

УДК 621.317.1

## АЛГОРИТМ БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шевченко В.А.

### SHIPS ELECTRICAL POWER SYSTEMS' PARAMETERS FAST MEASUREMENT ALGORITHM

Shevchenko V.

*Предложен алгоритм и методика быстрой оценки и измерения основных параметров электроэнергии судовой электроэнергетической системы, построенной на основе синхронного генератора. Основная особенность нового решения базируется на применении усовершенствованной методики мультиплицированной обработки информации, поступающей от измерительных датчиков тока и напряжения судового генератора. Применение предложенной методики позволяет осуществить за время, не превышающее одного периода синусоидального напряжения, измерение линейного напряжения, фазного тока, коэффициента мощности, частоты тока и направление мощности. Предусмотрена возможность прогнозного расчета моментов времени достижения заданных значений амплитуд оцениваемых переменных. Алгоритм является универсальным, поскольку легко адаптируется в любые судовые электроэнергетические системы измерения, управления и мониторинга, имеет низкую измерительную погрешность и технически просто реализуем. Особенно эффективно применение предложенного алгоритма в судовых электроэнергетических системах, где необходимо динамическое поддержание и компенсация ряда специфических параметров (высокоточное позиционирование судна, быстрая коррекция коэффициента мощности, компенсация ударных электроэнергетических нагрузок).*

**Ключевые слова:** судовая электроэнергетическая система, измерение, параметры электроэнергии, алгоритм.

**Введение.** Использование цифровой измерительной и управляющей техники в судовой электроэнергетике дает большие возможности в развитии автоматизации процессов управления, контроля и защиты генераторных агрегатов (ГА). Современные быстродействующие судовые системы измерения параметров электроэнергии особенно востребованы на судах с комбинированными и гибридными электрическими пропульсивными

комплексами, на судах с системами динамического позиционирования, компенсации динамических нагрузок, беспилотных судах с электродвижением [1-3].

Алгоритмическое обеспечение автоматизированных систем управления (АСУ) судовыми многоагрегатными электрическими станциями рассмотрено в [4-6], где выделены наиболее важные, с точки зрения управления параметрами и составом ГА, процессы и измерительные процедуры.

Применение в судовых системах управления и релейной защиты цифровых контроллеров (в программно-аппаратной части и технике измерений электроэнергетических параметров) столкнулось с рядом задач [4, 7, 8], в том числе - обеспечения необходимых требований надежности функционирования и экономическим показателям.

В работах [4-6, 8] отмечено, что важнейшей составляющей частью таких судовых АСУ, каждого информационно-измерительного процесса является необходимость максимально быстрого измерения и оценки электроэнергетических параметров ГА: амплитуды и характера тока нагрузки во всех фазах, напряжения, частоты тока, фазового угла ( $\varphi$ ) сдвига между током и напряжением, направления мощности и других.

Требование высокого быстродействия информационно-измерительной системы (ИИС) связано с тем, что электроэнергетическая система упомянутых выше судов неразрывно связана с электрическим пропульсивным комплексом и системой стабилизации технологических параметров. В конечном счете, именно быстродействие ИИС обеспечивает высокое качество выполнения судном его главной задачи, характеризует его главные тактико-технические свойства и возможности.

Таким образом, наряду с необходимостью обеспечения надежности, экономичности и точности измерений при выполнении подпрограмм измерения энергетических параметров, остро возникла задача достижения высокого быстродействия всей ИИС.

Решение данной задачи потребовало поиска новых путей ее решения на базе системного подхода, с учетом известных [4, 9-11] цифровых способов обработки измерительной информации.

**Целью работы** является обоснование возможности применения предложенного алгоритма оценки параметров электрической энергии судовой электроэнергетической системы, функционирующей на основе синхронного генератора, с разработкой соответствующей методики измерения.

