

УДК 621.317.7

UDC 621.317.7

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ
НАПРЯЖЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТОВ
НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПО
НУЛЕВОЙ И ОБРАТНОЙ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК**

**HARDWARE DESIGNED TO DETERMINE THE
RELATIVE VOLTAGE DEVIATION AND
COEFFICIENT OF VOLTAGE UNBALANCE AT
ZERO AND NEGATIVE SEQUENCE IN
AGRICULTURAL COMPANIES**

Савенко Алексей Валентинович
к.т.н., доцент, доцент кафедры физики
mfsav@mail.ru
SPIN-code:6169-5845

Savenko Aleksei Valentinovich
associate professor, assistant professor
mfsav@mail.ru
SPIN-code: 6169-5845

Емелин Антон Валерьевич
к.т.н., старший преподаватель кафедры физики
emelin09@rambler.ru
SPIN-code:3949-7978

Emelin Anton Valerevich
senior lecturer in physics
emelin09@rambler.ru
SPIN-code:3949-7978

Удалый Максим Владимирович
студент
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Udaliy Maxim Vladimirovich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Разработан и предлагается анализатор качества напряжения, который позволяет определять: относительное отклонение напряжения, коэффициенты несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности. Прибор отличается от существующих простой конструкции и схемотехнический решений, низкой ценой и возможностью вести непрерывный мониторинг показателей качества электрической энергии

We have designed and offered a voltage quality analyzer that allows you defining relative deviation of voltage, voltage unbalance factors at zero and negative sequence. The device differs from the existing ones with simple design and circuit solutions; it has low price and the ability to conduct a continuous monitoring of quality indicators of electric energy

Ключевые слова: НЕСИММЕТРИЯ
НАПРЯЖЕНИЙ, ОТНОСИТЕЛЬНОЕ
ОТКЛОНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ, КАЧЕСТВО
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, НУЛЕВАЯ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ, ОБРАТНАЯ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

Keywords: VOLTAGE UNBALANCE, RELATIVE
DEVIATION OF VOLTAGE, POWER QUALITY,
ZERO SEQUENCE, REVERSE SEQUENCE

Электрические сети предприятий АПК имеют ряд специфических особенностей относительно сетей промышленных предприятий. Покажем в связи с этими особенностями основные проблемы, которые возникают:

1. Средняя длина линий 0,4 кВ (800м) в 4 раза превышает аналогичный показатель промышленной энергетики, в связи с этим по статистическим показателям, отклонение напряжения в сельских распределительных сетях от -15 до +20 %, а в последнее время -30...+20%

[1]; средняя длина линии 10 кВ (15км) в 10 раз превышает аналогичный показатель, а также относительная длина линий 10 кВ достигла 34 % протяженности линий всех классов напряжений.

2. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности достигает 7 %, а в 40 % замеров колеблется от 3 до 4% [2]. Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности достигает 6,5 %. Потери электроэнергии и напряжений сосредоточены в основном (до 70 %) в сети 0,4 кВ. Относительные значения тока нейтрали в 3...5 раз больше за счёт большего влияния однофазных нагрузок, что особенно характерно для коммунально-бытовых потребителей, играющих более заметную роль в сельских сетях. В результате показатели качества электрической энергии в сети 0,4 кВ не соответствуют ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», что в свою очередь вызывает ее дополнительные технические потери, сокращение срока службы электрооборудования.

Возникает необходимость в применении надежных, точных и дешевых средств определения показателей качества электрической энергии (ПКЭ) и в частности, относительного отклонения напряжения, коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности и коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности. Универсальных технических средств, решающих эту задачу прямыми измерениями, пока не создано ни отечественными, ни зарубежными фирмами. Использование широко распространенных щитовых стрелочных и цифровых приборов (вольтметров, амперметров, ваттметров, варметров) требует создания значительного приборного парка и очень сложных схем измерений и соответствующих методик обработки результатов косвенных измерений. Например, определение напряжения нулевой U_0 и обратной U_2 последовательностей по формулам, предлагаемым в соответствующей

