

УДК 004.621

Ас.Г. РЗАЕВ

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ МГНОВЕННОЙ МОЩНОСТИ В ЦЕПИ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ROBUST NOISE MONITORING ТЕХНОЛОГИИ

Обоснована необходимость разработки средства измерения мгновенной мощности 3-х и 4-х проводной цепи трехфазного тока. Предложен вариант принципиальной схемы средства измерения мгновенной мощности на базе контроллера, алгоритм реализации измерения мгновенной мощности и алгоритм анализа помех в составе измерительной информации.

Ключевые слова: измерение, трехфазная цепь, ток, мгновенная мощность, микроконтроллер, RNM технология

1. Введение. Одним из параметров, определяющим техническое состояние контролируемых объектов, является потребляемая электрическая мощность.

Контроль потребляемой электрической мощности позволяет определить в техническом состоянии контролируемых объектов явно выраженные неисправности, такие как перегрузка, короткое замыкание и т.д.

Созданные в Институте кибернетика НАНА качественно новые технологии анализа помех (**Robust Noise Monitoring**) в составе измерительной информации потребляемой электрической мощности позволит определить неисправности в техническом состоянии оборудования на стадии зарождения дефектов [1-3].

Однако, при анализе циклических сигналов по технологии Robust Noise Monitoring, предъявляются жесткие требования к шагу дискретизации измерительной информации. Получение измерительной информации о мощности трехфазной цепи не возможно без измерения мгновенных значений напряжений и токов фаз и определения среднего значения мощности.

Известно [4-7], что при неравномерной нагрузке фаз применяются различные методы измерения мгновенной мощности в трехпроводной и четырехпроводной системах.

В трехпроводной системе измерение мощности производится методом двух ваттметров, как показано на рис. 1

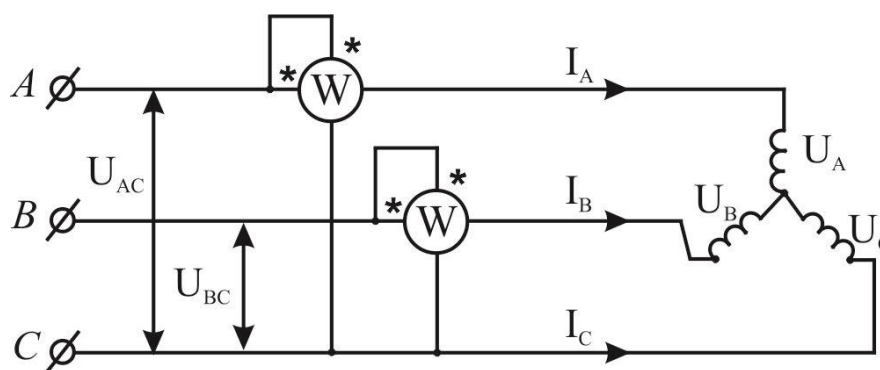


Рис.1. Измерение мощности трехпроводной цепи трехфазного тока методом двух ваттметров

Как видно из рисунка, мгновенное значение мощности, учитываемого первым ваттметром, равно $P_A = i_A \cdot u_{AC} = i_A (u_A - u_C)$.

Второй ваттметр учитывает мощность, мгновенное значение которой:

$$P_B = i_B \cdot u_{BC} = i_B (u_B - u_C)$$

Сумма показаний двух ваттметров:

$$P = P_A + P_B = i_A(u_A - u_C) + i_B(u_B - u_C) = i_A u_A + i_B u_B - (i_A + i_B) u_C \quad (1.1)$$

Учитывая 1-ый закон Кирхгофа:

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad \text{или} \quad i_A + i_B = -i_C$$

получается:

$$P = i_A \cdot u_A + i_B u_B + i_C u_C = P_A + P_B \quad (1.2)$$

Мгновенная мощность в цепи трехфазного тока равна сумме мгновенных мощностей отдельных фаз независимо от способа соединения приемников (звездой или треугольником) и определяется как сумма мгновенных значений ваттметров, подключенных по схеме рис.1.