**Изложение основного материала исследования.** В общем виде задача измерения параметров электрической энергии в любой  $n$ -фазной системе электроснабжения сводится к определению множества величин  $\{I_1, \dots, I_n; i_1, \dots, i_n; U_1, \dots, U_n; u_1, \dots, u_n; f; \varphi\}$  в соответствии с принятым критерием быстродействия, где  $I_1, \dots, I_n$  и  $i_1, \dots, i_n$ , соответственно, действующие и мгновенные значения фазных токов;  $U_1, \dots, U_n$  и  $u_1, \dots, u_n$ , соответственно, действующие и мгновенные значения линейных напряжений;  $f$  - частота тока,  $\varphi$  - фазовый угол.

Считаем, что для измерения параметров электрической энергии в многофазной системе имеется преобразователь линейных напряжений и фазных токов генератора в дискретные сигналы, отображающие полупериоды их синусоид. В таком случае последовательный, побайтный анализ наборов состояний входных сигналов дает возможность установить алгоритм управления АЦП, на вход которого поступают нормализованные амплитудные значения фазных токов и линейных напряжений судового генератора.

При определении исходного состояния ИИС, в качестве базовых величин, выберем линейные напряжения фаз генератора. Отметим, что для  $n$ -фазной системы число возможных состояний такой системы составит  $S_{PLod} = 2n$  для нечетного числа фаз и равно  $S_{PLev} = n$ , если число фаз в системе четное. В свою очередь, число недопустимых состояний в  $n$ -фазной системе определяется выражением  $S_{ILod} = 2^n - 2n$  для нечетного числа фаз и  $S_{ILEv} = 2^n - n$  - для четного числа.

Рассмотрим трехфазную систему (рис. 1, а), как наиболее распространенный частный случай  $n$ -фазной судовой системы электроснабжения.

Здесь число возможных состояний дискретных сигналов, отображающих полупериоды гармонического сигнала, равно шести. Однозначные наборы 0-0-0 и 1-1-1 в симметричной трехфазной системе невозможны.

На рис. 1, б приведены диаграммы, поясняющие сущность предложенного алгоритма измерения

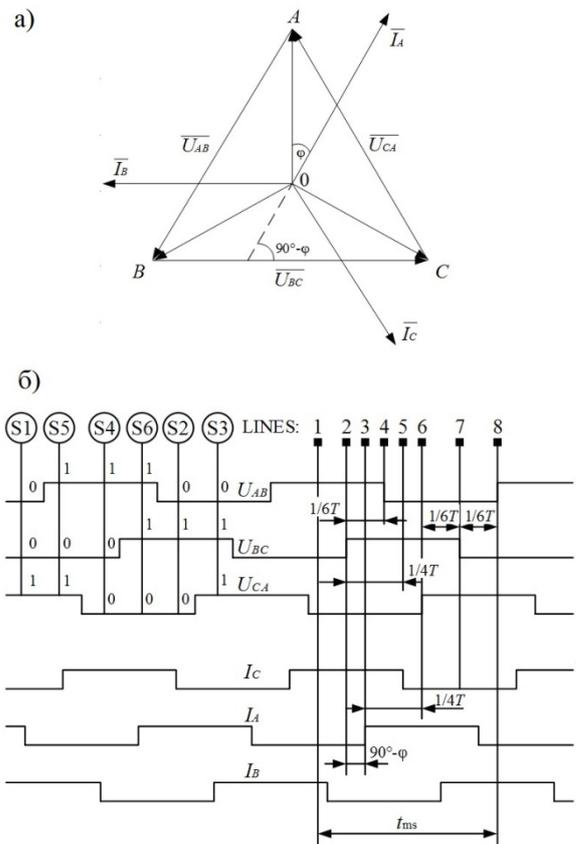


Рис. 1. Трехфазная система электроснабжения (а) и диаграммы (б), поясняющие алгоритм измерения

Возможные наборы состояний для последовательности чередования линейных напряжений  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$  обозначим  $S_1, \dots, S_6$  так, чтобы порядковый номер состояния совпадал с его двоичным кодом, то есть:  $S_1 - 001$  ( $U_{AB} = 0; U_{BC} = 0; U_{CA} = 1$ );  $S_2 - 010$ ;  $S_3 - 011$ ;  $S_4 - 100$ ;  $S_5 - 101$ ;  $S_6 - 110$ .