методике [3] требует определения абсолютных значений линейных и фазных напряжений сети с погрешностью не менее 0,5 %, что на практике, в реальных сельских сетях, вряд ли удастся добиться. Поэтому более перспективным представляется использование специализированных анализаторов режима сети позволяющих по результатам прямых и косвенных измерений определять частичный или полный набор показателей режима. Ведущие приборостроительные фирмы мира Fluke Instruments, Circutor и др. серийно выпускают подобные анализаторы. Однако, основным их недостатком является относительно высокая стоимость (более 1000 долларов). К тому же прямыми измерениями они не позволяют определять полный функциональный набор необходимых показателей $U_1, I_1, U_0, I_0, U_2, I_2$; что вынуждает опираться на результаты косвенных измерений и естественно приводит к определенным погрешностям при обработке. Поэтому предлагаются следующие схемные решения и аппаратные средства, позволяющие службе главного энергетика сельскохозяйственного предприятия не прибегая к услугам специализированных аудиторских фирм, и не приобретая дорогие приборы проводить непрерывный мониторинг ПКЭ своими силами.

Относительное значение отклонения напряжения прямой последовательности (НПП) определяется с помощью разработанной прецизионной резистивной балансно - мостовой схемы в опорном плече которой используется прецизионный стабилитрон КС 191Ф (0,01 %/град.) обеспечивающий требуемую точность измерений рис.1.

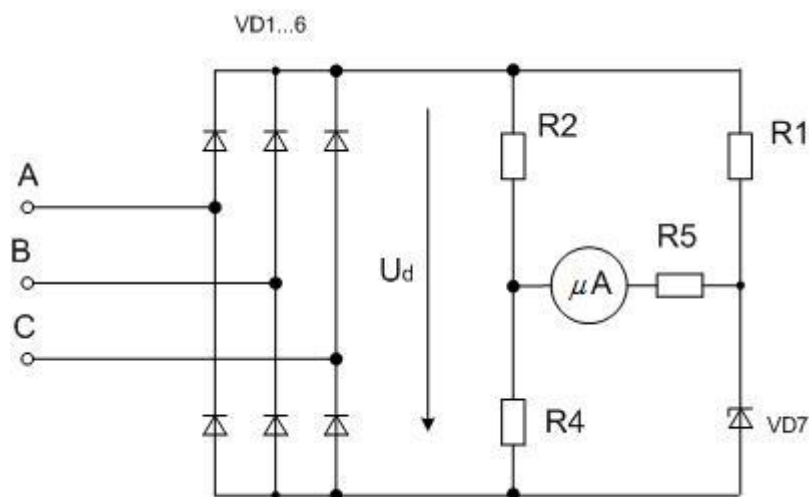


Рисунок 1 – Принципиальная схема определения относительного отклонения напряжения

Схема замещения представлена на рисунке 2.

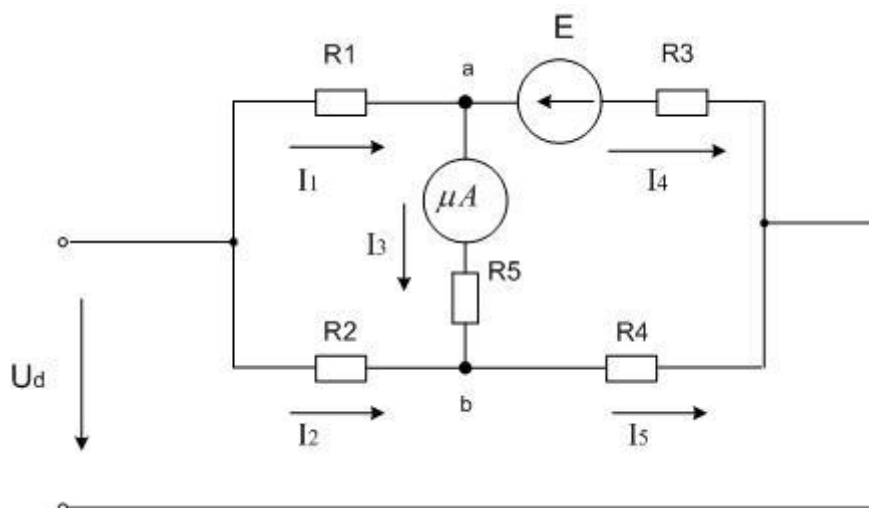


Рисунок 2 – Схема замещения.

