

УДК 621.396.97

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в приборостроении)

Артюшенков Сергей Николаевич

Общество с ограниченной ответственностью «АРСИС»
Россия, Сургут
Руководитель проектов
Кандидат технических наук
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Баин Александр Михайлович

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»
Россия, Зеленоград¹
Докторант кафедры «Информатика и программное обеспечение вычислительных систем»
Кандидат технических наук
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Комаров Евгений Юрьевич

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»
Россия, Зеленоград
Аспирант кафедры «Информатика и программное обеспечение вычислительных систем»
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Смыслов Григорий Юрьевич

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»
Россия, Зеленоград
Аспирант кафедры «Информатика и программное обеспечение вычислительных систем»
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Методика прямых измерений электрических параметров электродвигателя штанговой глубинно-насосной установки

¹ 124498, Москва, Зеленоград, проезд 4806, дом 5

Аннотация. В настоящее время для измерения электрических параметров распределенных энергообъектов зачастую используются специализированные системы, которые воспринимают информацию не непосредственно от первичных датчиков измеряемых параметров, а от промежуточных преобразователей, нормализующих сигналы с датчиков до стандартных значений. Очевидно, что в современных системах, ориентированных на измерения параметров распределительных электросетей, существует необходимость реализации канала «прямых» измерений, или ухода от использования вторичных преобразователей. Положительные свойства способа «прямых» измерений достигаются благодаря отсутствию в измерительной цепи инерционных преобразователей сигналов переменного тока в постоянный, которые подавляют гармонические составляющие измеряемого сигнала с частотами выше $5 \div 10$ Гц .

Основным недостатком традиционного способа прямых измерений является сложность вычислительных операций для получения требуемых параметров электрической сети по большому числу мгновенных значений параметра, полученных за один период частоты электрической сети. В работе предлагается эффективная методика, которая обеспечивает упрощение способа «прямых» измерений действующих и амплитудных значений токов и напряжений, а также фазового угла сдвига между током и напряжением. Благодаря применению предложенной методики упрощается структура и повышается надежность работы измерительных устройств, используемых для ввода информации от измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Ключевые слова: система телемеханики; прямые измерения; электродвигатель; мгновенные значения; электрические параметры; глубинно-насосная установка.

Идентификационный номер статьи в журнале 55TVN414

С учетом постоянного возрастания стоимости электроэнергии и оборудования актуальна оптимизация добычи нефти путем уменьшения затрат на энергоносители, обслуживание оборудования и увеличения межремонтного периода. Необходимость использования систем телемеханики для автоматического измерения и управления нефтедобывающим электротехническим оборудованием, в первую очередь обуславливается рассредоточенностью нефтескважин на значительном расстоянии (в противном случае целесообразно использовать и локальные системы управления) [1].

Важнейшим элементом нефтескважины является штанговая глубинно-насосная установка (ШГНУ), осуществляющая откачку глубинной нефти. При этом функционирование и электропитание ШГНУ обеспечивается, как правило, трехфазным асинхронным двигателем, мощность которого в зависимости от диаметра трубы, производительности скважины и других факторов колеблется от 5 до 30 кВА.

Удаление двигателя от подстанции приводит к тому, что падение напряжения на нем нестабильно – при большом числе одновременно работающих двигателей падение напряжения на подводящих проводах возрастает, а при большей части отключенных двигателей – падение напряжения уменьшается. В этих условиях важно контролировать величину тока, протекающего по обмоткам двигателя, порой достигающей десятков ампер.

Как правило каналы измерений электрических параметров электродвигателя сопрягаются с промежуточными (вторичными) преобразователями измеряемых сигналов переменного тока в нормированные сигналы постоянного тока с диапазоном изменения 0...5; 0(4)...20 или – 5...0...+ 5 мА [1-3].

Наличие промежуточных преобразователей снижает точность, быстродействие и надежность аппаратуры, причем деградация измеряемых электрических параметров увеличивается с ростом числа каналов ввода измерительной информации [4].

