

Методика снижения искажений, вызванных третьей гармоникой частоты в распределительных электросетях

Аунг Чжо Мьо, Е. М. Портнов, Зо Хейн, Каунг Сан

Национальный исследовательский университет «Московский Институт Электронной Техники»

Аннотация: В настоящее время достаточно остро стоит проблема мер защиты от искажения измеряемых и вычисляемых параметров сигналами, соответствующими третьей гармонике частоты напряжения сети, которая является основным паразитным сигналом, поступающим в распределительные электросети. Целью данного исследования является разработка методики снижения искажений, вызванных третьей гармоникой частоты в распределительных электросетях. Это достигается тем, что в каждой половине периода частоты электрической сети дополнительно определяют моменты времени, соответствующие $5/6, 4/6, 2/6, 1/6$ его части, измеряют значение измеряемого сигнала в каждый дополнительный момент времени, суммируют значения, полученные в основной и дополнительные моменты в n смежных половинах периода, вычисляют среднее амплитудное значение сигнала за n смежных половин периодов, а среднее амплитудное значение измеряемого сигнала получают делением полученного значения на коэффициент, равный $(1 + \sqrt{3}/2 + 1/2)$.

Ключевые слова: погрешность измерения, распределительная электросеть, третья гармоника частоты, устройство измерения и вычисления электрических параметров.

Одним из основных факторов, определяющим эффективность АСУТП в энергетике, является высокая точность измерения электрических сигналов распределительных электросетей, прежде всего действующих значений фазных токов и напряжений, активной и реактивной мощности и электроэнергии [1-4].

При этом высокая точность процесса измерения электрических параметров распределительных электросетей связана с уровнем защищенности от паразитных искажений, которые вызваны третьей гармоникой частоты [5-8].

Сказанное выше позволяет говорить об актуальности проблемы снижения искажений измеряемых сигналов паразитными составляющими, связанными с третьей гармоникой частоты напряжения электрической сети.

Для снижения указанных искажений авторами было разработано устройство измерения и вычисления электрических параметров

распределительных электросетей, обобщенная схема которого представлена на рисунке 1 [9-10].

Для пояснения принципа функционирования разработанного устройства на рисунке 2 представлены его временные диаграммы.

На рисунке 2-а представлен сигнал источника частоты сети, соответствующий первой (основной) гармонике измеряемых сигналов. С помощью компаратора 2, сравнивающего измеряемый сигнал с нулевым сигналом (0В), синусоидальный сигнал преобразуется в прямоугольные импульсы. При высоком коэффициенте усиления компаратора длительность прямоугольных импульсов соответствует половине периода частоты сети.

На рисунках 2б и 2в показаны прямоугольные импульсы, образуемые на выходах инверторов 3 и 4. На рисунках 2г и 2д условно показаны состояния счетчиков 5 и 6 в режиме прямого счета (нарастающий сигнал на рисунках 2г и 2д) и обратного счета (уменьшающийся сигнал на рисунках 2г и 2д). При формировании сигнала «1» на выходе 3, поступающего на второй вход счетчика 5, а на выходе 4 сигнала «0», поступающего на третий вход счетчика, он переводится в режим прямого счета импульсов от 7 (не показанных на рисунке 2).

