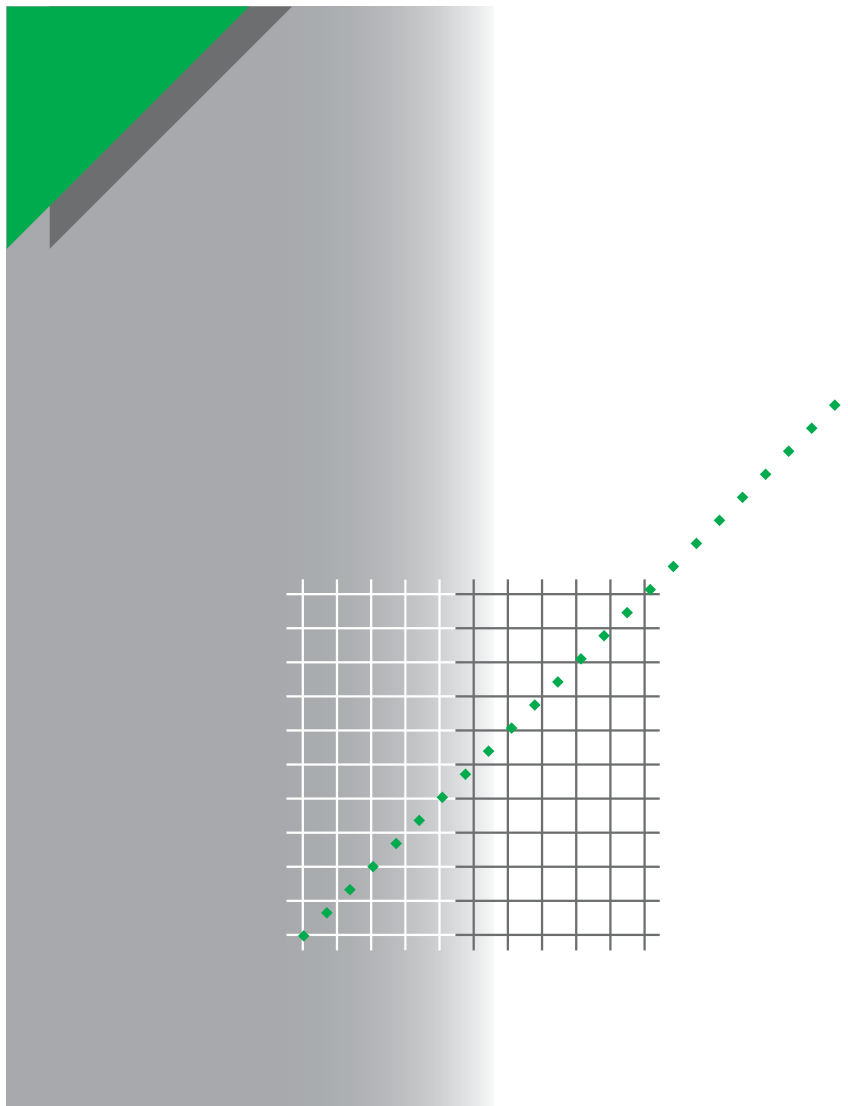


Выпуск № 30

Измерение и устранение гармоник



Компания Schneider Electric приступила к выпуску **«Технической коллекции Schneider Electric»** на русском языке.

Техническая коллекция представляет собой серию отдельных выпусков для специалистов, которые хотели бы получить более подробную техническую информацию о продукции Schneider Electric и ее применении, в дополнение к тому, что содержится в каталогах.

В **Технической коллекции** будут публиковаться материалы, которые позволят лучше понять технические и экономические проблемы и явления, возникающие при использовании электрооборудования и средств автоматизации Schneider Electric.

Техническая коллекция предназначена для инженеров и специалистов, работающих в электротехнической промышленности и в проектных организациях, занимающихся разработкой, монтажом и эксплуатацией электроустановок, распределительных электрических сетей, средств и систем автоматизации.

Техническая коллекция будет также полезна студентам и преподавателям ВУЗов. В ней они найдут сведения о новых технологиях и современных тенденциях в мире Электричества и Автоматики.

В каждом выпуске **Технической коллекции** будет углубленно рассматриваться конкретная тема из области электрических сетей, релейной защиты и управления, промышленного контроля и автоматизации технологических процессов.

