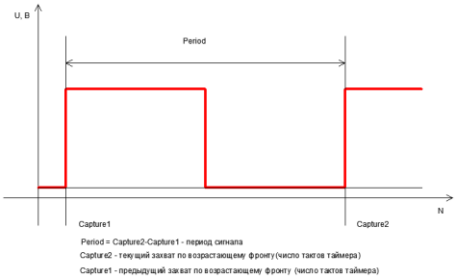

Рис. 2. Захват сигнала и определение его периода

Импульсные сигналы с датчика скорости преобразовываются в массивы количества тактов таймера микроконтроллера STM32F4. Сбор данных в файл осуществляется посредством разработанного приложения на языке C# в среде SharpDevelop через интерфейсный преобразователь USB-UART (рис. 3).

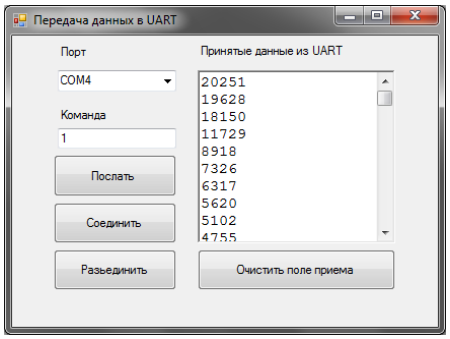

Рис. 3. Разработанное приложение для сбора данных

Для настройки таймера микроконтроллера STM32F4 в режим захвата импульсного сигнала и произведения измерений был разработан следующий алгоритм (рис. 4).

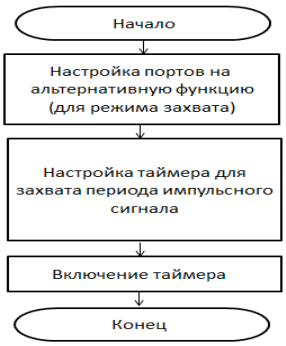

Рис. 4. Алгоритм настройки периферийных устройств микроконтроллера STM32F4 для осуществления измерений

В начале нужно настроить соответствующие порты ввода-вывода (каналы таймера) на альтернативную функцию, т.е. чтобы встроенный таймер мог использовать эти порты для захвата периода импульсных сигналов. Далее настраивается сам таймер на захват сигнала. После его необходимо включить.

Массив данных впоследствии может быть обработан при помощи методики, которая реализована в виде приложения, разработанного на любом языке программирования высокого уровня.

Одной из задач в данной работе является представление модернизированной методики определения угловой скорости в виде расчетных математических соотношений.

Шаг угла поворота датчика скорости при прохождении «светлого» и «темного» участка диска датчика скорости определяется расчетным соотношением.

$$\Delta\varphi = \frac{2 \cdot \pi}{N} \qquad (5)$$

где N – число импульсов датчика скорости.

Заданное число итераций фильтрации скорости $N_{и\omega}$ определяет сколько раз будет осреднен рассчитанный массив данных угловой скорости.

Массив данных угловой скорости, определяется следующим расчетным соотношением.

$$\omega_{j} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (6)$$

где Δt – приращение времени на определенном участке. Приращение времени на определенном участке определяется при помощи соотношения (3). При расчете исследуемой угловой скорости при помощи соотношения (6), график переходного процесса получается кодированным и требует дальнейшего осреднения для получения удовлетворительного представления исследуемой величины. Поэтому в предлагаемой методике используется осреднение при помощи расчета средних значений – среднего арифметического или среднего квадратичного. Соответствующие

расчетные соотношения, для определения данных величин, имеют следующий вид:

$$\omega_{ср.ар.i} = \frac{\omega_i + \omega_{i-1} + \omega_{i+1}}{3}, \qquad (7)$$

$$\omega_{ср.кв.i} = \sqrt{\frac{\omega_i^2 + \omega_{i-1}^2 + \omega_{i+1}^2}{3}}. \qquad (8)$$

Для расчета осредненных значений (среднеарифметического, квадратичного, гармонического) на определенном интервале участка переходного процесса угловой скорости – $[t_1,t_2]$, используются следующие расчетные соотношения.

$$\omega_{ср.ар.t1t2} = \frac{S_{ср.ар.}}{N_{ср.}}, \qquad (9)$$

$$\omega_{ср.кв.t1t2} = \sqrt{\frac{S_{ср.кв.}}{N_{ср.}}}, \qquad (10)$$

$$\omega_{ср.гарм.t1t2} = \frac{N_{ср.}}{S_{ср.гарм.}}. \qquad (11)$$

где $N_{ср.}$ – число осредняемых элементов массива угловой скорости.