Каждое состояние определит единственно возможный по критерию быстродействия путь (алгоритм) решения задачи измерения.

Например, если исходное состояние  $S_4$  (на диаграмме это обозначено линией 1), то ближайшим по времени является изменение состояния бита  $U_{BC}$ . Поэтому программа измерения определяет момент перехода  $U_{BC}$  из «0» в «1» (линия 2) и записывает все исходное слово, в котором маскируются все биты, кроме  $U_{BC}$  и  $I_A$ . Анализ значений этих битов позволяет определить направление мощности генератора.

При этом:  
если  $U_{BC}$  переходит:

от 0 к 1, а  $I_A = 0$ ,  
от 1 к 0, а  $I_A = 1$  } , то это генераторный режим;

если  $U_{BC}$  переходит:

от 0 к 1, а  $I_A = 1$ ,  
от 1 к 0, а  $I_A = 0$  } , то это двигательный режим.

Далее производится отсчет единичных временных интервалов от линии 2 до моментов изменения состояния битов  $I_A$  и  $U_{BC}$  (линии 3 и 4, соответственно).

Полученные таким образом цифровые коды позволят определить значение угла  $\varphi$  и период  $T$ . В данном примере цифровой код интервала (линия 2 – линия 3) соответствует величине  $(90^\circ - \varphi)$ , а код интервала "линия 2 – линия 4" величине  $1/6T$ .

Такая информация позволяет определять моменты измерения амплитудных значений напряжения  $U_{BC}$  и фазных токов  $I_A, I_B, I_C$  (соответственно, по линиям 5, 6, 7, 8), следующие один за одним интервалом  $\tau = 1/6T$ .

Для случая, приведенного на диаграмме (рис. 1, б), момент измерения амплитуды тока  $I_A$  определяется равенством количества отсчитанных единичных временных интервалов величине  $1/4T + (90^\circ - \varphi)$  с момента перехода  $U_{BC}$  из 0 в 1.

В качестве альтернативы измерения амплитудных значений фазных токов  $I_i$  можно использовать измеренные мгновенные значения  $i_i$  и, не дожидаясь пока токи фаз достигнут своих амплитудных значений, определять их из известного выражения  $i_i = I_i \sin(\omega t + \psi)$ , при условии, что уже определены частота  $f$  и начальная фаза  $\psi$ .

Цифровые коды соответствующих значений  $I_A, I_B, I_C, U, f$  и  $\varphi$ , полученные описанным образом, позволяют рассчитать активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную мощность  $S$  по известным зависимостям:  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ ,  $Q = P \cdot \tan \varphi$  (либо  $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ );  $S = (P^2 + Q^2)^{0.5}$  (либо  $S = UI$ ), а также определить степень неравномерности их распределения по фазам (обрыв, короткое замыкание, несимметричная нагрузка и т.д.).

Рассматривая применение данного алгоритма с целью дальнейшего повышения быстродействия измерения активной и реактивной мощности ГА, можно отказаться от операций, связанных с их расчетом по измеренным значениям и фазы тока. Достичь этого можно за счет формирования импульса на измерение тока нагрузки в момент смены состояния битов специально выбранных напряжений для:

$$\begin{aligned} I_A &\rightarrow U_{BC}; \\ I_B &\rightarrow U_{CA}; \\ I_C &\rightarrow U_{AB}. \end{aligned}$$

В этом случае, как видно из рис. 1, б, моменты измерения токов будут производиться по линиям 2, 4, 6 соответственно для токов  $I_A, I_B, I_C$ . Однако возможность реализации такого приема во многом зависит от быстродействия и принципа действия используемого в АСУ АЦП.