Валерий Саженок,
Технический директор
ЗАО «Шнейдер Электрик»,
Кандидат технических наук

Общие положения	3
1.1. Определение и происхождение гармоник	3
1.1.1. Искажение синусоидального сигнала	3
1.1.2. Происхождение гармоник	4
1.2. Почему необходимо измерять и устранять гармоники	6
1.2.1. Возмущения, вызываемые гармониками	6
1.2.2. Экономические потери в результате воздействия гармоник	6
1.2.3. Усиление воздействия гармоник	6
1.2.4. Какие гармоники следует измерять и устранять на практике?	6
Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения	7
2.1. Коэффициент мощности	7
2.1.1. Определение	7
2.1.2. Интерпретация значения коэффициента мощности	7
2.2. Коэффициент амплитуды	7
2.2.1. Определение	7
2.2.2. Интерпретация значения коэффициента амплитуды	7
2.3. Мощность и гармоники	8
2.3.1. Активная мощность	8
2.3.2. Реактивная мощность	8
2.3.3. Мощность искажения	8
2.4. Частотный спектр и коэффициент гармоник	8
2.4.1. Принцип	8
2.4.2. Индивидуальный коэффициент гармоник (или коэффициент гармоник h-порядка)	8
2.4.3. Частотный спектр	8
2.4.4. Действующее значение	9
2.5. Общее гармоническое искажение (THD)	9
2.5.1. Определение общего гармонического искажения	9
2.5.2. THD по току или по напряжению	9
2.5.3. Особый случай: общий коэффициент гармоник	10
2.5.4. Отношение между коэффициентом мощности и THD	10
2.6. Польза каждого из показателей	11
Измерение показателей	12
3.1. Какие приборы служат для измерения данных показателей?	12
3.1.1. Выбор прибора	12
3.1.2. Функции, реализуемые цифровыми анализаторами	12
3.1.3. Принцип работы анализаторов, способ обработки данных	12
3.2. Методика анализа гармоник в сети	12
3.3. Превентивная борьба с гармониками	13
3.3.1. Преимущественное использование измерительных приборов, постоянно установленных в сети	13
3.3.2. Применение встроенных измерительных или обнаруживающих приборов	13
Основные виды воздействия гармоник на электроустановки	14
4.1. Явление резонанса	14
4.2. Увеличение потерь	14
4.2.1. Потери в проводниках	14
4.2.2. Потери в асинхронных машинах	15
4.2.3. Потери в трансформаторах	15
4.2.4. Потери в конденсаторах	15
4.3. Снижение рабочих параметров оборудования	16
4.3.1. Генераторы переменного тока	16
4.3.2. Источники бесперебойного питания	16
4.3.3. Трансформаторы	16
4.3.4. Асинхронные машины	17
4.3.5. Конденсаторы	17
4.3.6. Нулевые рабочие проводники	18
4.4. Возмущающее воздействие на чувствительные нагрузки	19
4.4.1. Искажение напряжения питания	19
4.4.2. Ухудшение качества телефонной связи	19

4.5. Экономические потери	19
4.5.1. Энергетические потери	19
4.5.2. Повышение абонентской платы	19
4.5.3. Необходимость повышения рабочих параметров оборудования	19
4.5.4. Сокращение срока службы оборудования	20
4.5.5. Ложные срабатывания и отключения электроустановок	20
4.5.6. Несколько примеров	20
Стандарты и нормативные требования	21
5.1. Стандарты совместимости между электросетями и оборудованием	21
5.2. Стандарты качества сетей	21
5.3. Стандарты аппаратуры	21
5.4. Максимальные допустимые значения гармоник	21
5.5. Стандарты монтажных работ	22
Решения для ослабления гармоник	23
6.1. Основные решения	23
6.1.1. Оптимальное подключение нагрузок, создающих помехи	23
6.1.2. Объединение нагрузок, создающих помехи, в группы	23
6.1.3. Разделение источников	23
6.1.4. Применение трансформаторов с различными группами соединения обмоток	24
6.1.5. Применение дросселей	24
6.1.6. Выбор подходящей схемы заземления	24
6.2. Меры в случае превышения предельных значений	24
6.2.1. Пассивный фильтр	24
6.2.2. Активный фильтр (или активный компенсатор)	25
6.2.3. Комбинированный фильтр	25
6.2.4. Критерии выбора	26
Измерительные приборы Schneider Electric	27
7.1. Измерение	27
7.1.1. Встроенные измерительные комплексы	27
7.1.2. Внешние измерительные комплексы	27
7.1.3. Использование измерительных комплексов	27
7.2. Руководство по выбору	28
Выбор оборудования в зависимости от функций измерения	30
Решения Schneider Electric для ослабления гармоник	39
9.1. Экспертиза Schneider Electric	40
9.2. Специальное оборудование Schneider Electric	41
9.2.1. Пассивные фильтры	41
9.2.2. Активные фильтры MGE UPS SYSTEMS	41
9.2.3. Комбинированные-фильтры	41
9.3. Руководство по выбору	42
Библиография	43