Суммы среднеарифметического, среднеквадратичного, среднегармонического осреднения описываются выражениями

$$S_{ср.ар.} = \sum_{j=1}^{N_{ср.}} \omega_{ф_j},$$

$$S_{ср.кв.} = \sum_{j=1}^{N_{ср.}} \omega_{ф_j}^2, \qquad (12)$$

$$S_{ср.гарм.} = \sum_{j=1}^{N_{ср.}} \frac{1}{\omega_{ф_j}}.$$

Для осуществления измерений периода сигнала импульсного датчика средствами микроконтроллера STM32F4 необходимо провести программные настройки портов ввода вывода на альтернативную функцию захвата импульсов.

Настройка режима захвата по заднему фронту и выводов таймеров на альтернативную функцию [9,10,11] приведены на рис. 5,6 соответственно.

```
// Настройка таймера на захват сигнала

    TIM_ICInitTypeDef timer_ic;
    timer_ic.TIM_Channel = TIM_Channel_4;
    timer_ic.TIM_ICPolarity = TIM_ICPolarity_Falling;
    timer_ic.TIM_ICSelection = TIM_ICSelection_DirectTI;
    timer_ic.TIM_ICPrescaler = TIM_ICPSC_DIV1;
    timer_ic.TIM_ICFilter = 4;
    TIM_ICInit(TIM2, &timer_ic);
```

Рис. 5. Выбор режима захвата (по заднему фронту)

```
    // Инициализация портов ввода-вывода таймера

    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);
    gpio_init.GPIO_Pin = GPIO_Pin_3 ;
    gpio_init.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF ;
    gpio_init.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz ;
    gpio_init.GPIO_OType = GPIO_OType_PP ;
    gpio_init.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL ;
    GPIO_Init(GPIOA, &gpio_init) ;

    // Настройка вывода таймера на альтернативную функцию захвата
    GPIO_PinAFConfig(GPIOA, GPIO_PinSource3, GPIO_AF_TIM2) ;
```

Рис. 6. Настройка выводов таймера на альтернативную функцию захвата сигнала

Захват периода импульсного сигнала, происходящий по прерыванию таймера по захвату, представлен в виде фрагмента программного кода на языке С (рис. 7).

```
// Прерывание по захвату сигнала

if (TIM_GetITStatus(TIM2, TIM_IT_CC4) != RESET) {

    TIM_ClearITPendingBit(TIM2, TIM_IT_CC4);

// Сначала игнорируем два измерения (иначе измерения могут быть некорректными)

    if(capture_ignore == 2)
    {

        capture_is_ready = 1;

    }

    if(capture_ignore == 1)
    {
        capture2 = TIM_GetCapture4(TIM2);
    }
```

Рис. 7. Обработка прерывания захвата периода импульсного сигнала

Программная реализация измерения периода импульсного сигнала приведена на рис.8.

```
main.c   stm32f4xx.h   misc.h   stm32f4xx_tim.h   stm32f4xx_it.h

    NVIC_DisableIRQ(TIM2_IRQn);

    // Запоминаем предыдущее измерение и считываем текущее

    capture1 = capture2;
    capture2 = TIM_GetCapture4(TIM2);

    // Вычисляем период

    if(capture1<capture2)

{

        period = capture1 - capture2;
        arr[ii]=period;
        ii++;

}

    else

{

        period = capture2 - capture1;
        arr[ii]=period;
        ii++;
```

Рис. 8. Измерение периода импульсного сигнала

Результаты измерений угловой скорости посредством программно-аппаратных средств микроконтроллера STM32F4, а именно с использованием режима захвата импульсных сигналов при помощи встроенного таймера приведены на рис. 9.

