

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

AUTOMATIC CONTROL
AND IDENTIFICATION

УДК 681.518.22+681.518.5: 621.313.333

Измерение координат асинхронного двигателя в цифровых информационно-управляющих системах*

В.Ю. ОСТРОВЛЯНЧИК¹, И.Ю. ПОПОЛЗИН²

¹ 654007, РФ, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и промышленной электроники.
E-mail: viktor.ostrovlyanchik@yandex.ru

² 654007, РФ, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, Сибирский государственный индустриальный университет, аспирант. E-mail: eidoline@yandex.ru

В настоящее время все большее распространение получают асинхронные электроприводы. Для них важны задачи идентификации и измерения, особенно это касается электроприводов горно-металлургического производства. В данной работе приводится описание структуры канала измерения цифровой информационно-управляющей системы (ИУС) автоматизированного электропривода и его функциональная и структурная схемы; сформулировано общее условие адекватности измерительной информации. Показаны процессы анализа и синтеза информации в канале измерения; приведено выражение, позволяющее учитывать влияние помех на канал измерения. Приведена и описана функциональная схема ИУС автоматизированного электропривода, предложены передаточные функции ее основных элементов и системы в целом. Сформулировано условие работы информационно-управляющей системы автоматизированного электропривода в режиме реального времени. Приведены выражения, позволяющие рассчитать действующее значение переменной координаты асинхронного двигателя. Приведено обоснование выбора частоты дискретизации в цифровых ИУС автоматизированного электропривода на основе значения постоянной времени, определяющей оптимальный переходный процесс в объекте. Сформулирован и приведен алгоритм измерения координат асинхронной машины в цифровой ИУС. Приведены основные типы фильтров, которые целесообразно применять при измерении координат асинхронного двигателя. Построен простейший алгоритм измерения действующего значения напряжения на статоре асинхронного двигателя.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, информационно-управляющая система, канал измерения, действующее значение, теорема Котельникова, частота дискретизации, цифровой фильтр, передаточная функция

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-4-7-20

* Статья получена 27 июля 2015 г.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизированные электроприводы (АЭП) горно-металлургического комплекса, являясь основой соответствующих технологических процессов, как правило, определяют параметры данных процессов. Важными задачами при проектировании информационно-управляющих систем для таких электроприводов являются измерение координат электропривода и его идентификация. При этом измерение и цифровая обработка переменных координат машины, таких как напряжение на статоре, особенно в динамических режимах работы, затруднено. Целью данной работы является изучение особенностей измерения и цифровой обработки переменных координат АД для дальнейшего использования результатов измерений в информационно-управляющих системах автоматизированного электропривода (ИУС АЭП) для визуализации состояния машины либо использования их значений в дальнейших расчетах для определения других координат или параметров (идентификации состояния машины).

1. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ

Согласно работе [1], объект, в котором происходят процессы сбора, передачи, анализа и синтеза информации, представляет собой коммутационную сеть. В этом случае АЭП соответствует архитектуре сети с коммутацией сообщений и зонным управлением, т. е. сети, осуществляющей прием, хранение, обработку и передачу информации. Исходя из модели данной сети, канал измерения координаты состояния АЭП можно представить в виде (рис. 1).

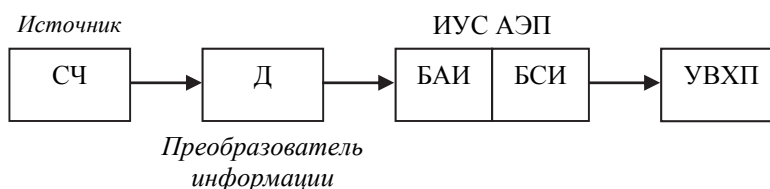


Рис. 1. Функциональная схема канала измерения:

На рис. 1 приняты следующие обозначения:

СЧ – силовая часть электропривода;

Д – датчик;

ИУС АЭП – информационно-управляющая система автоматизированного электропривода;

БАИ – блок анализа информации, поступающей от датчиков;

БСИ – блок синтеза новой информации;

УВХП – устройство вывода, хранения и передачи информации.

Для анализа указанного выше требования адекватности представления информации воспользуемся схемой канала измерения [1] (рис. 2).

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

И – источник сообщения;

Пер – передатчик;

ЛС – линия связи;

Пр – приемник;

Пол – получатель;
 ИП – источник помех;
 $A(t)$ – исходный сигнал;
 $s(t)$ – сигнал, воспринимаемый приемником;
 $\zeta(t)$ – сигнал помех;
 $z(t)$ – преобразованный сигнал;
 $B(t)$ – сообщение, являющееся копией или несущее информацию о сообщении $A(t)$.