Существенным недостатком каналов с промежуточными преобразователями является исчезновение в измеряемом сигнале высокочастотных гармоник и невозможность фиксации быстропеременных процессов, хотя такая фиксация особенно важна для своевременной реакции устройства на появление опасных для оборудования значений тока. Известно, например, что для предотвращения выхода электродвигателя из строя время реакции на появление тока короткого замыкания или обрыва обмотки одной фазы не должно превышать 1,5 – 3 с, а инерционность стандартных преобразователей сигналов переменного тока в сигналы постоянного тока равна 3 - 5 с.

Таким образом, для систем управления рассматриваемого класса актуальна задача перехода к «прямым» измерениям сигналов переменного тока, т.е. к удалению из измерительного канала инерционных звеньев [4-7].

В традиционном способе «прямых» измерений аналоговых сигналов используется многократное за один период частоты сети питания двигателя сканирование мгновенных значений измеряемого параметра и последующее вычисление по полученным отсчетам действующего (амплитудного) значения. Известный способ характеризуется сложностью вычислительных операций. Так, действующее значение напряжения (U_d), которое отображает искомый ток в обмотках энергетического оборудования, вычисляют по формуле [7]:

$$U_d = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i^2} \quad , \quad (1)$$

где n - число отсчетов мгновенных значений измеряемого напряжения за один период частоты электрической сети;

U_i - значение напряжения в i -ый момент времени.

Вычисления значений параметров по формуле (1) с помощью однокристалльных микро ЭВМ требуют значительных затрат времени и приводят к уменьшению числа отсчетов и соответствующему увеличению погрешности.

В предложенной системе используется альтернативная методика «прямых» измерений, который не только позволяет исключить промежуточные преобразователи измеряемых сигналов переменного тока в сигналы постоянного тока, но и резко упрощает выполняемые процедуры и, тем самым, повышает надежность измерительной аппаратуры.

Для реализации «прямых» измерений, принимая во внимание малые нелинейные искажения синусоидального напряжения питающей сети, переходят от многократного (в течение одного периода частоты электрической сети питания двигателя) аналого – цифрового преобразования измеряемого параметра к однократному измерению амплитудного значения искомого параметра в каждом периоде и последующему усреднению полученных мгновенных значений для определения искомого максимального амплитудного значения измеряемого сигнала [8-10].

Действующее значение измеряемого сигнала получают делением вычисленного максимального амплитудного значения синусоидального напряжения на коэффициент $K = \sqrt{2}$. Таким образом, многократные измерения входного сигнала заменяют точным определением длительности половины периода измеряемого сигнала. Полученное в одной половине периода значение используется в смежной половине периода для точного определения момента времени, совпадающего с серединой этой половины периода. В полученный момент времени измеряют сигнал, который соответствует максимальному мгновенному амплитудному значению синусоидального сигнала от датчика. В результате искомое значение вычисляют за время, примерно равное 1 с, которое удовлетворяет требованиям для адекватной реакции на нештатные ситуации.

Рассмотрим пример измерительного канала устройства, в котором реализуется предложенная методика измерения. Временные диаграммы работы устройства прямых измерений представлены на рисунке 1.

На рисунке 1а показан измеряемый сигнал (от измерительного трансформатора тока или напряжения, согласованный по уровню с используемым аналого–цифровым преобразователем)

От источника поступает сигнал с частотой электрической сети питания двигателя (рисунок 1б). Компаратор устройства, представленного на рисунке 2, преобразует синусоидальный сигнал от источника в прямоугольные импульсы (рисунок в). Высокая чувствительность компаратора обеспечивает формирование на его выходе сигналов, длительность которых практически равна текущему периоду сигнала от источника. С помощью инверторов И1 и И2 цепи формирования прямоугольных импульсов отделяются от цепей управления реверсивными счетчиками 1 и 2.