Опорное напряжение стабилитрона КС191Ф представлено источником ЭДС $E = 9.1$ В, сопротивление на участке стабилизации $R3=15$ Ом. Определим аналитически ток I_3 , т.е. показания микроамперметра магнитоэлектрической системы. По первому и второму законам Кирхгофа получаем систему для определения токов в ветвях:

$$\begin{cases} I_1 R_1 + I_4 R_3 = U_d - E \\ I_2 R_2 + I_5 R_4 = U_d \\ I_1 R_1 + I_3 R_5 - I_2 R_2 = 0 \\ I_1 - I_3 - I_2 = 0 \\ I_2 + I_3 - I_5 = 0 \end{cases}$$

Ток $I_5 = I_2 + I_3$ и $I_4 = I_1 - I_3$ подставим во второе и первое уравнение соответственно. Получаем систему из трех уравнений

$$\begin{cases} I_2 (R_2 + R_4) + I_3 R_4 = U \\ I_1 (R_2 + R_3) - I_3 R_3 = U - E \\ I_1 R_1 + I_3 R_5 - I_2 R_2 = 0 \end{cases}$$

В результате, получаем

$$I_3 = \frac{-(U_d (R_3 R_2 - R_1 R_4) + E (R_1 R_2 + R_1 R_4))}{R_1 R_2 R_5 + R_2 R_3 R_5 + R_1 R_2 R_3 + R_1 R_4 R_5 + R_3 R_4 R_5 + R_1 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_4 + R_2 R_3 R_4}$$

Отклонение напряжения

$$\delta U = 0,2 \cdot \frac{-(U_d (R_3 R_2 - R_1 R_4) + E (R_1 R_2 + R_1 R_4))}{R_1 R_2 R_5 + R_2 R_3 R_5 + R_1 R_2 R_3 + R_1 R_4 R_5 + R_3 R_4 R_5 + R_1 R_3 R_4 + R_1 R_2 R_4 + R_2 R_3 R_4}, \%$$

Выбираем $R_2=300$ кОм, $R_1=43.5$ кОм, $R_4=5.5$ кОм, $R_5=12.5$ кОм.

Параметры схемы выбраны из условия

$$U_d (R_3 R_2 - R_1 R_4) + E (R_1 R_2 + R_1 R_4) = 0$$

Абсолютная погрешность измерений по требованиям ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» не должна превышать по абсолютному значению 0,5 %.

Согласно методу Монте-Карло при вариации параметров системы R_1, R_2, R_4, R_5 от 0 до 5% их номинальных значений по нормальному закону распределения, абсолютная погрешность определения относительного отклонения напряжения не превышает 0,14 %. При этом

проведено 500000 испытаний для каждого целого значения относительного отклонения напряжения. Результаты показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Абсолютная погрешность определения относительного отклонения напряжения при вариации параметров от 0 до 5 %.

$\delta U, \%$	0	2	5	10	-2	-5	-10
$\delta U, \%$ по формуле при вариации	-0,05	1,93	4,90	9,86	-2,03	-5,00	-9,95
Абсолютная погрешность	-0,05	-0,07	-0,1	-0,14	-0,03	0	0,05

Определение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности предлагается с помощью симметричной прецизионной резистивной «звезды» (рисунок 3).

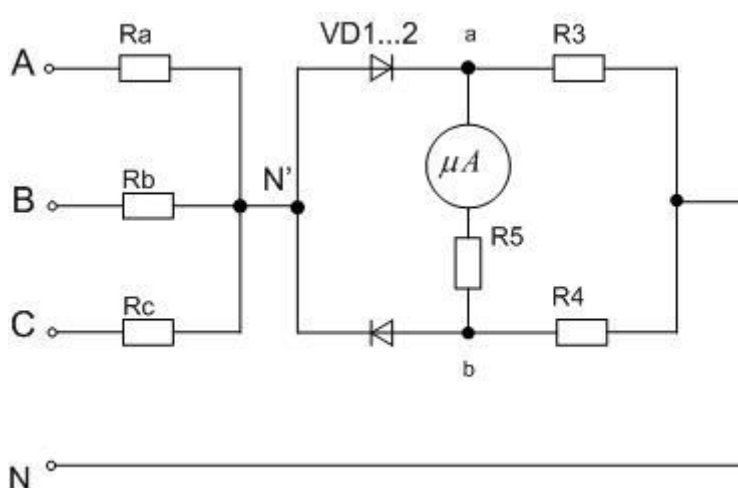


Рисунок 3 – Определение коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности

Ток нейтрали пропорционален напряжению нулевой последовательности. Для его определения с целью уменьшения зоны нечувствительности предложено использование диодно – резистивного выпрямительного моста. В качестве измерительного прибора используется микроамперметр магнитоэлектрической системы, позволяющий получить

высокую точность и высокую чувствительность. В случае включения диода VD1 в прямом направлении, диода VD2 в обратном направлении (один полупериод), напряжение $U_{NN'}$ определяется

$$U_{NN'} = \frac{\left| U_A \frac{1}{R_a} + U_B \frac{1}{R_b} + U_C \frac{1}{R_c} \right|}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_{\text{экв1}}}}$$

где U_A, U_B, U_C – комплексы фазных напряжений;

R_a, R_b, R_c – сопротивления фаз (выбраны по 300 кОм);

$R_{\text{экв1}}$ – эквивалентное сопротивление участка NN'

$$R_{\text{экв1}} = \frac{R_3(R_4 + R_5)}{R_3 + R_4 + R_5}$$

При этом потенциал точки а $\varphi_a = U_{NN'}$, потенциал точки б

$$\varphi_b = U_{NN'} \frac{R_4}{R_4 + R_5}.$$

Напряжение на участке цепи ab на одном полупериоде можно выразить в виде:

$$U_{ab}(t) = U_{NN'} \sqrt{2} \left(1 - \frac{R_4}{R_4 + R_5} \right) \sin \omega t$$

В случае включения диода VD2 в прямом направлении, диода VD1 в обратном направлении (один полупериод), напряжение $U_{NN'}$ определяется как $U_{NN'2}$

$$U_{NN'2} = \frac{\left| U_A \frac{1}{R_a} + U_B \frac{1}{R_b} + U_C \frac{1}{R_c} \right|}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_{\text{экв2}}}}$$

где $R_{\text{экв2}}$ – эквивалентное сопротивление участка NN'

$$R_{\text{экв2}} = \frac{R_4(R_3 + R_5)}{R_4 + R_3 + R_5}$$

Аналогично напряжение на участке цепи ab в следующем полупериоде $(\pi, 2\pi)$ можно выразить в виде

$$U_{ab}(t) = -U_{NN2} \sqrt{2} \left(1 - \frac{R_3}{R_3 + R_5} \right) \sin \omega t$$

Определим среднее значение напряжения за весь период

$$U_{cp} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_{ab}(\omega t) d\omega t$$

$$U_{cp} = \frac{1}{2\pi} \left(\int_0^{\pi} U_{NN1} \sqrt{2} \left(1 - \frac{R_4}{R_4 + R_5} \right) \sin \omega t d\omega t - \int_{\pi}^{2\pi} U_{NN2} \sqrt{2} \left(1 - \frac{R_3}{R_3 + R_5} \right) \sin \omega t d\omega t \right)$$

$$U_{cp} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \left(U_{NN1} \left(1 - \frac{R_4}{R_4 + R_5} \right) + U_{NN2} \left(1 - \frac{R_3}{R_3 + R_5} \right) \right)$$

Показания микроамперметра будут соответствовать выражению

$$I = \frac{U_{cp}}{R_5} = \frac{\sqrt{2}}{\pi R_5} \left(U_{NN1} \left(1 - \frac{R_4}{R_4 + R_5} \right) + U_{NN2} \left(1 - \frac{R_3}{R_3 + R_5} \right) \right)$$

Шкала магнитоэлектрического микроамперметра проградуирована в процентах и позволяет напрямую оценить коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности

$$\varepsilon_{0U} = 0,2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi R_5} \left(U_{NN1} \left(1 - \frac{R_4}{R_4 + R_5} \right) + U_{NN2} \left(1 - \frac{R_3}{R_3 + R_5} \right) \right)$$