В четырехпроводной системе измерение мощности производится методом трех ваттметров, как показано на рис.2.

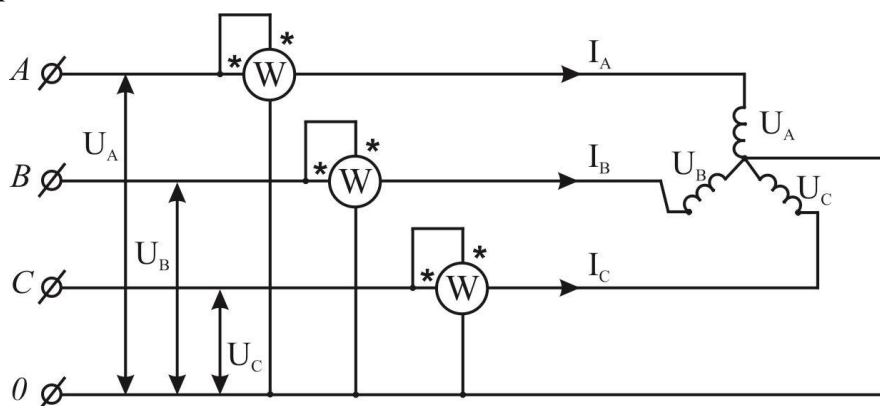


Рис.2. Измерение мощности в четырехпроводной цепи трехфазного тока

На основе этих классических схем фирмой ANALOG DEVICES (США) разработаны и выпускаются специальные интегральные микросхемы [8,9] ADE 7754 и ADE7758.

ADE7754 производит измерение активной и реактивной мощностей, среднеквадратического значения напряжения и тока и волновые параметры. ADE7754 имеет схемы измерения активной и реактивной мощностей посредством шести аналоговых сигналов, что допускает использовать прибор в качестве электросчетчика 3 фазных 3 и 4 проводных электросетей.

ADE7758 - ИС прецизионного многофазного электросчетчика с последовательным интерфейсом и импульсным выходом, подходящим для трехфазных 3-/4- проводных систем типа "звездочка" и "треугольник". ADE7758 содержит сигма-дельта аналога - цифровой преобразователь (АЦП) второго порядка, цифровой интегратор (в канале измерения тока), все схемы обработки сигналов, необходимые для измерения активной/реактивной/допустимой мощности и пикового значения напряжения и тока.

Однако эти интегральные микросхемы не обеспечивают доступ к мгновенным значениям мощности и рассчитаны на выдачу только интегральных результатов измерения в виде числа импульсов или в коде последовательным интерфейсом.

2. Постановка задачи. Нужно на основе классических схем с применением микроконтроллеров осуществить измерение мгновенной мощности в 3-х и 4-х проводной цепи трехфазного тока, удовлетворяющим требованиям помехотехнологий по шагу дискретизации непрерывных сигналов токов и напряжений.

3. Решение задачи. Принимая классические схемы рис.1 и 2 за основу и учитывая микросхемы ADE 7754 и ADE7758, можно рекомендовать схему измерения мгновенной мощности на микроконтроллере как для 3-х проводной (рис.3а), так и для 4-х проводной (рис.3б) цепи трехфазного тока.