В каждой половине периода сигнала электрической сети на выходе одного инвертора формируется сигнал «1», а на выходе другого – сигнал «0». Сигналы от инверторов поступают на вторые входы счетчиков и определяют направление счета входных импульсов. Счетчик, на второй вход которого подан сигнал «1», работает в режиме прямого, а другой счетчик – в режиме обратного счета импульсов. Импульсы поступают на первые, тактовые входы счетчиков от тактового генератора. Для примера, на рисунке 1г и рисунке 1д показано, что в первой половине первого периода сигнала от источника счетчик 5 переведен в режим прямого счета (рисунок 1г), а счетчик 6 (рисунок 1д) – в режим обратного счета.

Коды на выходах счетчиков условно показаны в виде «пилообразных» сигналов, после поступления очередного тактового сигнала «пила» увеличивается на одну «ступеньку» - квант кода, если счетчик переведен в режим прямого счета, «пила» уменьшается на один квант, если счетчик переведен в режим обратного счета. Так как счетчик 5 к началу рассматриваемой половины периода установлен в режим прямого счета, код в счетчике от нулевого значения увеличивается на «1» каждым поступившим импульсом от генератора. Счетчик 6, который в предшествующей половине периода работал в режиме прямого счета, в рассматриваемой половине периода переводится в режим обратного счета.

Его выходной код от максимального значения, отображающего число импульсов от генератора, поступивших на тактовый вход счетчика 6 за предшествующую половину периода частоты электрической сети, уменьшается на «1». С временным сдвигом относительно фронта сигнала текущей половины периода частоты электрической сети, в точности соответствующим середине половины периода, коды на выходах счетчиков совпадут.

В этот момент на выходе компаратора 8 образуется сигнал «1» (рисунок 1e), разрешающий передачу текущего значения сигнала от линейного блока на выход. Прошедший на выход коммутатора сигнал (рисунок 1a) равен амплитудному значению измеряемого сигнала, поступает на вход АЦП и преобразуется в код. Код от АЦП и сигнал управления коммутатором поступают в вычислитель.