Общие положения

1.1. Определение и происхождение гармоник

Наличие гармоник - синоним искаженной волны напряжения или тока.

Искажение волны напряжения или тока означает, что система распределения электроэнергии находится в возмущенном состоянии и качество энергии не является оптимальным.

1.1.1. Искажение синусоидального сигнала

Теорема Фурье указывает, что любая несинусоидальная периодическая функция может быть представлена в виде суммы составляющих:

- синусоидальной составляющей с основной частотой колебаний;
- синусоидальных составляющих, частоты которых являются целыми кратными основной частоты (гармоник);
- возможной постоянной составляющей.

Гармоника ряда n представляет собой синусоидальную составляющую сигнала с частотой, равной n-кратному значению основной частоты.

Разложение периодической функции на гармонические составляющие выражается следующей формулой:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \sin(n\omega t - \varphi_n),$$

где:

- Y_0 - значение постоянной составляющей, обычно равной нулю и в дальнейшем считающейся равной нулю;
- Y_n - действующее значение гармоники n-го порядка;
- ω - пульсация основной частоты;
- φ_n - сдвиг фазы гармонической составляющей при $t = 0$.

Например, для сигналов, которыми являются волны тока и напряжения электросети:

- основная частота (или гармоника 1-го порядка) имеет значение 50 Гц;
- у гармоники 2-го порядка частота 100 Гц;
- у гармоники 3-го порядка частота 150 Гц;
- у гармоники 4-го порядка частота 200 Гц;
- и т.д.

Искаженный сигнал является результирующей наложения гармоник различных порядков.

На рисунке 1 дан пример тока, подвергающегося гармоническим искажениям.

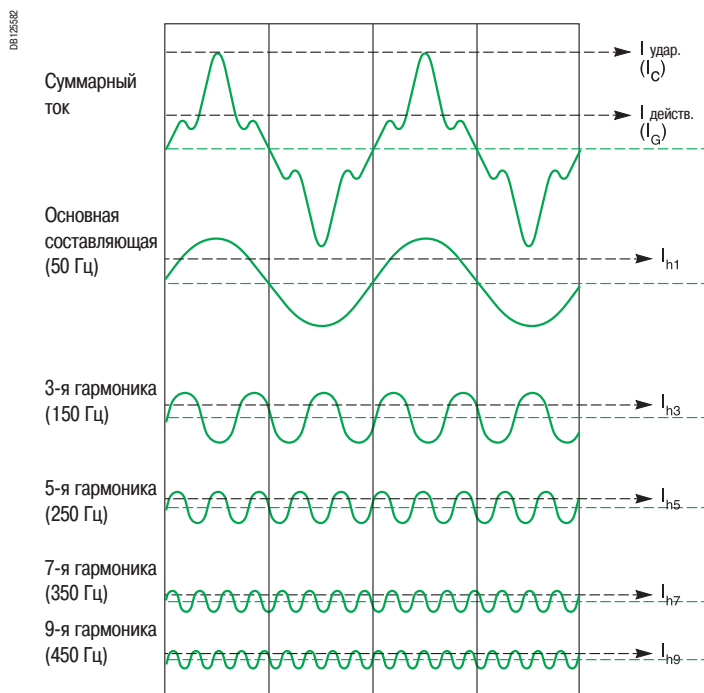


Рис. 1 - пример тока, содержащего гармоники, и разложение суммарного тока на его гармонические составляющие 1-го (основная), 3-го, 5-го, 7-го и 9-го порядков.

Способ представления: частотный спектр

Другим основным способом представления гармоник является частотный спектр. Это практическое графическое средство позволяет оценить присутствующие гармоники.

Спектр представляет собой гистограмму, отображающую амплитуду каждой гармоники в зависимости от её порядка.