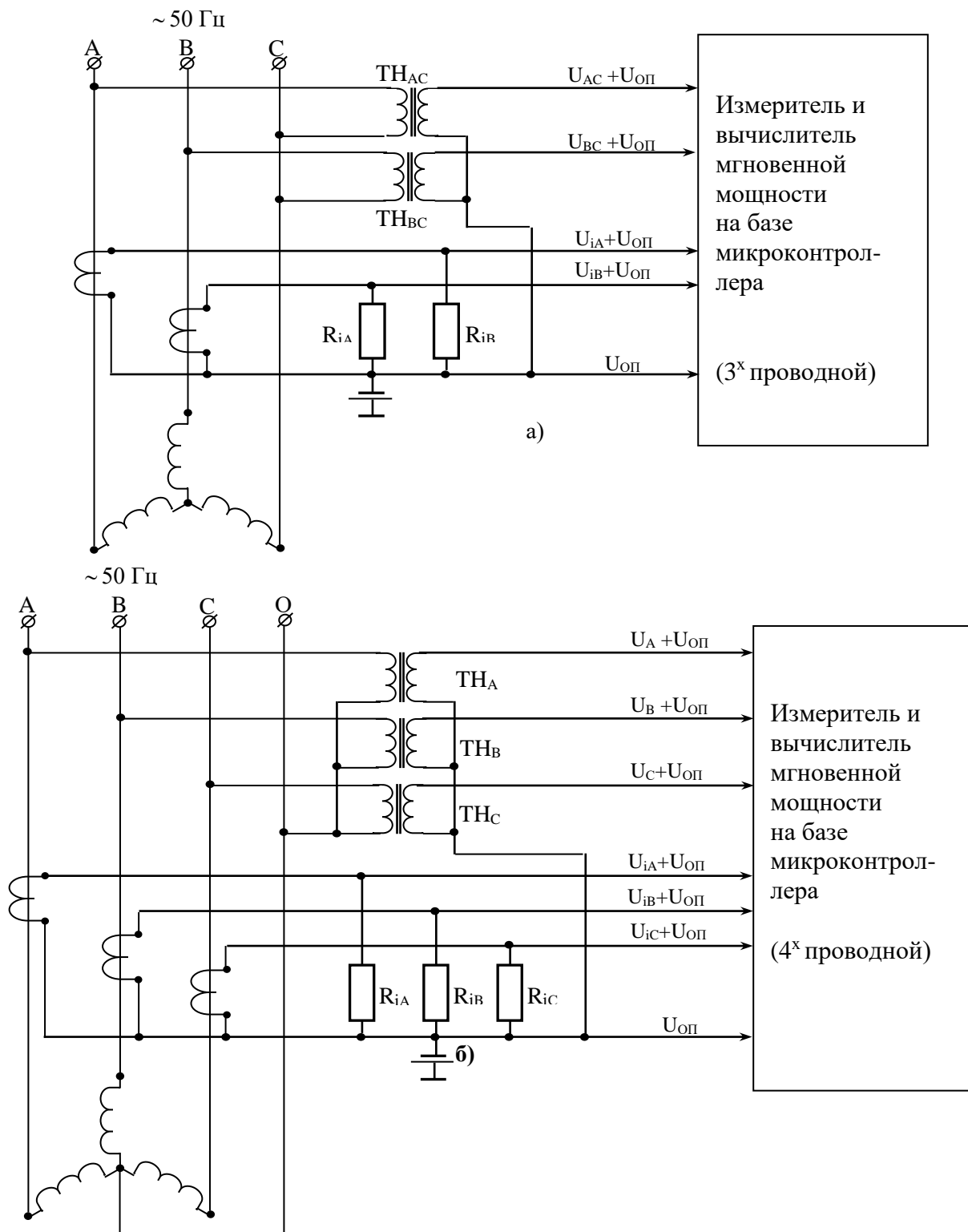


Рис.3. Структурная схема измерения мгновенной мощности трехфазного тока на микроконтроллере:
 а - для трехпроводной цепи; б - для четырехпроводной цепи.

Для выбора микроконтроллера сформулируем основные требования к его функции и техническим показателям:

3.1. Микроконтроллер должен выполнять следующие функции:

3.1.1. Осуществлять измерение мгновенной мощности 3-х или 4-х проводной цепи трехфазного тока в течение 2 сек. и сохранность в памяти для дальнейшей передачи в компьютер:

а) При 3-х проводной цепи (рис.3а) функционирование контроллера включает в себя:

- последовательное переключение (с дискретностью $\tau_{изм}$) аналоговых каналов на вход АЦП для измерения и преобразования напряжений в соответствующий 10-разрядный код.