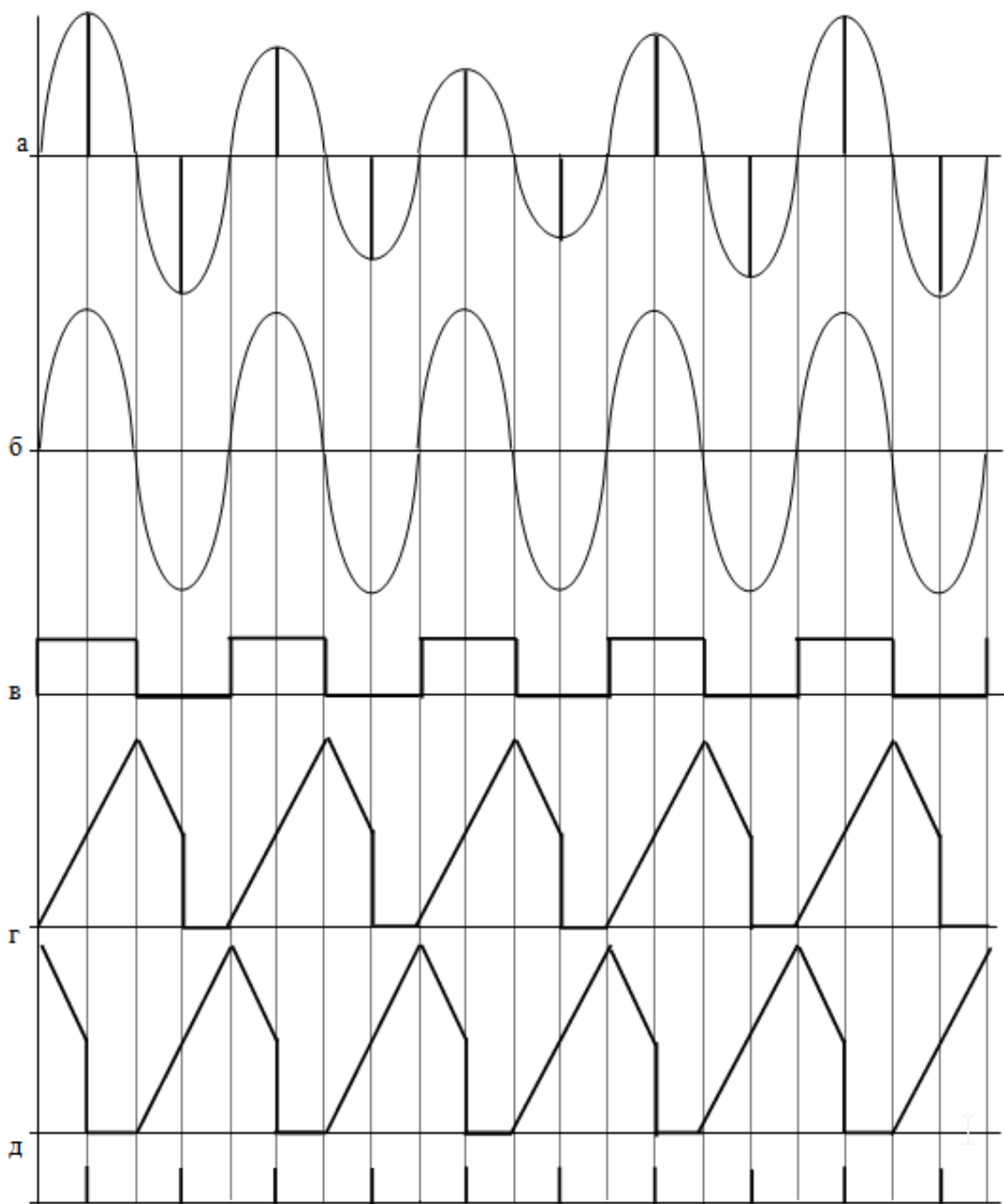
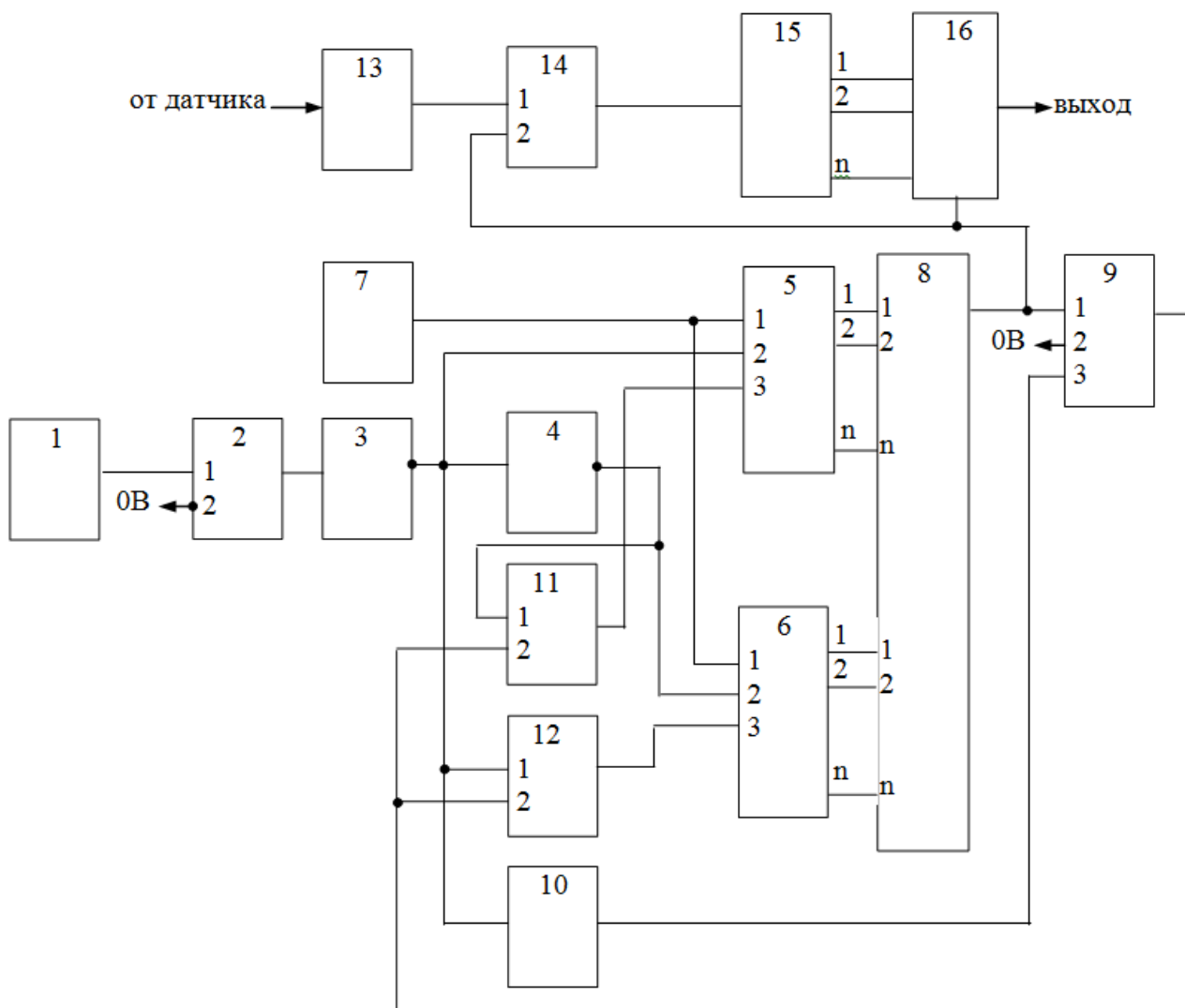