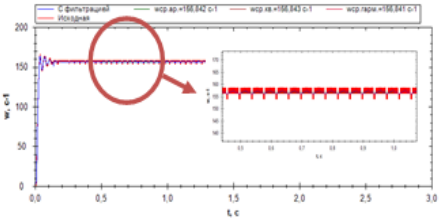

Рис. 9. Зависимость изменения угловой скорости холостого хода во времени, определенная при помощи микроконтроллера STM32F4

Измерения при помощи микроконтроллера производились на частоте тактирования таймера равной 1 МГц. Результаты обработки значений измеренной угловой скорости холостого хода АД сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты обработки значений угловой скорости, измеренной на холостом ходу средствами микроконтроллера STM32F4

№ п/п	$\omega_{уст.\ ср.ар.}$, $с^{-1}$	$\omega_{уст.\ ср.кв.}$, $с^{-1}$	$\omega_{уст.\ ср.гарм.}$, $с^{-1}$	ω_0, $с^{-1}$
1	156,842	156,843	156,841	157,07
2	156,816	156,816	156,816	

3	156,818	156,819	156,818	

Из табл. 3 следует, что значение установившейся угловой скорости холостого хода двигателя АИР56А4У3, находится на уровне ω_{xx}=156,825±0,007 c^{-1}.

Для оценки полученных результатов по определению угловой скорости холостого хода АД с использованием микроконтроллера STM32F4 были произведены измерения с использованием осциллографа Rigol DS5022M. Данное устройство имеет максимальную частоту дискретизации 25 МГц, что позволяет с большой точностью определить период импульсного сигнала энкодера. Результат измерений приведен на рис. 10 в виде осциллограммы.

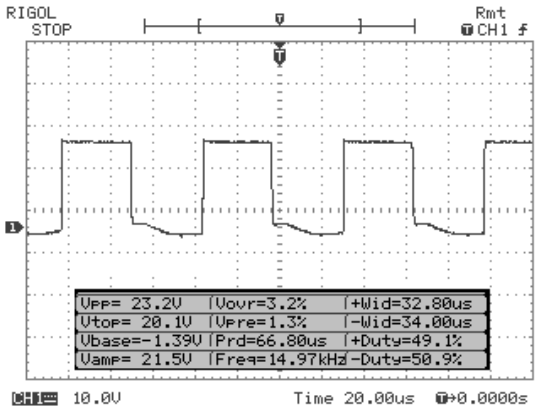

Рис. 10. Осциллограмма импульсного сигнала энкодера

Частота импульсного сигнала, измеренная при помощи осциллографа, составляет 14,97 кГц. Период импульсного сигнала Δt составляет $6{,}68\cdot10^{-5}$ с. Посредством подстановки полученных экспериментальных данных в выражения (5) и (6) определяется угловая скорость реального холостого хода и она будет равна ω_{xx}=156,77 c^{-1}.

Измерения при помощи осциллографа, подтверждают корректность работы предложенной методики измерения угловой скорости с использованием микроконтроллера STM32F4. Расхождение полученных результатов установившегося значения скорости холостого хода, при измерении осциллографом и посредством микроконтроллера STM32F4 составляет менее 0,05 %, а сама ошибка по точности определения угловой скорости не превышает 0,005 %. При этом, ошибка в точности косвенного определения момента, развиваемого АД в процессе работы, не будет превышать 0,25 %.

Выводы

Таким образом, в результате выполненной работы выполнено следующее: 1) определено оборудование, на основе элементной базы микроконтроллера STM32F4, которое позволяет с программируемой наперед заданной точностью (на примере угловой скорости вращения) определять необходимые параметры исследуемого электропривода; 2) разработан алгоритм и реализована программа по настройке выводов таймера на альтернативную функцию захвата сигнала и выбору режима захвата; 3) описана процедура программирования микроконтроллера STM32F4 и его настройка, направленная на решение задачи обработки информации, поступающей из датчика скорости, реализованного на основе импульсного фотодатчика угла поворота ПДФ5; 4) получено конкретное техническое решение на основе программируемого контроллера STM32F4; 5) результаты исследований обработаны и проанализированы в сопоставлении с аналогичными, полученными альтернативным путем – на основе электронного осциллографа Rigol DS5022M; 6) хорошее схождение полученных результатов по измерению установившейся скорости (ошибка не более 0,05 %) позволяет производить измерения скорости с ошибкой не более 0,005 %; 7) высокая точность измеряемой скорости позволяет осуществлять косвенное определение момента, развиваемого АД с удовлетворительной точностью (ожидаемая погрешность не более 0,25 % от номинального момента).