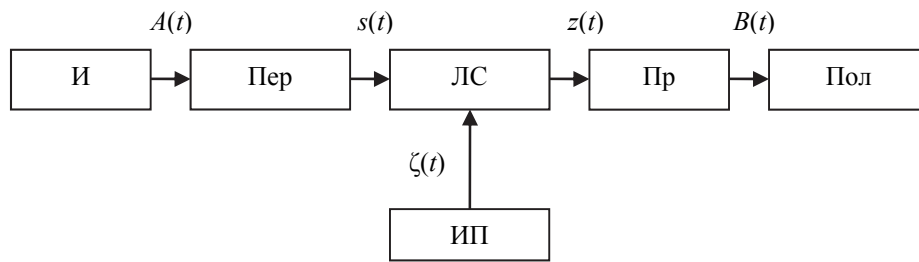


Рис. 2. Структурная схема канала измерения

Основным требованием к таким каналам является соответствие сигнала $B(t)$ сигналу $A(t)$ или иначе – адекватность $B(t)$ по отношению к $A(t)$.

В передатчике происходит обработка (кодирование) сигнала от источника для осуществления передачи по линии связи:

$$s(t) = K[A(t), s_k], \quad (1)$$

где K – функция преобразования; s_k – вектор кодовых сигналов, зависящий от выбранного метода кодирования. В нашем случае кодирование осуществляется дискретизацией исходного сигнала и представлением его в цифровой форме. В качестве вектора кодовых сигналов будем использовать параметры АЦП датчиков – частоту дискретизации и разрядность.

Воздействие помехи на передаваемую информацию определится как

$$z(t) = L\{K[A(t), s_k], \xi(t)\}, \quad (2)$$

где L – функция помехообразования; $\xi(t)$ – вектор помех, зависящий от выбранного метода кодирования, метода передачи, линии связи и т. п. В работах [2, 3] отмечается, что любая помеха имеет случайный характер, при этом устранение помехи путем влияния на ее источник принципиально невозможно.

Конечное сообщение описывается следующим выражением:

$$B(t) = D[z(t)] = D\{L[K[A(t), s_k], \xi(t)]\}. \quad (3)$$

В этом выражении D – метод декодирования информации, определяющийся методом кодирования, необходимым методом представления информации и методом коррекции влияния помех.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ИУС АЭП

Рассмотрим упрощенную функциональную схему ИУС на базе промышленного компьютера по отношению к одной измеряемой координате (рис. 3).

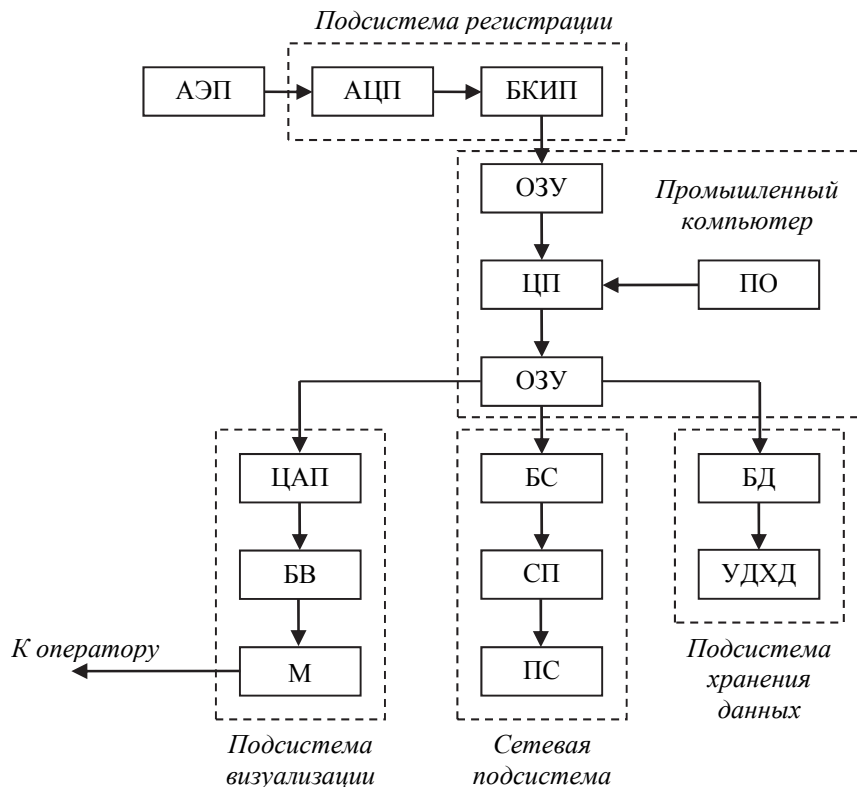


Рис. 3. Функциональная схема ИУС АЭП на базе промышленного компьютера

На рис. 3 приняты следующие условные обозначения:

АЭП – система автоматизированного электропривода;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

БКИП – буфер контроллера измерительной платы;

ОЗУ – оперативное запоминающее устройство (оперативная память);

ЦП – центральный процессор;

ПО – программное обеспечение ИУС;

ЦАП – цифроаналоговый преобразователь;

БВ – буфер видеоконтроллера;

М – монитор или иное устройство визуального отображения;

БС – входной буфер сетевой платы;

СП – сетевая плата;

ПС – промышленная или иная сеть предприятия;

БД – буфер диска или иного устройства долговременного хранения данных;

УДХД – устройство долговременного хранения данных.