Рис. 1. Временные диаграммы работы устройства прямых измерений



1-источник частоты электрической сети, 2,8- компараторы; 3,4 – НЕ, 5,6- реверсивные счетчики; 7- генератор тактовых импульсов, 9- триггер; 10-формирователь импульсов; 11,12 – И; 13- узел согласования; 14- коммутатор; 15- АЦП; 16- узел обработки данных и вычислений.

Рис. 2. Обобщенная схема устройства прямых измерений

На фронте очередной половины периода частоты электрической сети формируется импульс на выходе формирователя, который переводит триггер в «0». Триггер переводится в «1» по сигналу от компаратора 8. Сигнал от триггера поступает на один вход элементов 11 и 12 и проходит на выход того элемента, который в рассматриваемой половине периода частоты электрической сети подключен к третьему входу счетчика, переведенного в режим обратного счета. Как показано на рисунке 1д, счетчик, переведенный в режим обратного счета, удерживается в начальном состоянии до начала очередной половины периода частоты электрической сети и оказывается подготовленным к прямому счету в очередной половине периода. Аналогично устройство работает во всех смежных половинах периода частоты электрической сети.

Если предположить, что смежные половины периода электрической сети отличаются на пренебрежимо малую величину, момент сканирования сигналов от датчика в точности совпадает с моментом образования наибольшего, амплитудного значения сигнала, причем

момент сканирования «адаптируется» к моменту формирования амплитудного значения сигнала от измерительного трансформатора при девиации частоты сети. Для практического исключения погрешности измерения из-за дискретности фиксации момента равенства кодов от счетчиков, необходимо установить достаточно высокую частоту импульсов от генератора. Если частота сигналов генератора равна 100000 Гц, за одну половину периода частоты сети, примерно равную 10^{-2} с, на вход счетчиков поступит около 1000 импульсов, что обеспечит пренебрежимо малый сдвиг момента считывания сигнала от датчика относительно момента образования амплитудного значения сигнала.