Можно считать, что предложенный алгоритм оценки параметров электроэнергии синхронного генератора, основанный на методике мультиплицированной обработки сигналов соответствующих датчиков тока и напряжения, предоставляет возможность за время, не превышающее одного периода гармонического напряжения, измерить: амплитудные значения токов нагрузки во всех фазах, линейное напряжение и фазовый угол нагрузки, частоту тока и направление потока мощности.

Описанный алгоритм измерения параметров электроэнергии позволяет установить рациональную методику управления процессом измерения.

Считаем, что представление информации о параметрах ( $I_A, I_B, I_C, U, f$  и  $\varphi$ ) осуществляется в микропроцессорной системе циклически, с периодом  $T_{ЦП}$ , и связано с работой АЦП. По этой причине эффективность предложенного алгоритма измерения параметров и структура управления измерительным процессом будут зависеть от быстродействия и точности преобразования используемого АЦП. Последнее, в свою очередь, зависит от метода преобразования и элементной базы преобразования.

Технические характеристики современных АЦП позволяют обеспечивать выборку и преобразование сигнала с частотой до 300 МГц [12]. И из соображений экономичности и целесообразности (теорема Котельникова-Шеннона) при решении задачи измерения параметров электроэнергии  $\{I_A, I_B, I_C, U, f$  и  $\varphi\}$  можно ограничиться АЦП с такими характеристиками, как погрешность 0,05-1% и максимальная частота преобразования 20-30 МГц.

Особенностью программной реализации предложенной методики, является адаптация процесса измерения к начальным условиям, а именно: состоянию параметров электроэнергии на момент ввода информации  $S = \{S_1, \dots, S_n\}$  и временному интервалу между моментом ввода  $S_i$  и началом его анализа  $t = \{t_1, \dots, t_n\}$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots, n$ .

Решение задачи повышения быстродействия в данном случае сводится к указанию, какую альтернативу из множества  $C = \{U_1, \dots, U_q\}$ , где  $q$  – число таких альтернатив, следует реализовать в зависимости от  $S$  и  $t$  [13].

Эта задача решается правилом (алгоритмом)  $R_A$ :

$$U_i = R_A \{S, U_{i-1}, t\},$$

где  $U_i, U_{i-1} \in C$ .

При этом правило  $R_A$  решает задачу альтернативной оптимизации: по критерию быстродействия  $U$  путем проверки условий  $P_1, P_2$  и  $P_3$  для определения состояния  $S_i$  из набора  $\{S_1, \dots, S_6\}$ .

По установленному состоянию  $S_i$  альтернативные управления  $U_i$  вводят в алгоритм нужный набор условий для выполнения процесса обработки информации, а сама архитектура алгоритма при этом остается неизменной.

Алгоритм программы измерения параметров электроэнергии ГА, с учетом принципов PRMP (Resource Management Program - программного управления ресурсами), а также [14], записан на языке логических схем алгоритмов (ЛСА):