Этот способ представления также называют спектральным анализом.

Исследование спектра позволяет оценить одновременно и сами присутствующие гармоники и их величину.

На рисунке 2 показан спектр сигнала, представленного на рисунке 1.

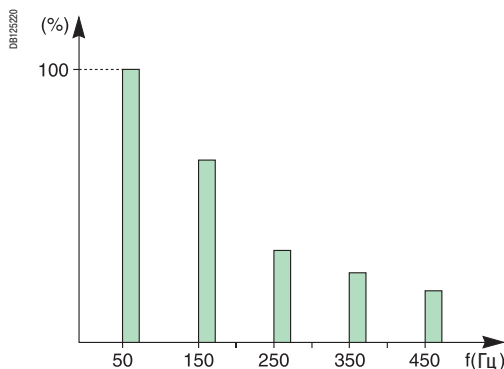


Рис. 2 - спектр сигнала с основной составляющей 50 Гц и с гармониками 3-го (150 Гц), 5-го (250 Гц), 7-го (350 Гц) и 9-го порядков (450 Гц).

Гармонические токи генерируются подключенными к сети нелинейными нагрузками.

Прохождение гармонических токов создает гармонические напряжения через сопротивления сети и, соответственно, вызывает искажение напряжения питания.

1.1.2. Происхождение гармоник

Устройства, порождающие гармоники, присутствуют во всех промышленных, непромышленных и бытовых секторах. Гармоники являются результатом **нелинейных нагрузок**.

Нелинейная нагрузка: определение

Нагрузка называется **нелинейной**, если форма тока, потребляемого нагрузкой, отличается от формы питающего напряжения.

Примеры нелинейных нагрузок

Типичным примером нелинейных нагрузок являются нагрузки, в которых используется **силовая электроника**.

В настоящее время подобных нагрузок становится всё больше, соответственно возрастает их доля в потреблении электроэнергии.

Можно привести следующие примеры:

- промышленное оборудование (сварочные аппараты, дуговые печи, индукционные печи, выпрямители);
- регуляторы частоты для асинхронных двигателей или двигателей постоянного тока;
- оргтехника (компьютеры, копировальные аппараты, факсы и т.д.);
- бытовые приборы (телевизоры, микроволновые печи, неоновые осветительные приборы и т.д.);
- источники бесперебойного питания.

Кроме того, нелинейные нагрузки могут возникать из-за явления насыщения сердечников (в основном трансформаторов).

Возмущения от нелинейных нагрузок: гармонический ток и гармоническое напряжение

Питание нелинейных нагрузок генерирует гармонические токи, циркулирующие в сети.

Гармоническое напряжение появляется в результате прохождения гармонического тока в сопротивлениях цепей питания (трансформатор и сеть в случае, представленном на рис. 3).

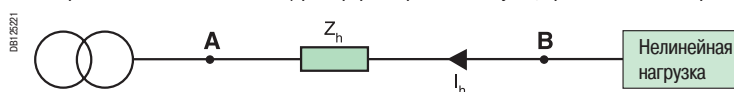


Рис. 3 - однолинейная схема, изображающая сопротивление цепи питания для гармоники h-порядка

Следует помнить, что сопротивление проводника возрастает соответственно частоте проходящего по нему тока, поэтому каждому гармоническому току h-порядка соответствует сопротивление цепи питания Z_h .

Общие положения

Гармонический ток h -порядка создает через сопротивление Z_h гармоническое напряжение (U_h , равное $U_h = Z_h \times I_h$, в соответствии с законом Ома. Напряжение в точке В соответственно искажается. Поэтому любой аппарат, запитываемый от точки В, получает искаженное напряжение. Это искажение для данного гармонического тока тем больше, чем больше сопротивление сети.

Прохождение гармоник в сетях

Чтобы лучше понять феномен гармонических токов, можно считать, что всё происходит так, как если бы нелинейные нагрузки подавали гармонический ток в сеть в направлении источника. На рисунках 4а и 4б изображён вид электроустановки, подверженной возмущениям из-за гармоник, при этом сначала показана установка, по которой проходит ток с частотой 50 Гц (рис. 4а), а затем установка с проходящим по ней гармоническим током h -порядка (рис. 4б).