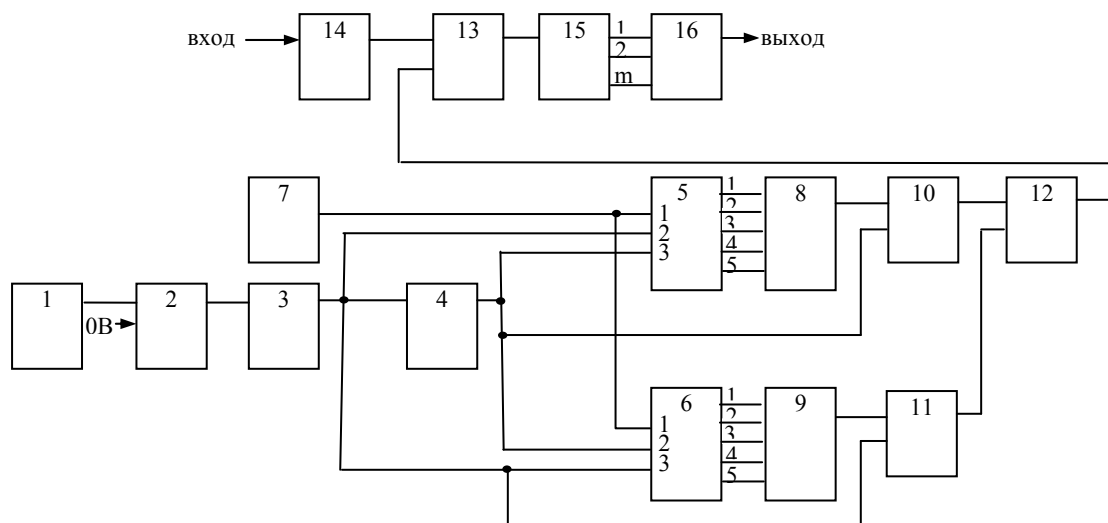


Рисунок 1- Обобщенная схема устройства для снижения искажений, вызванных паразитной третьей гармоникой

1-блок питания. 2 - компаратор. 3,4- элементы НЕ. 5,6 – реверсивные счетчики. 7- тактовый генератор. 8,9,12 – элементы ИЛИ.10,11- элементы И. 13- коммутатор. 14- узел согласования с измерительным трансформатором напряжения (тока). 15- аналого-цифровой преобразователь. 16- узел обработки и вычисления электрических параметров.