- занесение результатов измерения в выделенные адреса памяти для каждого канала [канал 1 - u_{on} , канал 2 - ($u_{iB}+u_{on}$), канал 3 - ($u_{LA}+u_{on}$), канал 4 - ($u_{BC}+u_{on}$), канал 5 - ($u_{AC}+u_{on}$)];

- вычисление мгновенной мощности по нижеуказанной формуле и занесение значений в выделенную область памяти:

$$P_i = (C_{2k_i} - C_{1k_i}) \times (C_{4k_i} - C_{1k_i}) + (C_{3k_i} - C_{1k_i}) \times (C_{5k_i} - C_{1k_i}) \quad (3.1)$$

где C_{jk_i} - содержимое j -го канала в i -ом измерении

в) При 4-х проводной цепи (рис.3б) функционирование контроллера включает в себе:

- последовательное переключение (с дискретностью $\tau_{изм}$) аналоговых каналов (согласно схеме рис.3б, шт. не менее 7) АЦП для измерения и преобразования напряжений в соответствующий 10-разрядный код.

- занесение результатов измерения в выделенные адреса памяти для каждого канала [канал 1 - u_{on} , канал 2 - ($u_{iC}+u_{on}$), канал 3 - ($u_{iB}+u_{on}$), канал 4 - ($u_{LA}+u_{on}$), канал 5 - (u_C+u_{on}), канал 6 - (u_B+u_{on}), канал 7 - (u_A+u_{on})];

- вычисление мгновенной мощности по нижеуказанной формуле и занесение в память, выделенной для них:

$$P_i = (C_{2k_i} - C_{1k_i}) \times (C_{5k_i} - C_{1k_i}) + (C_{3k_i} - C_{1k_i}) \times (C_{6k_i} - C_{1k_i}) + (C_{4k_i} - C_{1k_i}) \times (C_{7k_i} - C_{1k_i}) \quad (3.2)$$

где C_{jk_i} - содержимое j -го канала в i -ом измерении

3.1.2. Осуществить вычисление активной мощности за каждый период по формуле:

$$P_{ak_L} = \frac{1}{N_L} \sum_{i=1}^{N_L} P_i \quad (3.3)$$

где L - количество периодов тока в измеренной информации; N - количество отсчетов в периоде.

3.1.3. Осуществить анализ информации сохраненной в памяти по технологии Robust Noise Monitoring и определение параметров помехи.

Как известно [1-3], зашумленный сигнал мощности также можно представить в виде:

$$g(t) = x(t) + \varepsilon(t) \quad (3.4)$$

где $g(t)$ - зашумленный сигнал, $x(t)$ - полезный сигнал без шума и $\varepsilon(t)$ - шум (помеха). Так как, мы имеем дискретные значения сигнала с периодом Δt , равенство (3.4) можно представить в виде:

$$g(i\Delta t) = x(i\Delta t) + \varepsilon(i\Delta t) \quad (3.5)$$

Представим, что мы имеем $g(i\Delta t)$ в количестве $2*N$, то есть $i \in [1, 2N]$. Тогда характеристики сигнала и шума вычисляются по следующим алгоритмам:

- среднее значение сигнала

$$\bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(i\Delta t) \quad (3.6)$$

- среднеквадратичное значение сигнала

$$g^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g^2(i\Delta t) \quad (3.7)$$

После нахождения среднего значения сигнал центрируется по формуле: $g(i\Delta t) = g(i\Delta t) - \bar{g}$.
 Дальнейшие вычисления проводятся центрированными значениями.