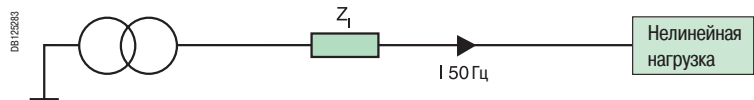


Рис. 4а - схема установки, питающей нелинейную нагрузку, на которой представлены только явления, связанные с частотой 50 Гц (основная частота).

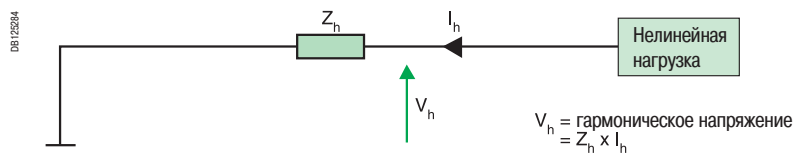


Рис. 4б - схема установки, питающей нелинейную нагрузку, на которой представлены только явления, связанные с частотой гармоники h -порядка

Питание этой нелинейной нагрузки генерирует прохождение в сети тока $I_{50Гц}$ (изображенного на рис. 4а), к которому добавляется каждый из гармонических токов I_h (изображенный на рис. 4б), соответствующий каждой гармонике h -порядка.

Продолжая рассматривать пример нагрузок, отдающих гармонический ток в сеть, можно схематически представить циркуляцию гармонических токов в сети (рис. 5).

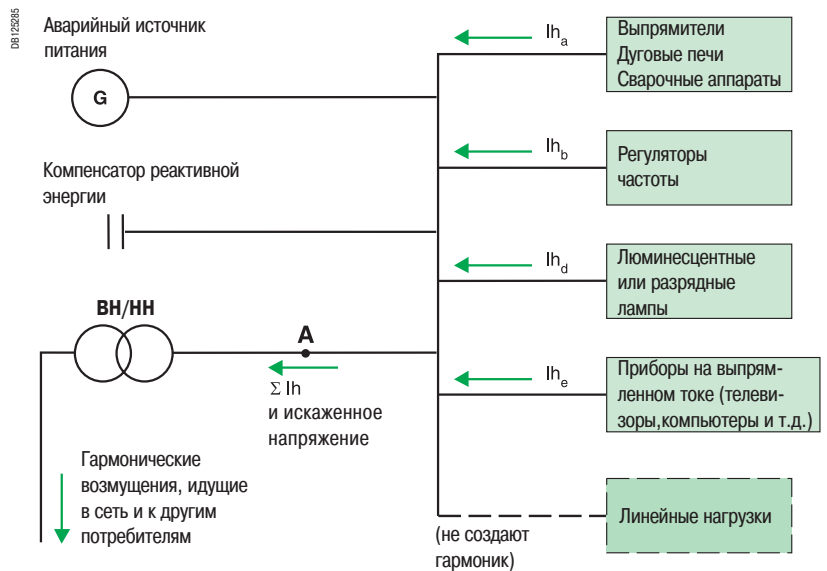


Рис. 5 - циркуляция гармонических токов в сети

Из этого рисунка видно, что если некоторые нагрузки создают в сети гармонические токи, то другие нагрузки могут поглощать эти токи.

1.2. Почему необходимо измерять и устранять гармоники?

1.2.1. Возмущения, вызываемые гармониками

Проходящие по сети гармоники ухудшают качество энергии и являются причиной многочисленных отрицательных эффектов:

- перегрузка распределительных сетей из-за увеличения действующей величины тока;
- перегрузка нулевых рабочих проводников из-за суммирования гармоник 3-го порядка, создаваемых однофазными нагрузками;
- перегрузка, вибрация и старение генераторов, трансформаторов, двигателей;
- перегрузка и старение конденсаторов компенсации реактивной энергии;
- искажение напряжения питания, что может создать помехи для чувствительных потребителей;
- возмущения в сетях передачи данных или телефонных линиях.

1.2.2. Экономические потери в результате воздействия гармоник

Гармоники оказывают значительное экономическое воздействие. Действительно:

- преждевременное старение оборудования приводит к необходимости его более ранней замены, если только его параметры не были изначально завышены;
- перегрузки сети вынуждают увеличивать заявленную мощность и приводят к дополнительным потерям или же к необходимости завышения параметров установки;
- искажения тока вызывают ложные отключения и остановку производственного оборудования.

В результате, **дополнительная стоимость оборудования, энергетические потери и уменьшение производительности** приводят к снижению конкурентоспособности предприятий.