В качестве входа ИУС будем рассматривать датчики и измерительные платы.

В качестве основного канала ИУС будем рассматривать канал визуализации (принципиально каналы отличаются лишь конечным оборудованием, что видно из рис. 1).

Построим математическую модель ИУС в виде структурной схемы. Для этого получим передаточные функции звеньев системы.

1. Аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователи (АЦП и ЦАП) представляют собой масштабные звенья, работающие с задержкой, определяемой периодом дискретизации. Как известно из теории автоматического управления, такие звенья с достаточно малой погрешностью можно представить в виде апериодического звена 1-го порядка с постоянной времени, равной периоду дискретизации, т. е.

$$W_{\text{АЦП}}(p) = \frac{k_{\text{АЦП}}}{T_{\text{АЦП}}p + 1}, \quad (4)$$

$$W_{\text{ЦАП}}(p) = \frac{k_{\text{ЦАП}}}{T_{\text{ЦАП}}p + 1}. \quad (5)$$

2. Буферы контроллеров по своему функциональному назначению и принципу работы представляют собой звенья чистого запаздывания, которое определяется быстродействием буфера $\tau_{\text{буф}}$ (частотой выборки):

$$W_{\text{буф}}(p) = e^{-\tau_{\text{буф}}p}. \quad (6)$$

3. Оперативная память (ОЗУ) также представляет собой звено чистого запаздывания:

$$W_{\text{ОЗУ}}(p) = e^{-\tau_{\text{ОЗУ}}p}. \quad (7)$$

4. Технически ЦПУ представляет собой устройство, обрабатывающее данные под управлением программного обеспечения с определенной задержкой. Поэтому, абстрагируясь от методов обработки данных, представим ЦПУ в качестве звена чистого запаздывания:

$$W_{\text{ЦПУ}}(p) = e^{-\tau_{\text{ЦПУ}}p}. \quad (8)$$

Используя (4)–(8), составим структурную схему ИУС (рис. 4).

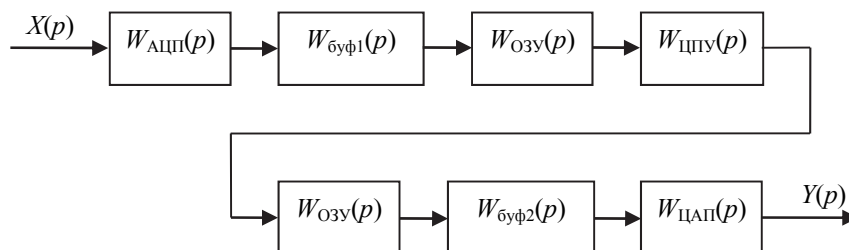


Рис. 4. Структурная схема ИУС

На рис. 4 $X(p)$ – изображение по Лапласу измеряемой координаты АЭП, $Y(p)$ – ее окончательное представление в ИУС.

Передаточные функции звеньев схемы, представленной на рис. 4, определяются выражениями (4)–(8).

Исходя из данной структурной схемы получим передаточную функцию ИУС:

$$W_{\text{ИУС}}(p) = \frac{k_{\text{АЦП}} k_{\text{ЦАП}} e^{-(\tau_{\text{буф1}} + \tau_{\text{буф2}} + \tau_{\text{буф3}} + \tau_{\text{ЦПУ}} + 2\tau_{\text{ОЗУ}})p}}{T_{\text{АЦП}} T_{\text{ЦАП}} p^2 + (T_{\text{АЦП}} + T_{\text{ЦАП}})p + 1}. \quad (9)$$

Исходя из того, что частота дискретизации АЦП, как правило, равна таковой для ЦАП и может быть задана, преобразуем (6):

$$\begin{aligned} W_{\text{ИУС}}(p) &= \left| T_{\text{АЦП}} = T_{\text{ЦАП}} = T_{\text{дискр}} = \text{var}_{\text{прог}} \right| = \\ &= \frac{k_{\text{АЦП}} k_{\text{ЦАП}} e^{-(\tau_{\text{буф1}} + \tau_{\text{буф2}} + \tau_{\text{буф3}} + \tau_{\text{ЦПУ}} + 2\tau_{\text{ОЗУ}})p}}{T_{\text{дискр}}^2 p^2 + 2T_{\text{дискр}} p + 1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Динамические свойства ИУС определяются, с одной стороны, выбранным программно периодом (или частотой) дискретизации $T_{\text{дискр}}$, с другой – временем задержки $(\tau_{\text{буф1}} + \tau_{\text{буф2}} + \tau_{\text{буф3}} + \tau_{\text{ЦПУ}} + 2\tau_{\text{ОЗУ}})$. Частотой дискретизации можно управлять программно, время задержки определяется исключительно конструктивными свойствами элементов ИУС. Таким образом, достижение оптимального быстродействия ИУС может достигаться программным методом. При условии, что суммарная задержка (числитель выражения (10)) много меньше наименьшей постоянной времени объекта, можно говорить об организации режима работы ИУС в реальном времени.

3. ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТЫ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ПРИМЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ СТАТОРА

Рассмотрим процесс измерения и обработки переменных координат состояния АД. В первую очередь, к таким координатам относится напряжение на статоре АД.

Координаты статора АД изменяются по гармоническому закону с частотой f :

$$x = X_{\text{max}} \sin(\omega t + \psi), \quad (11)$$

где x – мгновенное значение координаты;

X_{max} – амплитудное значение координаты;

ω – циклическая (круговая) частота, с^{-1} ; $\omega = 2\pi f$;

ψ – начальная фаза, с^{-1} .

Отметим, что в общем случае напряжение на статоре АД может содержать высшие гармоники. Однако в работах [4, 6, 7, 8] отмечается, что высшие

гармоники напряжения фильтруются самой обмоткой и не оказывают существенного влияния на процессы электромеханического преобразования энергии в машине.

При решении большинства задач используется действующее значение координаты [4, 6]. Действующее значение определяется как среднеквадратичное [5] значение переменной величины за период:

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt} . \quad (12)$$

Для синусоидального напряжения действующее значение в соответствии с выражением (12) определится как

$$X = \frac{X_{\max}}{\sqrt{2}} . \quad (13)$$

Таким образом, ИУС ЭП должна использовать в расчетах действующие значения координат статора, с помощью которых возможно рассчитывать другие параметры двигателя (например, электромагнитный момент и мощность) [7, 8].

Поскольку речь идет о цифровой ИУС ЭП, процесс измерения координат статора производится следующим образом: с определенной частотой измеряются мгновенные значения напряжения, а затем с помощью цифровой обработки выборок получаются действующие значения [9–11]. При такой методике измерений выражение (12) заменяется эквивалентным ему дискретным выражением (14):

$$X = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i^2} , \quad (14)$$

где n – количество отсчетов (длина выборки);
 i – номер отсчета.

Длина выборки зависит от выбранной частоты отсчетов (частоты дискретизации) и связана с ней следующим соотношением:

$$n = f_d T = n / \Delta t, \quad (15)$$

где f_d – частота дискретизации;

Δt – период дискретизации (длина отсчета).

Для обеспечения процесса измерения необходимо определиться с величиной частоты дискретизации. Известно, что заниженная частота дискретизации вызывает искажение сигнала [2, 3, 5, 9]. Определяющим положением при определении частоты дискретизации сигнала с граничной частотой f_c является теорема Котельникова–Шеннона [2]: аналоговый сигнал с граничной линейной частотой f_c может быть восстановлен однозначно и без потерь при частоте дискретизации, равной или большей удвоенной граничной частоте:

$$f_d \geq 2f_c . \quad (16)$$

Применительно к измерительным процессам и цифровой обработке сигналов удобно пользоваться следующим определением: непрерывный сигнал $x(t)$ можно представить в виде интерполяционного ряда:

$$x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta) \sin c \left[\frac{\pi}{T} (t - k\Delta) \right], \quad (17)$$

где $x(k\Delta)$ – значения дискретных отсчетов;

T – период дискретизации, определяемый выражением $0 \leq T \leq 1/2f_c$;

t – время;

$$\sin c = \begin{cases} \frac{\sin x}{x}, & x \neq 0; \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad \text{– ненормированный кардинальный синус,}$$

$$\text{либо } \sin c = \begin{cases} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}, & x \neq 0; \\ 1, & x = 0 \end{cases} \quad \text{– нормированный кардинальный синус.}$$

При соблюдении условий теоремы Котельникова функция $x(t)$ может быть восстановлена из ее дискретизации, $x[n] = x(nT)$, согласно интерполяционной формуле Уиттекера–Шеннона:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \sin c \left(\frac{t - nT}{T} \right). \quad (18)$$

В инженерной практике чаще приходится оперировать не частотами, а постоянными времени различных объектов [12]. В работе [13] показано, что частота дискретизации связана с постоянной времени, определяющей оптимальный переходный процесс в объекте:

$$f_d \geq \frac{1}{(0,4...0,5) \cdot T_{\mu}}, \quad (19)$$

где T_{μ} – эквивалентная постоянная времени системы, соответствующая оптимальному переходному процессу.

Измерение действующего значения по выражению (14) требует осуществления цифровой фильтрации для исключения влияния шумов [5, 14]. Простейший алгоритм фильтрации заключается в накоплении группы выборок и нахождении среднего значения по группе [5, 9]:

$$X_{\Phi} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m X[j], \quad (20)$$

где j – номер выборки;

m – количество выборок в группе.

Данный алгоритм носит название фильтра с прямоугольным окном и является простым и удобным в реализации. Недостаток такого алгоритма фильтрации – медленный спад АЧХ за полосой пропускания и, как следствие, по-

грешность в измерении низкочастотных сигналов [6]. АЧХ такого фильтра приведена на рис. 5.