$$PRMP = S_H \cdot A_1 \cdot P_1 \overset{2}{\uparrow} P_2 \overset{3}{\uparrow} P_3 \overset{1}{\uparrow} \omega \overset{9}{\uparrow} U_1 \omega \overset{10}{\uparrow} P_2 \overset{5}{\uparrow} \omega \overset{6}{\uparrow} P_3 \overset{4}{\uparrow} U_2 \omega \overset{10}{\uparrow} U_3 \omega \overset{10}{\uparrow} P_3 \overset{9}{\uparrow} \omega \overset{8}{\uparrow} P_3 \overset{7}{\uparrow} U_4 \omega \overset{10}{\uparrow} U_5 \omega \overset{10}{\uparrow} U_6 \omega \overset{10}{\uparrow} A_2 \omega \overset{25}{\uparrow} MR_1 \overset{10}{\uparrow} MR_{II} \overset{19}{\uparrow} A_3 \cdot A_5 \overset{11}{\downarrow} MR_{III} \overset{16}{\uparrow} A_8 \overset{12}{\downarrow} MR_{IV} \overset{12}{\uparrow} A_{10} \cdot A_{11} \cdot A_{12} \overset{13}{\downarrow} P_{13} \overset{13}{\uparrow} A_6 \overset{15}{\downarrow} PC_1 \cdot A_{17} \cdot PC_{II} \cdot A_{17} \cdot PC_{III} \omega \overset{25}{\uparrow} MR_{IV} \overset{11}{\uparrow} A_{10} \cdot A_{11} \overset{17}{\downarrow} MR_{III} \overset{17}{\uparrow} A_8 \cdot A_{12} \overset{18}{\downarrow} A_6 \cdot A_{18} \omega \overset{15}{\uparrow} A_4 \cdot A_5 \overset{20}{\downarrow} MR_{IV} \overset{22}{\uparrow} A_{10} \cdot A_{11} \overset{21}{\downarrow} MR_{II} \overset{21}{\uparrow} A_9 \cdot A_{13} \omega \overset{18}{\uparrow} MR_{II} \overset{20}{\downarrow} A_7 \overset{23}{\downarrow} MR_{IV} \overset{23}{\uparrow} A_{10} \cdot A_{11} \overset{24}{\downarrow} P_{14} \overset{24}{\uparrow} \omega \overset{14}{\uparrow} S_K$$

где:  $S_H$  и  $S_K$  – начальный и конечный операторы;  $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5$  и  $P_6$  – проверка условий  $U_{AB} = 0$ ;  $U_{BC} = 0$ ;  $U_{CA} = 0$ ;  $U_{AB} = 1$ ;  $U_{BC} = 1$  и  $U_{CA} = 1$ , соответственно;  $P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$  и  $P_{12}$  – проверка условий  $I_A = 0$ ;  $I_B = 0$ ;  $I_C = 0$ ;  $I_A = 1$ ;  $I_B = 1$  и  $I_C = 1$ , соответственно;  $P_{13}$  и  $P_{14}$  – проверка условий счета  $N_{CT} = 1/4T + (90^\circ - \varphi)$  и  $N_{CT} = 1/4T + \varphi$ , соответственно.  $U_1 - U_6$  - операторы управления записью условий состояния параметров в соответствующие ячейки памяти (приведены в табл. 1).

Таблица 1  
Операторы управления записью условий состояния измеряемых параметров в соответствующие ячейки памяти

Ячейка Опе- ратор	$MR_1$	$MR_1$ I	$MR_1$ II	$MR_1$ V	$PC_1$	$PC_{II}$	$PC_{III}$
$U_1$	$P_4$	$P_9$	$P_{12}$	$P_3$	$A_{16}$	$A_{15}$	$A_{14}$
$U_2$	$P_6$	$P_8$	$P_{11}$	$P_2$	$A_{15}$	$A_{14}$	$A_{16}$
$U_3$	$P_2$	$P_{10}$	$P_7$	$P_4$	$A_{14}$	$A_{16}$	$A_{15}$
$U_4$	$P_5$	$P_7$	$P_{10}$	$P_1$	$A_{14}$	$A_{16}$	$A_{15}$
$U_5$	$P_3$	$P_{11}$	$P_8$	$P_5$	$A_{15}$	$A_{14}$	$A_{16}$
$U_6$	$P_1$	$P_{12}$	$P_9$	$P_6$	$A_{16}$	$A_{15}$	$A_{14}$

Дополнительно обозначены операторы и сигналы:

$A_1$  – оператор ввода цифрового кода напряжений  $U_{AB} - U_{BC} - U_{CA}$ ;

$A_2$  – выдача аварийного сигнала «Нарушено чередование фаз»;

$A_3$  и  $A_4$  – регистрация состояний «Генераторный режим работы ГА» и «Двигательный режим работы ГА», соответственно;