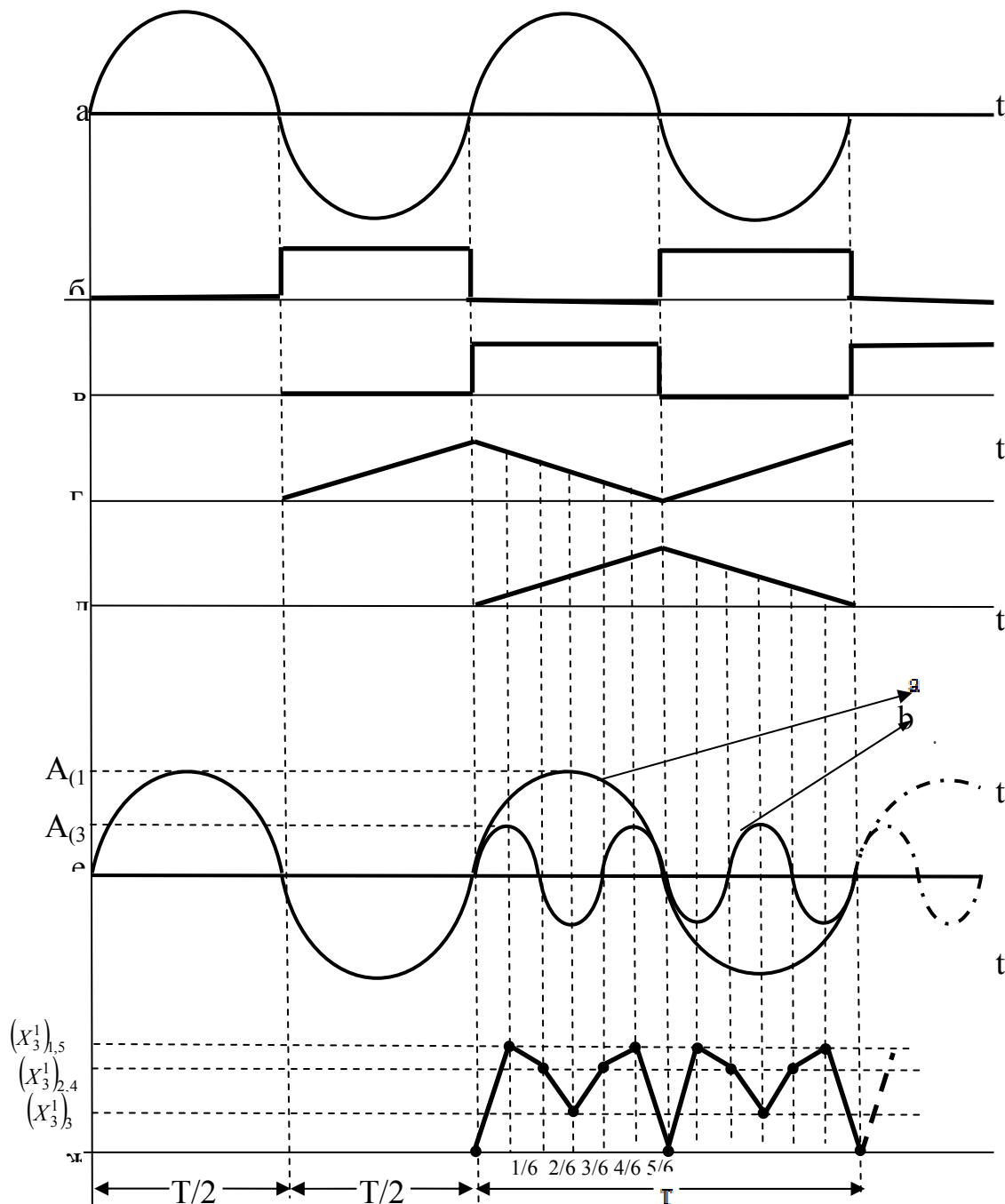


Рисунок 2- Временные диаграммы функционирования устройства

Аналогично, в смежной половине периода - при формировании сигнала «0» на выходе 3 и, соответственно, сигнала «1» на выходе 4, необходима перевести счетчик 5 в режим обратного счета, в то время как, счетчик 6 следует перевести в режим прямого счета.

Как видно на рисунках 2г и 2д, счетчики 5 и 6, в смежных половинах периода, функционирует в режимах прямого обратного счета. Для подсчета количества импульсов счетчики 5 и 6 используют сигналы от тактового генератора 7.

Вертикальными пунктирными линиями на рисунке 2 показаны моменты сканирования измеряемого сигнала. Импульсные сигналы для сканирования формируются, например, дешифраторами (не показанными на фиг.1), которые фиксируют установку в счетчиках 5 и 6 числа импульсов, соответствующего установленным моментам сканирования.

Принцип измерения и вычисления электрических параметров основан на сканировании измеряемых сигналов через $1/6$ длительности половины периода, при переводе счетчиков 5 или 6 в режим обратного счета.

На рисунке 2-е(а) приведена первая (основная) гармоника измеряемого сигнала, а на рисунке 2-е(б) – паразитная третья гармоника, накладываемая на измеряемый сигнал.

На рисунке 2-ж показаны значения измеренного в моменты сканирования сигнала при наложении на реальный измеряемый сигнал паразитного сигнала третьей гармоники.

Переключением сигнала на первом входе счетчика из «0» в «1» последний оказывается в очередной кодовой позиции. Уровнем сигнала на втором и третьем входах определяется прямой или обратный режим счета импульсов.

Далее на примере рассмотрим действие методики снижения искажений, вызванных третьей гармоникой частоты в распределительных электросетях

Источником 1 формируется электрический сигнал (рисунок 2а), который преобразуется с помощью компаратора 2 из синусоидальных в прямоугольные импульсы (рис. 2б и 2в). Формирование сигналов, с длительностью практически равной текущей половине периода сигнала от генератора тактовых импульсов обеспечивается на его выходе благодаря высокой чувствительности компаратора.

Элементы НЕ 3 и 4 позволяют разделить цепи формирования прямоугольных импульсов и цепи управления реверсивными счетчиками 5 и 6. Для каждой половины периода сигнала от генератора на выходе одного элемента НЕ формируется сигнал «0», а на выходе другого инвертора - сигнал «0». Сигналы от элементов НЕ, поступающие на входы управления счетчиков, дают возможность определить режим счета входных импульсов - прямой или обратный.

В режиме прямого счета функционирует счетчик, на втором входе которого формируется сигнал «1». В случае, если то этот счетчик будет работать в обратном режиме.

Сигналы на выходах счетчиков имеют «пилообразный» вид. При поступлении очередного тактового сигнала и в случае функционирования счетчика в прямом режиме к «пиле» добавляется одна «ступень», при работе счетчика в обратном режиме «пила» уменьшается на одну ступень.

Если счетчик 5 к началу рассматриваемой половины периода функционирует в режиме прямого счета, то код счетчика увеличивается на «1» с каждым поступившим импульсом от тактового генератора 7.

Счетчик 6, функционирующий в предыдущей половине периода в прямом режиме, в настоящей половине периода переводят в обратный режим обратного счета, при этом его выходной код будет уменьшаться на «1» с каждым поступившим импульсом от тактового генератора.

Для того чтобы при измерении свести погрешности из-за дискретности фиксации моментов сканирования измеряемого сигнала следует к минимальным значениям установить достаточно высокую частоту импульсов генератора 7.

Если принять частоту сигналов тактового генератора 7, равной 2,4 МГц, то за одну половину периода частоты сети, составляющей 10 мс, на входы счетчиков 5, 6 поступает около 24000 импульсов.