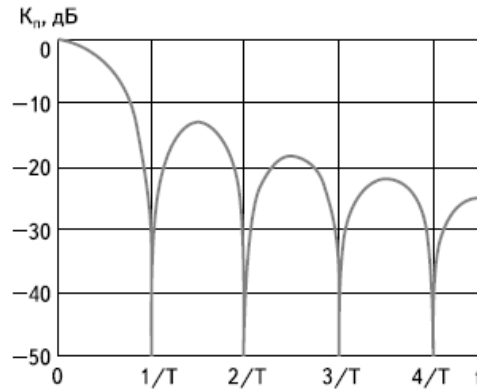


Рис. 5. АЧХ фильтра с прямоугольным окном, T – интервал накопления выборок [5]

Выражениям (14)–(20) соответствует вычислительный алгоритм, приведенный на рис. 6.

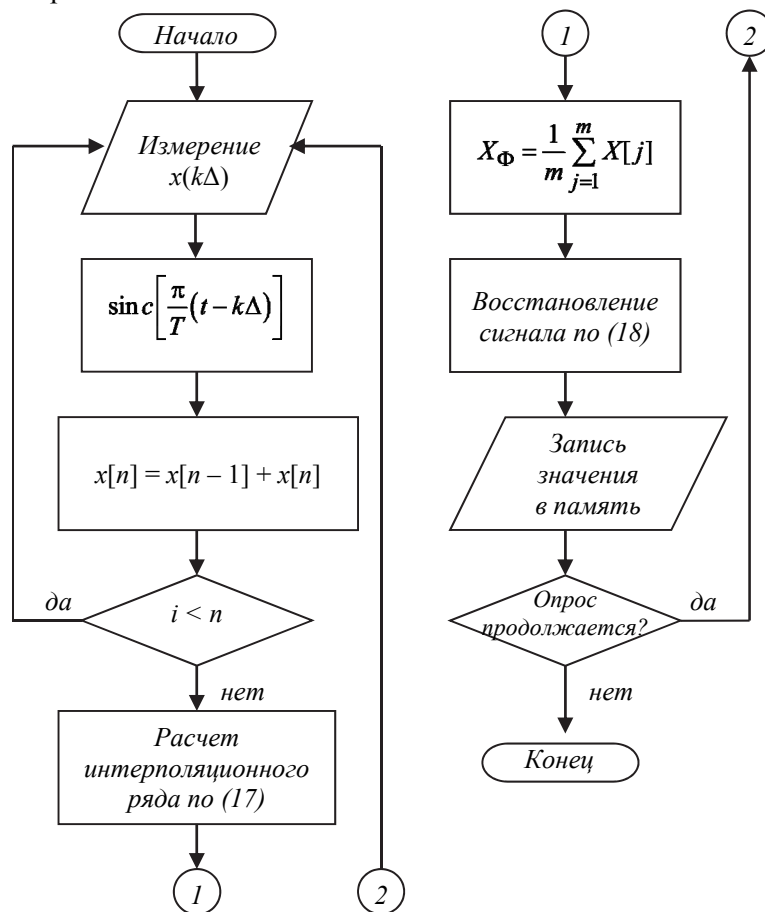


Рис. 6. Алгоритм измерения координаты состояния АД с прямоугольным фильтром

Для устранения недостатков фильтра с прямоугольным окном применяются другие алгоритмы фильтрации. В [5] предлагается использование фильтра с окном Хэннинга–Хана, который позволяет добиться большего спада АЧХ за полосой пропускания ($-31,5$ дБ/дек). Однако реализация такого фильтра требует реализации разложения сигнала напряжения в ряд Фурье и оценки спектра сигнала, что снижает быстродействие системы и требует больших вычислительных мощностей [14].

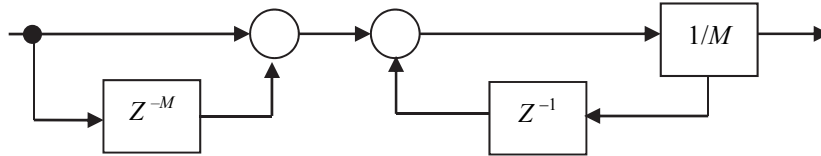


Рис. 7. Реализация sinc-фильтра [5]