- дисперсия сигнала;

$$D_g = R_{gg}(\mu=0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g(i\Delta t)g(i\Delta t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N g^2(i\Delta t) \quad (3.8)$$

- дисперсия шума в составе сигнала;

$$D_\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [g(i\Delta t)g(i\Delta t) - 2g(i\Delta t)g(i+2)\Delta t + g(i\Delta t)g(i+1)\Delta t] \quad (3.9)$$

- значения взаимной корреляции между сигналом и шумом;

$$R_{X\varepsilon}(\mu=0) \approx \frac{1}{2} [R_{gg}(\mu=0) - [R_{gg}(\mu=1) + (R_{gg}(\mu=2) - R_{gg}(\mu=3))] - D_\varepsilon] \quad (3.10)$$

- значения помехокорреляции между сигналом и шумом;

$$R_{X\varepsilon} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [g(i\Delta t)g(i\Delta t) - [g(i\Delta t)g((i+1)\Delta t) + g(i\Delta t)g((i+2)\Delta t) - g(i\Delta t)g((i+3)\Delta t)]] \quad (3.11)$$

Все указанные характеристики вычисляются без выделения шума из зашумленного сигнала.

3.1.4. По запросу от компьютера выдать в компьютер информацию о вычисленных параметрах помехи и среднее значение мощности за каждый период тока в трехфазной цепи. Для этого микроконтроллер должен иметь интерфейсы UART или SPI.

Для хранения программы указанных алгоритмов, составленных на языке C++, потребуется не более 256 Кбайт флэш памяти.

3.2. Микроконтроллер должен иметь следующие основные характеристики:

Для определения объема оперативной памяти воспользуемся следующими соображениями:

из курса общей электротехники известно, что мгновенная мощность представляет собой сумму двух величин – постоянной мощности $U \cdot I \cdot \cos \varphi$ и переменной $UI \cos(2\omega t + \varphi)$, имеющей амплитуду UI и изменяющейся с двойной частотой. Это означает, что шаг дискретизации при измерении мгновенной мощности должен быть в два раза меньше, чем при измерении синусоидального тока или напряжения питающей сети.

Если предположить, что непрерывную синусоидальную функцию за период с достаточной точностью можно восстановить по измеренным дискретным значениям с частотой 50 раз больше, чем частота восстанавливаемой синусоиды, тогда можно придти к следующему выводу:

при измерении мгновенной мощности промышленной частоты (50 Гц) достаточно будет его дискретизировать с частотой 5000 Гц (шагом дискретизации 200 мксек.).

Исходя из полученного шага дискретизации объем оперативной памяти для хранения значений мгновенной мощности за 2,0 сек для промышленной частоты с учетом объема каждого значения по 2 байта составит: $(2000000:200) \times 2 = 20000$ Байт.

С учетом полученного шага дискретизации (200 мксек.) и требований к количеству каналов АЦП (не менее 7) дискретность переключения аналоговых каналов – $t_{изм}$ должна быть не более $200:7=28,57$ мксек.

Для организации аналогового выхода мгновенной мощности необходимо иметь не менее одного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) разрядностью не менее 10.

С учетом выше определенных требований к основным параметрам микроконтроллера нами выбран однокристалльный 32 разрядный микроконтроллер LPC 2148 с ядром ARM 7 TD MI-S [10]. Основные параметры контроллера LPC 2148 приведены в таблице 1.

Основные параметры **Таблица 1**

ЦПУ:Ядро	ARM7TDMI
ЦПУ: F,МГц	от 0 до 60
Память: Flash,КБайт	512
Память: RAM,КБайт	40
И/О (макс.),шт.	45
Таймеры: 32-бит,шт	2
Таймеры: Каналов ШИМ,шт	3
Таймеры: RTC	Да
Интерфейсы: UART,шт	2
Интерфейсы: SPI,шт	2
Интерфейсы: I2C,шт	2
Аналоговые входы: Разрядов АЦП,бит	10
Аналоговые входы: Каналов АЦП,шт	14
Аналоговые входы: Быстродействие АЦП, мксек.	2.44
Аналоговые выходы: Разрядов ЦАП,бит	10
Аналоговые выходы: Каналов ЦАП,шт	1
VCC,В	от 3 до 3.6
ICSS,мА	100
TA,°C	от -40 до 85
Корпус	LQFP-64