Когда мы разделяем одну половину периода на шесть одиноковых частей, то между формированием каждого очередного момента сканирования измеряемого сигнала в счетчик поступает около 4000 импульсов от тактового генератора, и таким образом обеспечивается пренебрежимо малый сдвиг момента считывания измеряемого сигнала из-за несинхронности фронтов импульсов генератора 7 и нулевой фазы измеряемого сигнала.

При разделении половины периода (180^0) на шесть равных частей, интервалу $1/6$ соответствует угол 30^0 , а моментам $2/6$, $3/6$, $4/6$, $5/6$ – углы 60^0 , 90^0 , 120^0 , 150^0 , соответственно.

Тогда результаты сканирования окажутся равными:

$$(X_3^1)_1 = (X_3^1)_5 = A_1 \cdot \sin 30^\circ + A_3 = A_1 \cdot \sin 150^\circ + A_3, \quad (1)$$

$$(X_3^1)_2 = (X_3^1)_4 = A_1 \cdot \sin 60^\circ = A_1 \cdot \sin 120^\circ, \quad (2)$$

$$(X_3^1)_3 = A_1 \cdot \sin 90^\circ - A_3 = A_1 - A_3, \quad (3)$$

где $(X_3^1)_1$ и $(X_3^1)_5$ – измеренные значения первой и третьей гармоники сигнала в точке, соответствующей $1/6$ и $5/6$ длительности половины периода сети, соответственно;

$(X_3^1)_2$ и $(X_3^1)_4$ – измеренные значения первой и третьей гармоники сигнала в точке, соответствующей $2/6$ и $4/6$ длительности половины периода сети, соответственно;

$(X_3^1)_3$ – измеренные значения первой и третьей гармоники сигнала в точке, соответствующей $3/6$ длительности половины периода сети. Указанный результат измерения также соответствует значению сигнала в основной момент сканирования;

A_1 – амплитудное значение первой гармоники измеряемого сигнала,

A_3 – амплитудное значение третьей гармоники измеряемого сигнала.

На выходах 8 и 9 образуются импульсные сигналы, сформированные дешифраторами (не показанными на рисунке 1) в установленные моменты сканирования. Импульсные сигналы проходят на выход схем 10 и 11 в половинах периода частоты сети, когда соответствующий счетчик переведен в режим обратного счета, т.е. на второй вход 10 или 11 подан сигнал «1» от 3 или 4.

Импульсные сигналы с выходов 10 и 11 проходят на выход 12 и используются для сканирования измеряемых сигналов в смежных половинах периода частоты сети. Для этого сигнал от 12 подается на второй (управляющий) вход 13, на первый вход которого поступает измеряемый сигнал от 14.

От АЦП 15, таким образом, будут получены m - разрядные коды значений измеряемого сигнала в основной и дополнительные моменты сканирования. Коды, отображающие мгновенные значения измеренных сигналов, вводятся в оперативное запоминающее устройство узла 16 для обработки и вычисления измеряемых параметров.

В узле обработки и вычисления электрических параметров 16 проводятся операции вычисления суммарного сигнала (X) по формуле (4):

$$X = \frac{\left((X_3^1)_1 + (X_3^1)_5 + (X_3^1)_2 + (X_3^1)_4 + 2(X_3^1)_3 \right)}{2} \quad (4)$$

После преобразований с учетом (1), (2) и (3) получим:

$$X = A_1 \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2} \right). \quad (5)$$

Откуда

$$A_1 = \frac{X}{1 + \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}} \quad (6)$$

Таким образом, проведение узлом 16 операций в соответствии с (6) обеспечивает вычисление амплитудного значения измеряемого сигнала, не искаженного паразитным сигналом третьей гармоники.

Действующее значение измеряемого сигнала получают делением вычисленного соответствующего амплитудного значения на коэффициент, равный $\sqrt{2}$.

По вычисленному амплитудному значению первой гармоники измеряемого сигнала с учетом (3) получают амплитудное значение паразитной третьей гармоники по формуле (7):

$$A_3 = A_1 - (X_3^I)_3 \quad (7)$$

Действующее значение третьей гармоники получают делением вычисленных соответствующих амплитудных значений на коэффициент, равный $\sqrt{2}$. Значение третьей гармоники может использоваться для оценки качества измерительного тракта в АСУТП.

Для увеличения точности измерений и вычислений описанные выше операции проводят за большое число смежных отсчетов кодов, равное, например, 100, а их результаты усредняются.