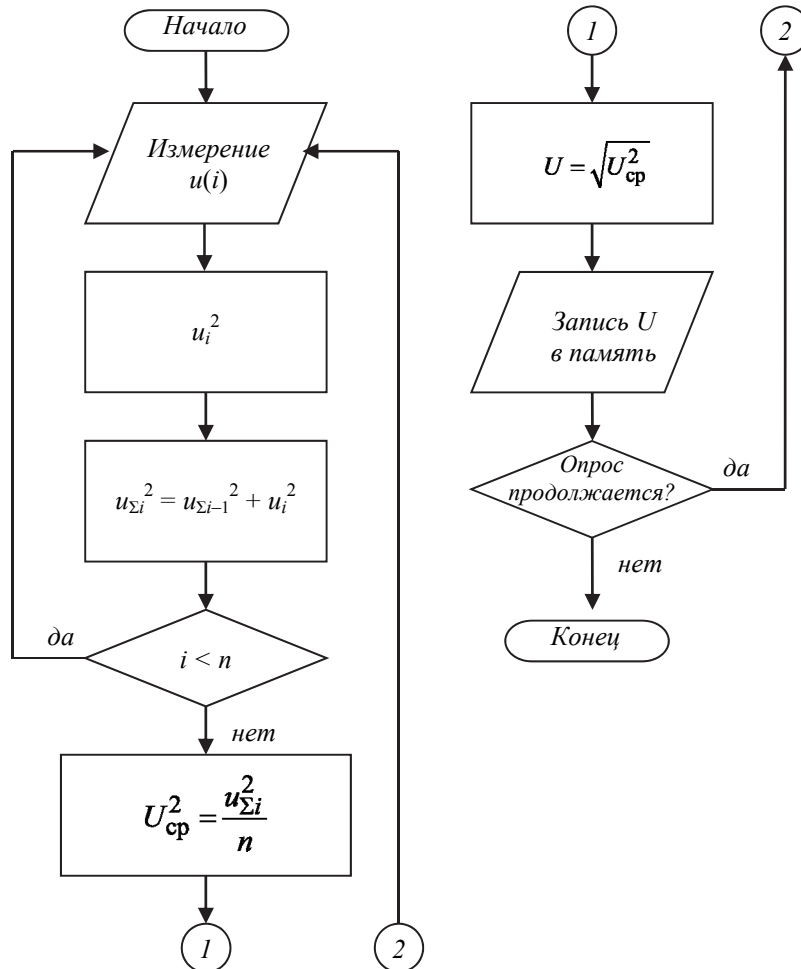


Рис. 8. Простейший алгоритм определения действующего значения напряжения на статоре АД с использованием фильтра с прямоугольным окном

В работе [5] для осуществления фильтрации предлагается использование каскадированных sinc-фильтров с z -передаточной функцией типа (20) (рис. 7).

$$H(z) = \frac{1 - z^{-M}}{M(1 - z^{-1})}, \quad (21)$$

где M – количество выборок.

Одна ступень каскада имеет АЧХ, соответствующую АЧХ фильтра с прямоугольным окном, но каскад в целом обеспечивает хорошее спадание АЧХ (каскад из пяти sinc-фильтров – до –65 дБ/дек).

Другим относительно простым алгоритмом фильтрации с удовлетворительными показателями являются фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтры), в частности фильтры Бесселя и Баттерворта. Такие фильтры требуют немного памяти, но являются более вычислительно сложными, чем каскад из sinc-фильтров или фильтр с прямоугольным окном [5].

Конкретная реализация фильтра зависит от аппаратных ограничений ИУС и требований к точности измерений. В целом оптимальным видится использование каскадированных sinc-фильтров или фильтра Баттерворта, обладающих балансом между быстродействием, потребляемыми ресурсами и сложностью в реализации.

Во многих цифровых датчиках реализован фильтр с прямоугольным окном, использование которого оправдано для большинства ИУС.

Составим алгоритм определения переменных координат АД (см. также [15], где решаются сходные задачи). В первую очередь рассмотрим программную реализацию выражения (14) (рис. 8).

За первый период входного сигнала квадратор возводит значения сигнала в квадрат, сумматор суммирует квадраты. В конце периода квадратный корень суммы, деленный на количество выборок N , выдается на выход, и сумматор обнуляется.

Составим алгоритм определения действующего значения напряжения с учетом схемы на рис. 3. Для упрощения алгоритма воспользуемся фильтром с прямоугольным окном, не требующим сложных вычислений и каскадирования. Блок-схема простейшего алгоритма измерения действующего напряжения на статоре АД приведена на рис. 8. На данном рисунке:

u_i – текущее мгновенное значение напряжения;

$u_{\Sigma i}^2$ – промежуточная переменная для сохранения суммы квадратов вы-

борок;

i – номер выборки;

n – объем выборки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. При построении ИИС для систем ЭП на базе асинхронного двигателя для задач визуализации координат состояния машины и идентификации ее состояния в большинстве случаев следует использовать действующие значения координат.

2. Действующие значения координат рассчитываются при помощи выборки из мгновенных значений за период.

3. Выбор частоты дискретизации следует производить исходя из динамических свойств двигателя, требуемой точности измерений и имеющихся аппаратных мощностей.

4. Существует несколько пригодных для работы с системами ЭП алгоритмов цифровой фильтрации. В большинстве случаев достаточно простого алгоритма прямоугольного окна или *sinc*-фильтра.

5. При проектировании ИУС следует учитывать передаточные функции канала измерения.