Как видно из таблицы 1 основные параметры выбранного микроконтроллера LPC 2148 намного превосходят требуемые для реализации, поставленной в статье цели

4. Выводы. Для 3-х и 4-х проводной цепи трехфазного тока предложен вариант принципиальной схемы измерения мгновенной мощности, который легко реализуется на базе микроконтроллера. Разработан алгоритм измерения и вычисления мгновенной мощности, обеспечивающий в последующем применение RNM технологии для анализа данных электрической мощности. Определены выполняемые функции и требования к основным параметрам микроконтроллера. Выбран однокристалльный 32 разрядный микроконтроллер LPC 2148 с ядром ARM 7 TD MI-S для реализации составленных алгоритмов.

Литература

1. Telman Aliev, Digital Noise Monitoring of Defect Origin, Springer-Verlag, London (2007), 235 p.
2. Telman Aliev, Robust Technology with Analysis of Interference in Signal Processing, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York (2003), 199 p.
3. Алиев Т.А., Гулуев Г.А., Рзаев А.Г., Пашаев Ф.Г. Корреляционные индикаторы микроизменений в технических состояниях объектов контроля // Кибернетика и системный анализ, Киев, 2009, №4 с.

- 169-178. (Т.А. Aliev, G.A.Guluyev, А.Н. Rzayev, F.H. Pashayev. Correlated indicators of microchanges in technical states of control objects. Cybernetics and Systems Analysis, Springer New York, No.4, 2009)
4. Измерение мощности в цепях переменного тока //gavoronkova. professorjournal.ru/c/document_library/get
 5. Безикович А.Я., Шапиро Е.З. Измерение электрической мощности в звуковом диапазоне частот. - Л.: Энергия. Ленингр. отд., 1980. -168 с.
 6. Чинков В.Н. Исследование метода измерения электрической мощности, основанного на цифровой обработке сигналов с время импульсными АЦП // Український метрологічний журнал . -2007. -№ 3. -С. 15–19.
 7. В.В. Громов, А.Л. Виницкий, О.Н. Медунина Измерение активной и реактивной мощности в трехфазной цепи. Учебное электронное текстовое издание © ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2009,Екатеринбург
 8. ADE7754 ИС многофазного многофункционального электросчетчика с последовательным интерфейсом.
 9. ADE7758 Многофункциональная ИС многофазного электросчетчика, обеспечивающая раздельное измерение во всех каналах.
 10. Контроллеры LPC2148, Однокристалльные 16/32-разрядные микроконтроллеры с ядром ARM7TDMI-S catalog.gaw.ru

UOT 004.621

As.H. Rzayev. Robust noise monitoring technology ilə analiz üçün üçfazlı cərəyan dövrəsində ani gücü ölçmə prinsipi.

Bu məqalədə 3 və 4 məftilli üçfazlı cərəyan dövrəsində gücün ani qiymətinin ölçülməsini həyata keçirən vasitənin yaradılmasının zəruriliyi əsaslandırılır. Gücün ani qiymətini ölçmək üçün mikrokontroller bazasında prinsipial sxem, ani gücün ölçülməsini yerinə yetirən alqoritm və ölçülmüş məlumatın tərkibində küyün analizi alqoritmi verilmişdir.

Açar sözlər: ölçü, üçfazlı dövrə, cərəyan, ani güc, mikrokontroller, RNM texnologiya

As.H. Rzayev. Principle of measurement of instantaneous power in the three-phase circuit for the analysis by robust noise monitoring technology.

The present paper demonstrates the need for developing a tool for measuring instantaneous power in the three- and four-wire circuit of the three-phase current. The author proposes a version of the principal diagram of a controller-based device for measuring the instantaneous power, an algorithm for implementing the measurement of the instantaneous power and an algorithm for analysis of noise contained in the measurement information.

Keywords: measurement, three-phase circuit, current, instantaneous power, microcontroller, RNM technology