Показано, что использование предложенного способа позволяет улучшить точность измерений и вычислений параметров электрической сети, в частности, минимизировать влияние на результат измерений паразитной третьей гармоники частоты напряжения сети [9-11].

Литература

1. Н. Д. Дубовой, Е. М. Портнов, Основные метрологии, стандартизации и сертификации: <<ФОРУМ>>, ИНФРА-М, 2008, С.256. Дубовой Н.Д., Портнов Е.М. Основы метрологии, стандартизации и сертификации. М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2008. С. 256.
 2. Е. М. Портнов. К вопросу создания интегрированных информационно-управляющих систем в энергетике. Оборонный комплекс // научно-техническому прогрессу России, 2011, №4, С. 77–80.
 3. Кокин В.В., Каунг Сан, Портнов Е.М., Чжо Зин Лин, К вопросу построения эффективных систем телемеханики // Актуальные проблемы энергосбережения и эффективности в технических системах. Тамбов, 2016. С. 312–313.
 4. Шумай Т.А., Черных А.Г. Расчет третьей гармоники в трехфазных четырехпроводных сетях при периодических несинусоидальных воздействиях // Издательство «образование и наука». 2017. Т.2. № 10. С. 14–20.
 5. Faiz M Bhutta, Application of smart energy technologies in building sector — future prospects// IEEE- 2017 International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE), 2017 pp. 7–10.
 6. Аррилага Дж. и др. Гармоники в электрических системах, Энергоатомиздат, Москва, 1990. С. 319.
 7. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий, Энергоатомиздат, М., 2000. С.142–150.
 8. Портнов Е. М., Каунг Сан, Коваленко Д.К Разработка способа прямых телеизмерений электрических параметров// Актуальные проблемы современной науки, 2016. №3 С.243–244.
 9. Кашканов А.О. Идентификация параметров источника питания
-

промышленной электрической сети // Инженерный вестник Дона, 2015, №4.

URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3363

10. Гаглоева И.Э., Добаев А.З., Дедегкаева А.А. Разработка математической модели комплексной оценки состояния электроэнергетических объектов // Инженерный вестник Дона, 2013, №3.

URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1842

11. F. S. Sutil, J. C. Hernández, P. G. Vidal. Smart DC node to recharge electric vehicles from PV power, electric railway systems and secondary distribution network: assessment of fault currents. (DPSP 2014) pp.1–4.

References

1. Dubovoj N.D., Portnov E.M. Osnovy` metrologii, standartizacii i sertifikacii [Fundamentals of Metrology, standardization and certification]. INFRAM, 2008. P. 256.

2. Portnov E.M. K voprosu sozdaniya integrirovanny'x informacionno upravlyayushhix sistem v e'nergetike. 2011. №4 pp. 77–80.

3. Kokin V.V., Kaung San, Portnov E.M., Chzho Zin Lin. Aktual'ny'e problemy' e`nergosberezheniya i e'ffektivnosti v texnicheskix sistemax. Tambov, 2016. pp. 312–313.

4. Shumaj T.A., Cherny'x A.G. Raschet tret'ej garmoniki v trexfazny'x chety'rexprovodny'x setyax pri periodicheskix nesinusoidal'ny'x vozdeystviyax. 2017. V. 2. №10. pp. 14–20.

5. Faiz M Bhutta, Application of smart energy technologies in building sector — future prospects. (ICECE), 2017 pp. 7-10.

6. Dzh. Arrilaga i dr. Garmoniki v e'lektricheskix sistemax [Harmonics in electrical systems]. Moskva, 1990. P. 319.

7. Zhezhelenko I.V. Vy'sshie garmoniki v sistemax e'lektrosnabzheniya prompredpriyatij [Higher harmonics in power supply systems of industrial



enterprises], 2000. pp.142–150.

8. Portnov E. M., Kaung San, Kovalenko D.K Razrabotka sposoba pryamy'x teleizmerenij e'lektricheskix parametrov. 2016. №3. pp.243–244.

9. Kashkanov A.O. Inzhenerny'j vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3363

10. Gagloeva I.E'., Dobaev A.Z., Dedegkaeva A.A. Inzhenerny'j vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1842

11. F. S. Sutil, J. C. Hernández, P. G. Vidal. Smart DC node to recharge electric vehicles from PV power, electric railway systems and secondary distribution network: assessment of fault currents. (DPSP 2014) pp.1–4.