6. Приведенный материал является основой при создании регистрирующе-диагностического устройства электропривода шахтной подъемной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Игнатов В.А.* Теория информации и передачи сигналов. – М.: Советское радио, 1979. – 280 с.
2. *Котельников В.А.* Теория потенциальной помехоустойчивости. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 153 с.
3. *Кузнецов Н.А., Сеницын И.Н.* Развитие теоремы отсчетов Котельникова // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179, № 2. – С. 216–218.
4. *Круг К.А.* Основы электротехники. Т. 2. Теория переменных токов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1946. – 636 с.
5. *Важнов А.И.* Переходные процессы в машинах переменного тока. – Л.: Энергия, 1980. – 256 с.
6. *Волович Г.И.* Аналого-цифровое измерение переменного напряжения и теорема Котельникова // Компоненты и технологии. – 2010. – № 7. – С. 144–149.
7. *Панкратов В.В., Котин Д.А.* Адаптивные алгоритмы бездатчикового векторного управления асинхронными электроприводами подъемно-транспортных механизмов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012. – 143 с.
8. *Каширских В.Г.* Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей. – Кемерово: КузГТУ, 2005. – 140 с.
9. *Семькина И.Ю.* Бездатчиковое управление асинхронными электроприводами. – Кемерово: КузГТУ, 2008. – 45 с.
10. *Hussain S.A., Zaro F.A., Abido M.A.* Implementation of quadrature based RMS calculation on real-time power monitoring systems // IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 22–23 February 2013. – Champaign, Illinois, 2013. – P. 213–217.
11. *Etien E.* Modeling and simulation of soft sensor design for real-time speed estimation, measurement and control of induction motor // ISA Transactions. – 2013. – Vol. 52, iss. 3. – P. 358–364. – doi: 10.1016/j.isatra.2012.11.001.
12. *Jung J.-H., Lee J.-J., Kwon B.-H.* Online diagnosis of induction motors using MCSA // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2006. – Vol. 53, iss. 6. – P. 1842–1852. – doi: 10.1109/TIE.2006.885131.
13. *Shaw S.R., Leeb S.B.* Identification of induction motor parameters from transient stator current measurements // IEEE Transactions on Industry Electronics. – 1999. – Vol. 46, iss. 1. – P. 139–149.
14. *Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю.* Метод измерения параметров в информационно-управляющей системе автоматизированного электропривода // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды Пятой Всероссийской научно-практической конференции / под общ. ред. В.Ю. Островляничика. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2012. – С. 189–200.
15. *Гублер Г.Б., Гутников В.С.* Алгоритмы цифровой обработки сигналов многофункционального эталонного прибора для измерений электроэнергетических величин [Электронный ресурс]. – URL: <http://test.mars-energo.ru/files/content/articles/algorithms.pdf> (дата обращения: 22.12.2015).

16. Бейерлейн Е.В., Тютеева П.В. Измерения электрических величин при испытании асинхронных двигателей, работающих от преобразователя частоты [Электронный ресурс] // Наукo-ведение: интернет-журнал. – 2013. – № 3 (16). – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/62tvn313.pdf> (дата обращения: 22.12.2015).

Островляничик Виктор Юрьевич, доктор технических наук, профессор Сибирского государственного индустриального университета, заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и промышленной электроники СибГИУ. Основные направления научных исследований: автоматизация технологических процессов и производств, автоматизированный электропривод установок горно-металлургического комплекса. Имеет более 200 публикаций. E-mail: viktor.ostrovlyanchik@yandex.ru

Поползин Иван Юрьевич, аспирант кафедры автоматизированного электропривода и промышленной электроники СибГИУ, старший преподаватель. Основные направления научных исследований: информационно-управляющие системы электроприводов, асинхронный электропривод. Имеет более 10 публикаций. E-mail: eidoline@yandex.ru

Measurement of induction motor variable parameters in information and control systems*

V.Yu. OSTROVLYANCHIK¹, I.Yu. POPOLZIN²

¹ *Siberian State Industrial University, 42, Kirova Street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, D.Sc. (Eng.), professor, head of the department of automated electric drives and industrial electronics of SibSIU, e-mail: viktor.ostrovlyanchik@yandex.ru*

² *Siberian State Industrial University, 42, Kirova Street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation, post-graduate student, e-mail: eidoline@yandex.ru*

At the modern stage of science and industry development induction motor drives are widespread. The tasks of measurement and identification are very important for this type of electric drives, especially for drives used in metallurgy and the mining industry. In this paper we describe the measuring channel structure of the information and control system of the automated electric drive (ICS AED) and its structural and functional diagrams. We also formulate a general condition for the adequacy of measurement information. Information analysis and synthesis processes in the measuring channel are shown. Expressions which allow calculating the impact of interferences is presented. Also, we present the functional diagram of ICS AED and transfer functions of the entire system and its main elements. We formulate the condition for the ICS AED operation in the real-time mode. This condition suggests the comparison of an overall delay in ICS AED with the AED smallest time constant which determines optimal transients in the AED system. Ratios which allow computing RMS parameters of induction motors using their instantaneous values are shown. Also, we show the importance of a correct choice of the sampling frequency based on the smallest time constant. Structures of the conventional RMS measurement algorithm and a simple algorithm of stator voltage measurement are presented. Besides, we present the main types of discrete filters which are used in ICS.