или

$$\varepsilon_{0U} = 0,2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi} \left(U_{NN1} \left(\frac{1}{R_4 + R_5} \right) + U_{NN2} \left(\frac{1}{R_3 + R_5} \right) \right)$$

Параметры элементов схемы $R_a=R_b=R_c= 300$ кОм, $R_3=R_4=100$ кОм, $R_5=49$ кОм. Схема позволяет определить коэффициент отклонения нулевой

последовательности от 0 до 10 % с абсолютной погрешностью, не более 0,3 %. Оценка параметрической чувствительности показаний микроамперметра представлена в таблице 2. При отклонении параметров R_3 и R_5 абсолютная погрешность не превышает 0,1 %.

Таблица 2 – Погрешности при определении коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности

$\varepsilon_{0U}, \%$ истинное значение	$\varepsilon_{0U}, \%$ измеренное значение	Абсолютная погрешность	$\varepsilon_{0U}, \%$ при отклонении параметра $R_{3+5\%}$	$\varepsilon_{0U}, \%$ при отклонении параметра $R_{3-5\%}$
0	0	0	0	0
2	1,99	-0,01	1,98	2,00
4	3,98	-0,02	3,97	3,99
6	5,97	-0,03	5,95	5,99
8	7,96	-0,04	7,94	7,99
10	9,95	-0,05	9,92	9,98

Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности может быть определен двумя вариантами схемотехнических решений.

Вариант 1.

Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности определяется с помощью симметричной прецизионной резистивно - емкостной схемы «треугольника» с внутренней емкостной «звездой» в плечах которого установлены «мосты Вина» (рис.4) [5].

Средние точки «мостов Вина» образуют трехфазные входы мостового выпрямителя нагруженного на измерительный микроамперметр. Параметры «плеч» выбраны таким образом, чтобы подавлять на входе

трехфазного мостового выпрямителя напряжение прямой последовательности, что и позволяет выделить напряжение обратной последовательности, величина которого пропорциональна выпрямленному току моста.

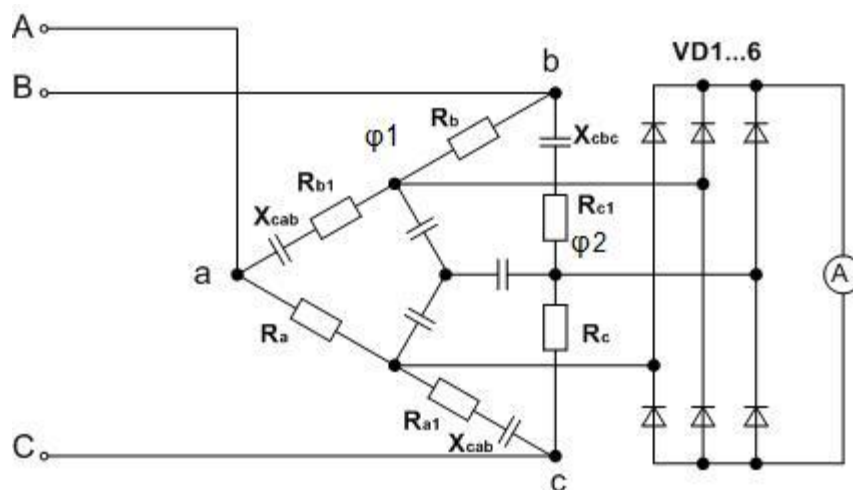


Рисунок 4 – Принципиальная схема определения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности

Влияние высших гармонических составляющих позволяет устранить внутренняя емкостная «звезда». Предложенная схема фильтра напряжения обратной последовательности имеет в 3 раза большую крутизну статической характеристики и в значительно меньшей мере (примерно на порядок, как показали экспериментальные исследования в реальной сети) подвержен влиянию высших гармоник напряжения сети.