Список использованной литературы

1. Квашнин, В. О. Разработка алгоритма и программы для получения динамической скоростной характеристики / В. О. Квашнин, А. В. Бабаш [Текст] Научный вестник ДГМА № 3 (21Е), 2016.- с. 165-175

2. Kennel, R.M. Why do incremental encoders do a reasonable good job in electrical drives with digital control [Text] Proceedings of the 41st IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Tampa, FL, USA, Volume 2, 8-12 October, 2006, pp. 925-930

3. Petrella, R., Tursini, M., Peretti, L., M Speed measurement algorithms for low-resolution incremental encoder equipped drives: a comparative analysis / R. Petrella, M. Tursini, L. Peretti [Text] (2007, September). Electrical Machines and Power Electronics, 2007, ACEMP'07. International Aegean Conference on IEEE, pp. 780-787,url:http://scihub.bz/e59355bf6a2134df832c9b32443db4ad/petrella2007.pdf

4. Petrella, R., Tursini, M. An embedded system for position and speed measurement adopting

incremental encoders / R. Petrella, M. Tursini [Text] (2008). Industry Applications, IEEE Transactions on, 44(5), pp. 1436-1444

5. Kavanagh, R. C. Improved digital tachometer with reduced sensitivity to sensor nonideality [Text] (2000). Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 47 (4), pp. 890-897

6. Arabaci, H., Bilgin, O. A novel motor speed calculation method using square wave speed sensor signals via fast Fourier transform / H. Arabaci, O. Bilgin [Text] (2012). Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 20, pp. 1090-1099, doi:10.3906/elk-1102-1038

7. Квашнин, В. О., Методика определения динамических скоростной и токовой характеристик асинхронного электропривода / В.О. Квашнин, А.В. Бабаш [Текст] Электротехнические и компьютерные системы № 19 (95), 2015, с. 28-32

8. Кравчик, А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская [Текст] – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 380 с.

9. DM00039084 User manual. [Electronic resource] – Availble at: URL: http://www.st.com/st-web ui/static/active/en/resource/technical/document/user_manual/DM00039084.pdf

10. DM00031020 Reference manual. [Electronic resource] – Available at: URL: http://www.st.com/st-web ui / static / active / en / resource / technical / document / reference_manual / DM00031020.pdf

11. Kvashnin, V. Generating PWM by using microcontroller Stm32F4discovery / V. Kvashnin, A. Babash [Text] Electrotechnic and computer systems № 22 (98), 2016, pp. 277-283

References

1. Kvashnin, V. O., Babash, A. V. (2016) The dynamic angular speed characteristic algorithm and program development [Razrabotka algoritma I programi dlya polucheniya dinamicheskoy skorostnoy harakteristiki] Nauchniy vestnik DGMA №3 (21E). –pp. 165-175 (in Russian)

2. Kennel, R.M. (2006) Why do incremental encoders do a reasonable good job in electrical drives with digital control, Proceedings of the 41st IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Tampa, FL, USA, Volume 2, 8-12 October, pp. 925-930. (in English)

3. Petrella, R., Tursini, M., Peretti, L., (2007) M Speed measurement algorithms for low-resolution incremental encoder equipped drives: a comparative analysis. Electrical Machines and Power Electronics, 2007, ACEMP'07. International Aegean Conference on IEEE, pp. 780-787, url: http://scihub.bz/e59355bf6a2134df832c9b32443db4ad/petrella2007.pdf (in English)

4. Petrella, R., Tursini, M. (2008) An embedded system for position and speed measurement adopting incremental encoders. Industry Applications, IEEE Transactions on, 44(5), pp. 1436-1444. (in English)

5. Kavanagh, R. C. (2000) Improved digital tachometer with reduced sensitivity to sensor nonideality, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 47 (4), pp. 890-897. (in English)

6. Arabaci, H., & Bilgin, O. A (2012) novel motor speed calculation method using square wave speed sensor signals via fast Fourier transform Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 20, pp. 1090-1099, doi:10.3906/elk-1102-1038. (in English)