От АЦП, таким образом, будут получены коды амплитудных значений измеряемого сигнала, которые вводятся в ОЗУ вычислителя (например, включающего однокристалльную микро ЭВМ). Определенное число смежных отсчетов кодов, равное, например, 50, усредняется.

Принимая во внимание малые искажения формы напряжения сети, действующее значение измеряемого сигнала получают делением вычисленного амплитудного значения на коэффициент $K = \sqrt{2}$.

Очевидно, что каналы для измерения рабочего и контрольного тока энергооборудования (например двигателя глубинно-насосной установки), строятся по одной структуре и представляют собой интегрированный канал ввода аналоговых сигналов устройства управления.

Время, затрачиваемое на измерения и вычисления значений токов при использовании описанного способа, не превышает 1 с, что позволяет адекватно среагировать на нештатную ситуацию. Так, при фиксации значения рабочего тока, превышающего установленный для двигателя максимум, от устройства ввода аналоговых сигналов подается команда экстренного отключения энергооборудования от сети. Такие же действия должны последовать при обнаружении обрыва одной из фазных обмоток по отсутствию рабочего тока. Если при отключенном состоянии двигателя будет получено значение тока, меньшее минимально допустимого, фиксируется несанкционированная попытка демонтажа энергооборудования. В этом случае формируется экстренный сигнал тревоги, который, при необходимости, может быть ретранслирован в службу централизованной охраны для своевременного принятия мер защиты двигателя [6,8-10].

Таким образом, использование предложенной методики позволяет перейти от многократного к однократному сканированию измеряемого сигнала в каждой половине периода частоты электрической сети и упростить процедуры обработки и вычисления электрических параметров, что повышает информативность и надежность работы энергетического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М.: Мир, 1990. – 535 с.
2. Электрорадиоизмерения: учебник / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков [и др.] / под ред. А.С. Сигова – М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2004.
3. Метрология и радиоизмерения / учебник [для вузов] // под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высшая шк., 2003. – 526 с.
4. Бескровная С.В., Портнов Е.М., Повышение точности измерений телекоммуникационных систем для АСУ ТП энергообъектов//Оборонный комплекс- научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал. М.: ФГУП “ВИМИ”, 2000.-№1.- С.62-65.
5. Портнов Е.М. Многофункциональные телекоммуникационные системы с функцией контроля и учета электроэнергии// Оборонный комплекс- научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал/ВИМИ.-М., 2000.- №1.-С.57-60.
6. Дубовой Н.Д. Портнов Е.М., Модуль ввода аналоговых сигналов для прямых измерений электрических параметров распределенных энергообъектов// Оборонный комплекс- научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. журнал. М.: ФГУП “ВИМИ”, 2002.-№4.- С.87-95.
7. Абрамов А.Ю., Портнов Е.М. Способ организации канала прямых измерений параметров распределительных электросетей// Известия вузов. Электроника.- М., 2006.- №3.- С.50-53.
8. Баин А.М., Портнов Е.М. Методика синтеза многофункциональных систем управления энергообеспечением. XXXVIII Международная конференция “Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе”// Труды конференции, Украина, Крым, Ялта-Гурзуф, 2012.-С.154-157.
9. Портнов Е.М. К вопросу создания интегрированных информационно-управляющих систем в энергетике// Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2011. № 4. С. 77-80.
10. Баин А.М. Способ прямых измерений параметров распределительных электросетей// Естественные и технические науки. 2012. № 3. С. 240-241.