Принцип действия предлагаемого фильтра показан на векторной диаграмме (рис.5, рис.6). При отсутствии напряжения обратной последовательности (рис.5), линейное напряжение U_{AB} состоит из векторной суммы падений напряжений на элементах X_{cab} , R_{b1} и R_b . Линейное напряжение U_{BC} состоит из векторной суммы падений напряжений на элементах X_{cbc} , R_{c1} и R_c . Линейное напряжение U_{CA} состоит из векторной суммы падений напряжений на элементах X_{cab} , R_{a1} и R_a . При этом параметры этих элементов подобраны таким образом, чтобы

потенциалы точек $\varphi 1$, $\varphi 2$, $\varphi 3$ совпадали, т.е. длины сторон между точками $\varphi 1$ и $\varphi 2$, $\varphi 1$ и $\varphi 3$, $\varphi 2$ и $\varphi 3$ в этом случае будут равны нулю.

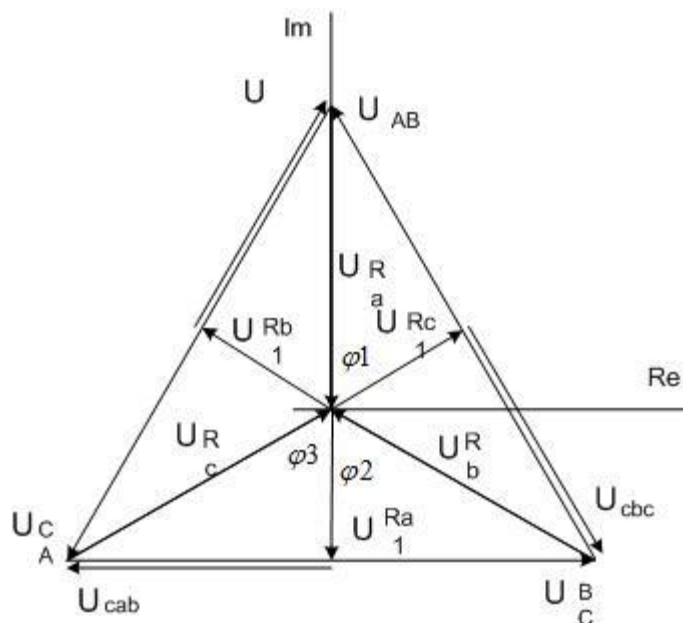


Рисунок 5 – Векторная диаграмма при $\varepsilon_{U2}=0$

В случае наличия в электрической сети напряжения обратной последовательности (рис.6) устройство подает на вход трехфазного мостового выпрямителя напряжение обратной последовательности, значение которого равно сторонам равностороннего треугольника, образованного точками $\varphi 1$, $\varphi 2$ и $\varphi 3$. Это позволяет выделить величину напряжения обратной последовательности, которое через выпрямительный мост можно измерить прибором магнитоэлектрической системы. За счет конденсаторов, включенных в средние точки $\varphi 1$, $\varphi 2$, $\varphi 3$ соответственно по схеме «звезда» достигается независимость показаний прибора магнитоэлектрической системы от наличия гармонических составляющих.