$A_5$  и  $A_6$  – операторы начала и остановки счета, соответственно;

$A_7, A_8, A_9, A_{10}$  – операторы записи в ячейки памяти значений  $\varphi$ ;  $90^\circ - \varphi$ ;  $180^\circ - \varphi$  и  $1/6T$ , соответственно;

$A_{11}$  – расчет значения  $T_1, 1/2T, 1/4T$ ;

$A_{12}$  и  $A_{13}$  – расчет значения « $\varphi$ » по формулам  $\varphi = 1/4T - (90^\circ - \varphi)$  и  $\varphi = 1/2T - (180^\circ - \varphi)$ , соответственно;

$A_{14}, A_{15}$  и  $A_{16}$  – измерение  $I_A, I_B$  и  $I_C$ , соответственно;

$A_{17}$  и  $A_{18}$  выдержки времени  $\tau = 1/6T$  и  $\tau = 1/4T$ , соответственно;  $\omega$  – безусловный переход.

В табл.1 обозначено:

$MR_1 - MR_{IV}$  ячейки памяти для записи соответствующих условий;

$PC_1 - PC_{III}$  – ячейки памяти для записи амплитудных значений фазных токов.

Техническая реализация методики вполне осуществима с помощью существующих судовых микроконтроллерных систем, при обеспечении необходимой разрядности и частоты дискретизации.

**Выводы.** Предложен алгоритм измерения параметров электроэнергии судовой электроэнергетической системы, базирующийся на анализе характерных точек гармонического напряжения и тока в реальном времени.

Алгоритм позволяет разрабатывать быстродействующие системы управления процессом измерения, как для трехфазных, так и для многофазных систем электроснабжения; алгоритм универсален, легко адаптируется в любые судовые электроэнергетические системы измерения, управления и мониторинга, имеет низкую измерительную погрешность и несложную техническую реализацию.

Мультиплицированная обработка измеряемых параметров дает возможность определения широкого круга параметров электроэнергии, включая ток, напряжение, коэффициент мощности, направление передачи мощности генераторного агрегата.

Существенно возрастают возможности в части повышения быстродействия системы защиты судовой электроэнергетической системы от перегрузок и коротких замыканий.

### Л и т е р а т у р а

1. Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin / Eastern European Journal of Enterprise Technologies, 2016, V. 3, № 8(81), pp. 10-21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.
2. Букарос А.Ю. Корректор коэффициента мощности для частотно-регулируемого электропривода / А. Ю. Букарос, О. А. Онищенко // Научные труды НТУ "ХПИ": Энергетика. Экология. Человек, 2012, С. 11-17.
3. Уточнение параметров математической модели трехфазного асинхронного электродвигателя системы электродвижения автономного плавательного