7. Kvashnin, V.O., Babash, A.V. Development of determining dynamic rotary speed and current characteristics methods of asynchronous electrical drive [Metodika opredeleniya dinamicheskih skorostnoy i tokovoy harakteristik asinhronnogo elektroprivoda] Elektrotehnicheskie I kompyuternie sistemi № 19 (95), 2015, pp. 28-32 (In Russian)

8. Kravchik, A. E. (1982) Induction motors series 4A. Directory [Asinhronnie dvigateli serii 4A. Spravochnik] / A. E. Kravchik, M. M. Shlaf, V. I. Afonin, E. A. Sobolevskaya M.: Energoatomizdat, 1982. – pp. 277 (in Russian)

9. DM00039084 User manual (In English) – Available at: URL: http://www.st.com/st-web ui/static/active/en/resource/technical/document/user_manual/DM00039084.pdf.

10. DM00031020 Reference manual (In English) – Available at: URL: http://www.st.com/st-web ui / static / active / en / resource / technical / document / reference_manual / DM00031020.pdf.

11. Kvashnin, V., (2016) Generating PWM by using microcontroller Stm32F4discovery / V. Kvashnin, A. Babash Electrotechnic and computer systems № 22 (98), pp. 277-283 (in English)

AN INDUCTION MOTOR ANGULAR SPEED ACCURACY INCREASING BY USING MICROCONTROLLER STM32F4 SOFTWARE AND HARDWARE FEATURES

V. O. Kvashnin, A. V. Babash,
Donbass State Engineering Academy

Abstract. *For more accurately the angular speed determining of an induction motor, the features of the STM32F4 microcontroller, such as the capture-comparison mode of the built-in timer channels, was used. The results of measurements using the L-Card device were compared and analyzed, with the data obtained by the microcontroller STM32F4.The tuning algorithm of STM32F4 microcontroller timer capture-compare mode for measurement implementation is given in this article. The induction motor AIR56A4U3 nameplate data are given here. The calculated ratios of the modernized method for determining the angular velocity of the engine by using the STM32F4 features are given, and an algorithm for its measurement is described. The measurements of encoder pulse signal period by means of electronic oscilloscope DS5022M are given in this article. The results of angular velocity measurements by means of L-Card and STM32F4 microcontroller are given in a form of tables. The induction motor angular speed measurement deviations are considered here. Corresponding encoder pulse signal oscillogram is given here. The developed software for data acquisition and visualization in the form of a transient speed characteristic is considered here. The results of STM32F4 microcontroller measurements are given in a form of angular speed transient process diagram are given in this article.*

Key words: *induction motor, capture-compare, timer channel, pulse sensor, angular speed, algorithm.*

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХЗАСОБІВ МІКРОКОНТРОЛЕРА STM32F4

В. О. Квашнін, А. В. Бабаш
Донбаська державна машинобудівна академія

Анотація. *Для підвищення точності визначення кутової швидкості асинхронного електродвигуна використовувалися програмно-апаратні засоби мікроконтролера STM32F4, такі як режим захоплення-порівняння каналів вбудованого таймера. Представлений алгоритм налаштування таймера мікроконтролера для захоплення сигналу. Наведено і описано розроблені програмні засоби для збору даних вимірів та їх візуалізації у вигляді перехідної швидкісної характеристики.*

Ключові слова: *асинхронний двигун, захоплення-порівняння, канал таймера, імпульсний датчик, кутова швидкість, алгоритм.*

Получено 10.05.2017

Квашнин Валерий Олегович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханические системы автоматизации» Донбасской государственной машиностроительной академии. ул. Шкадинова, 76, Краматорск, Украина, E-mail: v.kvashnin@mail.ru, тел. (0626) 41-68-93, +38 (050) 989-77-01

Valeriy Kvashnin, Candidate of Technical Sciences, Docent, Lecturer, Department of Electromechanical systems of automation and electric drive, Donbass State Engineering Academy, Shkadinova st., 76, Kramatorsk, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-8171-9794

Бабаш Андрей Владиславович, ассистент кафедры «Компьютерные информационные технологии» Донбасской государственной машиностроительной академии. ул. Шкадинова, 76, Краматорск, Украина, E-mail: babash.andrey@mail.ru, тел. (0626) 41-68-93, +38 (095) 538-04-17

Babash Andrey, assistant Department of Computer Informational Technologies, Donbass State Engineering Academy, Shkadinova st., 76, Kramatorsk, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-7883-1459