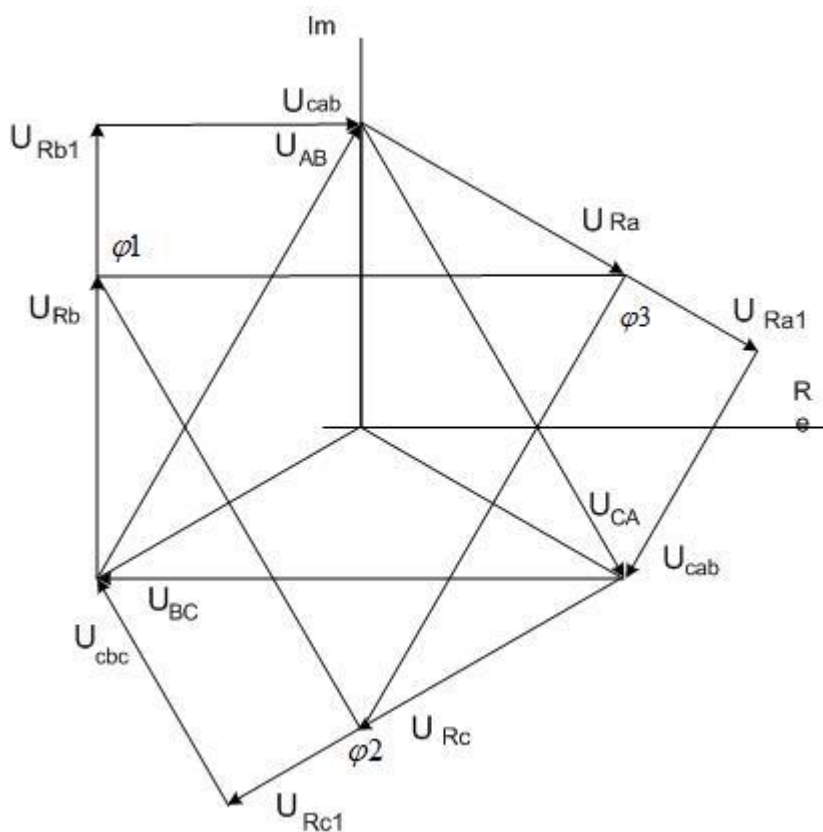


Рисунок 6 – Векторная диаграмма при $\varepsilon_{U2} \neq 0$

Предложенные схмотехнические решения реализованы и являются составной частью автономного анализатора качества напряжения (АКН). АКН разработан для объективного, технически обоснованного анализа искажений напряжения в конкретной точки сети 0,4 кВ. Этот прибор внедрен и используется Энергосбытом ОАО «Кубаньэнерго».

Вариант 2.

Для определения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности предлагается алгоритм смысл, которого показан на функционально структурной схеме рисунок 7 [6]. Известно, что любую периодическую функцию $f(\omega t)$ с периодом 2π , которая удовлетворяет условию Дирихле можно разложить в тригонометрический ряд Фурье.

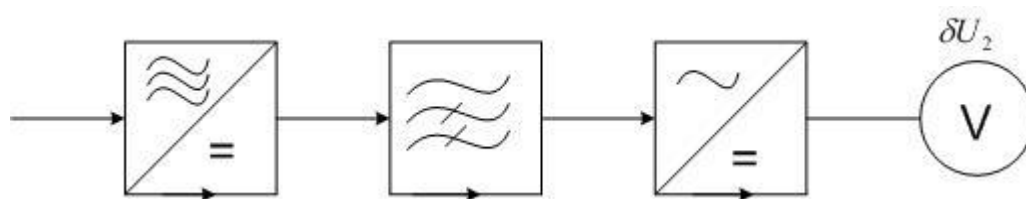


Рисунок 7 – Функционально-структурная схема

В ходе исследований была установлена зависимость между действующим значением второй гармоники $U_2 = \frac{U_{m2}}{\sqrt{2}}$ выходного сигнала трехфазного двухполупериодного выпрямителя и коэффициентом несимметрии напряжения по обратной последовательности. Получена линейная регрессия с помощью программных средств:

$$\varepsilon_2 = 0,287U_{(2)} + 0.033.$$

При этом максимальная относительная погрешность не превысит 5%. Отсюда следует, что методическая погрешность предложенного способа определения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности не превышает 5%.

В статье показан синтез функциональных устройств для определения показателей качества напряжения. Совокупность этих устройств представляет собой АКН [7]. Основные достоинства прибора: низкая цена, прибор не требует питания (сделан на пассивных элементах), не требует передачи данных на компьютер, обеспечивает высокую точность измерения показателей качества. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности определяется в диапазоне от 0 до 10 %, при этом абсолютная погрешность не превышает требования стандарта, т.е. 0,3 %. При вариации параметров схемы в пределах от 0 до 5 %, абсолютная погрешность не превышает 0,05 %. Относительное отклонение напряжения определяется в диапазоне от -10 до +10 %, при этом абсолютная погрешность не превышает 0,5 %. При вариации параметров