- аппарата / Я.Б. Волянская, С.М. Волянский, О.А. Онищенко // Морские интеллектуальные технологии, 2017. Т. 3, № 4 (38), с. 132-138.
4. Онищенко О. А. Информационно-измерительная система для оценки энергетической эффективности холодильных установок на основе среды VisiDAQ / О.А. Онищенко, А.М. Приходько // Вестник КГПУ (Кременчужского государственного технического университета), 2002, № (12)1, с. 301-303
  5. Шевченко В. А. Верификация функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Автоматизация судовых технических средств: науч. - техн. сб., 2015, Вып. 21, с. 70-76.
  6. Захарченко В. Н. Решение задач управления судовой электроэнергетической установкой при изменении нагрузки / В. Н. Захарченко, В. А. Шевченко // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб., 2015, Вып. 36, с. 74-82.
  7. E. Kyriakides, G.T. Heydt, V. Vittal. On-line estimation of synchro-nous Generator parameters using a damper current observer and a graphic user interface. IEEE Transactions on Energy Conversion. V. 19, Is 3, Sept., 2004.
  8. H. B. Karayaka, A. Keyhani, B. Agrawal, D. Selin, G. T. Heydt. Identification of armature circuit and field winding parameters of large utility generators. Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, vol. 1, pp. 29-34, Jan., 1999.
  9. Sarkar, A.; Sengupta, S. A low-cost fault-tolerant real, reactive, and apparent power measurement technique using microprocessor. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2007, 56, 2672-2680.
  10. Baloi, A., & Pana, A. A Virtual Measurement Instrument for Three Phase Electrical Networks Analysis, Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Engineering Education (EDUCATION '11), Corfu Island, Greece, 14-16 July, 2011 (215-220). <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Corfu/EDUC/EDUC-29.pdf>.
  11. O. Krejcar, R. Frischer. Real Time Voltage and Current Phase Shift Analyzer for Power Saving Applications. Sensors, vol. 12, no. 8, pp. 11391-11405, 2012. <http://dx.doi.org/10.3390/s120811391>
  12. D. M. Laverty, J. Hastings and X. Zhao. An open source analogue to digital converter for power system measurements with time synchronisation. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Turin, 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/I2MTC.2017.7969784.
  13. Приборостроение и автоматический контроль. Сб. ст. / Редкол.: В.В. Казакевич (пред.) и др. - М. : Машиностроение, Вып. 3 : Автоматические оптимизаторы. Теория и применение, 1986, 276 с.
  14. Шевченко В. А. Способ верификации функциональных алгоритмов системы управления многоагрегатной судовой электрической станцией / В. А. Шевченко // Научный вестник Херсонской государственной морской академии: науч. -техн. сб., 2015. Вып. 1, с. 296-301.
  2. Bukaros A.Yu. Korrektor koeffitsienta moschnosti dlya chastotno-regulirovannogo elektroprivoda / A. Yu. Bukaros, O. A. Onischenko // Nauchnyie trudyi NTU "HPI": Energetika. Ekologiya. Chelovek, 2012. S. 11-17.
  3. Utochnenie parametrov matematicheskoy modeli trehfaznogo asinhronnogo elektrodvigatelya sistemyi elektrodvizheniya avtonomnogo plavatelnogo apparata / Ya.B. Volyanskaya, S.M. Volyanskiy, O.A. Onischenko // Moskie intellektualnyie tehnologii, 2017. T. 3, # 4 (38). S. 132-138.
  4. Onischenko O. A. Informatsionno-izmeritelnaya sistema dlya otsenki energeticheskoy effektivnosti ho-lodilnyih ustanovok na osnove sredyi VisiDAQ / O.A. Onischenko, A.M. Prihodko // Vestnik KGPU (Kremen-chuzhskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta), 2002. # (12)1. S. 301-303
  5. Shevchenko, V.A. Verifikatsiya funktsyonal'nykh algoritmov systemy upravleniya mnogoagregatnoy sudovoy electrichekoy stantsiy / V.A. Shevchenko // Ship's technical means automatization: nauchn. tehn. sb., 2015, Iss. 21, pp. 70-76.
  6. Zakharchenko, V.N. Resheniye zadach upravleniya sudovoy elektroenergeticheskoy ustanovkoy pri izmenenii nagruzki / V.N. Zakharchenko, V.A. Shevchenko // Ship's power plants: nauchn. tehn. sb., 2015, Iss. 36, pp. 74-82.
  7. E. Kyriakides, G.T. Heydt, V. Vittal. On-line estimation of synchro-nous Generator parameters using a damper current observer and a graphic user interface. IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 19, Iss. 3, Sept. 2004.
  8. H. B. Karayaka, A. Keyhani, B. Agrawal, D. Selin, G. T. Heydt. Identification of armature circuit and field winding parameters of large utility generators. Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, vol. 1, pp. 29-34, Jan., 1999.
  9. Sarkar, A.; Sengupta, S. A low-cost fault-tolerant real, reactive, and apparent power measurement technique using microprocessor. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2007, 56, 2672-2680.
  10. Baloi, A., & Pana, A., (2011), A Virtual Measurement Instrument for Three Phase Electrical Networks Analysis, Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Engineering Education (EDUCATION '11), Corfu Island, Greece, 14-16 July 2011 (215-220). <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2011/Corfu/EDUC/EDUC-29.pdf>.
  11. O. Krejcar, R. Frischer. Real Time Voltage and Current Phase Shift Analyzer for Power Saving Applications. Sensors, vol. 12, no. 8, pp. 11391-11405, 2012. <http://dx.doi.org/10.3390/s120811391>
  12. D. M. Laverty, J. Hastings and X. Zhao. An open source analogue to digital converter for power system measurements with time synchronisation. IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Turin, 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/I2MTC.2017.7969784
  13. Priborostroenie i avtomaticheskiiy control. Sb. st. Redcol.: V.V. Kazakevich (pred.) i dr. - M. : Engineering industry, Iss. 3 : Automatic optimizers. Theory and application, 1986, 276 p.
  14. Shevchenko, V.A. Sposob verifikatsii funktsyonal'nykh algoritmov systemy upravleniya mnogoagregatnoy sudovoy electrichekoy stantsiy / V.A. Shevchenko // Scientific herald of Kherson state maritime academy: nauchn. tehn. sb., 2015. Iss. 1, p. 296-301.