Keywords: Electric drive; induction motor; information and control system; measuring channel; effective value; Kotelnikov-Nyquist-Shannon sampling theorem; sampling frequency; digital filter; transfer function

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-4-7-20

* Received 27 July 2015.

REFERENCES

1. Ignatov V.A. *Teoriya informatsii i peredachi signalov* [Theory of information and signals transmitting]. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 1979. 280 p.
2. Kotel'nikov V.A. *Teoriya potentsial'noi pomekhoustoichivosti* [Theory of potential noise immunity]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1956. 153 p.
3. Kuznetsov N.A., Sinitsyn I.N. Razvitie teoremy otschetov Kotel'nikova [Development of Kotel'nikov's sampling theorem]. *Physics-Uspekhi*, 2009, vol. 52, no. 2, pp. 197–199. doi: 10.3367/UFNe.0179.200902j.0216. Translated from *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 2009, vol. 179, no. 2, pp. 216–218.
4. Krug K.A. *Osnovy elektrotekhniki. T. 2. Teoriya peremennykh tokov* [Fundamentals of electrical engineering. Vol. 2. Theory of alternating current]. Moscow, Leningrad, Gosenergoizdat Publ., 1946. 636 p.
5. Vazhnov A.I. *Perekhodnye protsessy v mashinakh peremennogo toka* [Transients in AC machines]. Leningrad, Energiya Publ., 1980. 256 p.
6. Volovich G.I. Analogo-tsifrovoye izmerenie peremennogo napryazheniya i teorema Kotel'nikova [Analog-to-digital measurement of alternate voltage and Kotelnikov theorem]. *Komponenty i tekhnologii – Components and technologies*, 2010, no. 7, pp. 144–149.
7. Pankratov V.V., Kotin D.A. *Adaptivnye algoritmy bezdatchikovogo vektornogo upravleniya asinkhronnymi elektroprivodami pod"emno-transportnykh mekhanizmov* [Adaptive algorithms of sensorless vector control for asynchronous electrical drives of lifting machinery]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2012. 143 p.
8. Kashirskikh V.G. *Dinamicheskaya identifikatsiya asinkhronnykh elektrodvigatelei* [Dynamic identification of induction motors]. Kemerovo, KuzSTU Publ., 2005. 140 p.
9. Semykina I.Yu. *Bez datchikovoe upravlenie asinkhronnymi elektroprivodami* [Sensorless control over induction motors]. Kemerovo, KuzSTU Publ., 2008. 45 p.
10. Hussain S.A., Zaro F.A., Abido M.A. Implementation of quadrature based RMS calculation on real-time power monitoring systems. *IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)*, 22–23 February 2013, pp. 213–217.
11. Etien E. Modeling and simulation of soft sensor design for real-time speed estimation, measurement and control of induction motor. *ISA Transactions*, 2013, vol. 52, iss. 3, pp. 358–364. doi: 10.1016/j.isatra.2012.11.001
12. Jung J.-H., Lee J.-J., Kwon B.-H. Online diagnosis of induction motors using MCSA. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2006, vol. 53, iss. 6, pp. 1842–1852. doi: 10.1109/TIE.2006.885131
13. Shaw S.R., Leeb S.B. Identification of induction motor parameters from transient stator current measurements. *IEEE Transactions on Industry Electronics*, 1999, vol. 46, iss. 1, pp. 139–149.
14. Ostrovlianchik V.Yu., Popolzin I.Yu. Metod izmereniya parametrov v informatsionno-upravlyayushchei sisteme avtomatizirovannogo elektroprivoda [Method of parameters measurement used in information and control system of automated electrical drive]. *Avtomatizirovannyi elektroprivod i promyshlennaya elektronika: trudy Pyatoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Automated electrical drive and industrial electronics: issues of the Fifth All-Russian science and practice conference]. Ed. by V.Yu. Ostrovlianchik. Novokuznetsk, SibSIU Publ., 2012, pp. 189–200.
15. Gubler G.B., Gutnikov V.S. *Algoritmy tsifrovoy obrabotki signalov mnogofunktsional'nogo etalonnoy pribora dlya izmerenii elektroenergeticheskikh velichin* [Algorithms of digital processing in multifunctional measuring device for electrical values]. (In Russian) Available at: <http://test.mars-energo.ru/files/content/articles/algorithms.pdf> (accessed 22.12.2015)
16. Beierlein E.V., Tyuteva P.V. [The measurement of electric values at induction machines testing while feeding by frequency converter]. *Naukovedenie*, 2013, no. 3 (16). (In Russian) Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/62tvn313.pdf> (accessed 22.12.2015)