схемы от 0 до 5 % их номинальных значений по нормальному закону распределения, абсолютная погрешность определения относительного отклонения напряжения не превышает 0,14 %. Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности определяется в диапазоне от 0 до 10 %. При этом абсолютная погрешность не превышает 0,3 %, что соответствует требованиям стандарта. Прибор хорошо показал себя на практике при работе в сельских электрических сетях 0,4 кВ. Таким образом, предлагаются приборные средства учета показателей качества электроэнергии. Сельскохозяйственные предприятия могут использовать АКН для непрерывного мониторинга ПКЭ и устанавливать его на каждую трансформаторную подстанцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Бородин И.Ф. Потери электроэнергии в сельских сетях и пути их снижения / И.Ф. Бородин, А.П. Сердешнов // Техника в сельском хозяйстве. – 2002. - №1. – С.23-26.
- 2.Троицкий А. И. О потерях электроэнергии в сельских распределительных сетях 0,4 кВ // Изв. вузов Сев.-Кав. науч. центра высш. шк. Технические науки. – 1996. – № 1. – С. 78 – 88.
3. Савенко А.В. Аналитическое определение коэффициентов несимметрии напряжения сети по нулевой и обратной последовательностям / А.В. Савенко // Известия вузов. Электромеханика. – 2006. – №2.
- 4.Тропин В.В. Савенко А.В. Емелин А.В. Фильтр напряжения обратной последовательности. Патент РФ на изобретение №2353943 Приоритет изобретения 17.03.2008 Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 27.04.09.
5. Пат. 2316776 Российская Федерация МПК G01R 29/16 H03H 7/00 Фильтр напряжения обратной последовательности / В. В. Тропин, А. В. Савенко; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет. - №2006134794/09; заявл. 02.10.2006; опубл. 10.02.2008, бюл.№4. – 4 с.
6. Пат. 2353943 Российская Федерация МПК G01R 29/16 Фильтр напряжения обратной последовательности / В. В. Тропин, А. В. Савенко, А. В. Емелин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет. - №2008110252/09; заявл. 17.03.2008; опубл. 27.04.2009, бюл.№12. – 4 с.
7. Савенко А.В. Полномасштабный анализатор отклонений и колебаний напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей / А.В. Савенко, В.В. Тропин // Известия вузов. Электромеханика - 2014. - №3. С.7-8.

References

1. Borodin I.F. Poteri jelektrojenergii v sel'skih setjah i puti ih snizhenija / I.F. Borodin, A.P. Serdeshnov // Tehnika v sel'skom hozjajstve. – 2002. - №1. – S.23-26.
2. Troickij A. I. O poterjah jelektrojenergii v sel'skih raspreditel'nyh setjah 0,4 kV // Izv. vuzov Sev.-Kav. nauch. centra vyssh. shk. Tehnicheskie nauki. □ 1996. □ № 1. □ S. 78 □ 88.
3. Savenko A.V. Analiticheskoe opredelenie koeficientov nesimmetrii naprjazhenija seti po nulevoj i obratnoj posledovatel'nostjam / A.V. Savenko // Izvestija vuzov. Jeletromehanika. – 2006. – №2.
4. Tropin V.V. Savenko A.V. Emelin A.V. Fil'tr naprjazhenija obratnoj posledovatel'nosti. Patent RF na izobrenenie №2353943 Prioritet izobrenenija 17.03.2008 Zaregistrirvano v Gosudarstvennom reestre izobrenenij RF 27.04.09.
5. Pat. 2316776 Rossijskaja Federacija MPK G01R 29/16 N03N 7/00 Fil'tr naprjazhenija obratnoj posledovatel'nosti / V. V. Tropin, A. V. Savenko; zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. - №2006134794/09; zajavl. 02.10.2006; opubl. 10.02.2008, bjul.№4. – 4 s.
6. Pat. 2353943 Rossijskaja Federacija MPK G01R 29/16 Fil'tr naprjazhenija obratnoj posledovatel'nosti / V. V. Tropin, A. V. Savenko, A. V. Emelin; zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. - №2008110252/09; zajavl. 17.03.2008; opubl. 27.04.2009, bjul.№12. – 4 s.
7. Savenko A.V. Polnomasshtabnyj analizator otklonenij i kolebanij naprjazhenij prjamoj, obratnoj i nulevoj posledovatel'nostej / A.V. Savenko, V.V. Tropin // Izvestija vuzov. Jeletromehanika - 2014. - №3. S.7-8.