#### References

**Шевченко В.А. Алгоритм швидкої оцінки параметрів суднових електроенергетичних систем.**

Запропонований алгоритм та методика швидкої оцінки та вимірювання основних параметрів електроенергії суднової електроенергетичної системи, побудованої на основі синхронного генератора. Основна особливість нового рішення базується на застосуванні удосконаленої методики мультиплікованої обробки інформації, що поступає від вимірювальних датчиків струму та напруги суднового генератора. Застосування запропонованої методики дозволяє здійснити за час, що не перевищує одного періоду синусоїдальної напруги, вимірювання лінійної напруги, фазного струму, коефіцієнту потужності, частоти струму та напрямку потужності. Передбачена можливість прогнозного розрахунку моментів часу досягнення заданих значень амплітуд змінних, що оцінюються. Алгоритм є універсальним тому, що легко адаптується у будь-які суднові електроенергетичні системи вимірювання, управління та моніторингу, має низьку вимірювальну похибку та технічно легко реалізується. Особливо ефективно застосування запропонованого алгоритму у суднових електроенергетичних системах, де необхідне динамічне підтримування та компенсація ряду специфічних параметрів (високоточне позиціонування судна, швидка корекція коефіцієнту потужності, компенсація ударних електроенергетичних навантажень).

**Ключові слова:** суднова електроенергетична система, вимірювання, параметри електроенергії, алгоритм.

**Shevchenko V.A. Ships electrical power systems' parameters fast measurement algorithm.**

Ship electrical power system with synchronous generators basic parameters measurement algorithm and method is offered. The main feature of new solution is based on the application of advanced multiplied data processing method, the primary data is coming from generator current and voltage sensors. Offered method application allows in period of time faster than one sinusoid period to measure: line voltage, phase current, power factor, current frequency and direction of the power. The predictive calculation possibility of evaluating variables peak values sampling moments is provided. The algorithm is multipurpose because it can be easily adopted in any ship's electrical power measurement, control and monitoring systems, it has small measuring errors and simple technical implementation. Application of the offered algorithm is especially effective in ship's electrical power systems where a number of specific parameters (high accuracy ship dynamic positioning, fast power factor correction, impact electrical load compensation) dynamic stabilization and compensation is necessary.

**Keywords:** ship's electrical power system, measurement, electrical power parameters, algorithm.

**Шевченко Валерій Анатолійович** – к.т.н., доцент кафедри «Електрообладнання і автоматика суден» Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: vash4891@gmail.com

Рецензент: д.т.н., проф. **Суворін А.В.**

Стаття подана 7.05.2018