Sergey Artushenkov

Limited Liability Company "ARSIS"
Russia, Surgut
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Aleksandr Bain

National Research University of Electronic Technology
Russia, Zelenograd
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Evgeny Komarov

National Research University of Electronic Technology
Russia, Zelenograd
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Gregory Smyslov

National Research University of Electronic Technology
Russia, Zelenograd
E-Mail: evgen_uis@mail.ru

Direct measurement's methodology of electrical parameters of the electric motor sucker rod pump unit

Abstract. Currently, for measuring electrical parameters of distributed power facilities often use specialized systems that perceive information not directly from the primary sensors of the measured parameters, but from intermediate converters normalizing signals from the sensors to the standard values. Obviously, in modern distribution electricity networks' parameters measurement-oriented systems is a need for implementation of the «direct» measurements channel, or avoiding the use of secondary transducers. Positive features of the «direct» measurements method are achieved due to the absence in the measuring circuit inertial signal AC-DC converters suppressing the harmonic components of the measured signal with frequencies above 5 - 10 Hz.

The main disadvantage of the traditional direct measurements method is the computing complexity of obtaining the desired electrical network parameters for a large number of instantaneous values of the parameter, obtained in one period of electrical network frequency. This paper proposes an effective method providing a simplification of "direct" measurements of current and peak values of the currents and voltages, as well as the phase angle shift between current and voltage. The use of the proposed method simplifies the structure and increases the reliability of the measuring devices used to enter information from the measuring current and voltage transformers.

Keywords: remote control system; direct measurements; electric motor; instantaneous values; electrical parameters; deep-well pumping unit.

Identification number of article 55TVN414

REFERENCES

1. Mejzda F. Jelektronnye izmeritel'nye pribory i metody izmerenij. – M.: Mir, 1990. – 535 s.
2. Jelektroradioizmerenija: uchebnik / V.I. Nefedov, A.S. Sigov, V.K. Bitjukov [i dr.] / pod red. A.S. Sigova – M.: FORUM; INFRA-M, 2004.
3. Metrologija i radioizmerenija / uchebnik [dlja vuzov] // pod red. V.I. Nefedova. – M.: Vysshaja shk., 2003. – 526 s.
4. Beskrovnaja S.V., Portnov E.M., Povyszenie tochnosti izmerenij telekommunikacionnyh sistem dlja ASU TP jenergoob#ektov//Oboronnyj kompleks-nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii: Mezhotr. nauch.-tehn. zhurnal. M.: FGUP “VIMI”, 2000.-№1.- S.62-65.
5. Portnov E.M. Mnogofunktional'nye telekommunikacionnye sistemy s funkciej kontrolja i ucheta jelektrojenergii// Oboronnyj kompleks- nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii: Mezhotr. nauch.-tehn. zhurnal/VIMI.-M., 2000.- №1.-C.57-60.
6. Dubovoj N.D. Portnov E.M., Modul' vvoda analogovyh signalov dlja prjamyh izmerenij jelektricheskikh parametrov raspredelennyh jenergoob#ektov// Oboronnyj kompleks- nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii: Mezhotr. nauch.-tehn. zhurnal. M.: FGUP “VIMI”, 2002.-№4.- S.87-95.
7. Abramov A.Ju., Portnov E.M. Sposob organizacii kanala prjamyh izmerenij parametrov raspredelitel'nyh jelektrosetej// Izvestija vuzov. Jelektronika.-M., 2006.- №3.- S.50-53.
8. Bain A.M., Portnov E.M. Metodika sinteza mnogofunktional'nyh sistem upravlenija jenergoobespecheniem. XXXVIII Mezhdunarodnaja konferencija “Informacionnye tehnologii v nauke, sociologii, jekonomike i biznese”// Trudy konferencii, Ukraina, Krym, Jalta-Gurzuf, 2012.-C.154-157.
9. Portnov E.M. K voprosu sozdanija integrirovannyh informacionno-upravljajushhh sistem v jenergetike// Oboronnyj kompleks - nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. 2011. № 4. S. 77-80.
10. Bain A.M. Sposob prjamyh izmerenij parametrov raspredelitel'nyh jelektrosetej// Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2012. № 3. S. 240-241.