1.2.3. Усиление воздействия гармоник

Всего десять лет назад явление гармоник ещё мало принималось во внимание, так их воздействие на сети обычно было невелико. Однако резкий рост применения силовой электроники значительно усилил влияние этого явления во всех областях деятельности.

Борьба с гармониками затруднена тем фактом, что нередко источником возмущений является оборудование, жизненно важное для предприятия.

1.2.4. Какие гармоники следует измерять и устранять на практике?

В трёхфазных сетях чаще всего встречаются нечётные гармоники, поэтому на практике именно они доставляют больше всего неприятностей.

Гармонические токи выше 50-го порядка незначительны и их измерением можно пренебречь.

В общем и целом, достаточная точность измерений достигается при анализе гармоник до 30-го порядка.

Поставщики электроэнергии контролируют гармоники 3-го, 5-го, 7-го, 11-го и 13-го порядков.

Итак, компенсация гармоник до 13-го порядка обязательна; для обеспечения эффективной компенсации следует учитывать гармоники до 25-го порядка.

Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

2.1. Коэффициент мощности

Существуют показатели, позволяющие измерять и оценивать гармоническое искажение волн тока и напряжения.

Это:

- коэффициент мощности;
- коэффициент амплитуды;
- мощность искажения;
- частотный спектр;
- общее гармоническое искажение.

Данные показатели являются необходимым инструментом для определения возможных корректирующих действий.

Далее в тексте коэффициент мощности обозначен PF (Power Factor).

2.1.1. Определение

Коэффициент мощности равен отношению между активной мощностью P и полной мощностью S.

$$PF = \frac{P}{S}$$

На практике этот термин часто смешивается с косинусом φ ($\cos \varphi$), который имеет следующее определение:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S_1}$$

P1 = активная мощность основной частоты

S1 = полная мощность основной частоты

Таким образом, « $\cos \varphi$ » относится только к основной частоте, и при наличии гармоник отличается от коэффициента мощности PF.

2.1.2. Интерпретация коэффициента мощности

Если измеренный power factor не равен $\cos \varphi$, то это указывает на наличие значительных гармонических искажений в сети (т. е. power factor меньше, чем $\cos \varphi$).

2.2. Коэффициент амплитуды (крест фактор)

2.2.1. Определение

Это отношение между пиковым значением тока или напряжения (I_m или U_m) и действующим значением (I_{rms} или U_{rms}).

$$k = \frac{I_m}{I_{rms}} \quad \text{или} \quad k = \frac{U_m}{U_{rms}}$$

Для синусоидального сигнала, этот коэффициент равен $\sqrt{2}$.

Для несинусоидального сигнала, он может быть либо меньше, либо больше $\sqrt{2}$.

Этот коэффициент особенно полезен для выявления больших пиковых значений тока или напряжения.

2.2.2. Интерпретация значения коэффициента амплитуды

Коэффициент амплитуды потребляемых нелинейными нагрузками токов значительно превышает $\sqrt{2}$: он может иметь значения, равные 1,5 - 2 и до 5 в критических случаях.

Очень большой коэффициент амплитуды свидетельствует о наличии значительных сверхтоков.

При их обнаружении защитными устройствами эти сверхтоки могут явиться причиной ложных отключений.

Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

2.3. Мощность и гармоники

2.3.1. Активная мощность

Активная мощность P сигнала, содержащего гармоники, представляет собой сумму активных мощностей, порождаемых напряжениями и токами одного и того же порядка.

Разложение напряжения и тока на их составляющие даёт следующую формулу:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \cos \varphi_h$$

где φ_h - фазовый сдвиг между напряжением и током гармоники h-порядка.

Примечание:

- предполагается, что сигнал не содержит постоянной составляющей: $U_0 = I_0 = 0$;
- при отсутствии гармоник действительно выражение $P = U_1 I_1 \cos \varphi_1$, определяющее мощность синусоидального сигнала, где $\cos \varphi_1$ равен "cos φ").

2.3.2. Реактивная мощность

Реактивная мощность определяется только для основной частоты:

$$Q = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1$$

2.3.3. Мощность искажения

Рассмотрим полную мощность S:

$$S = U_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}}$$

При наличии гармоник формула будет иметь следующий вид:

$$S^2 = \left(\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2 \right) \cdot \left(\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \right)$$

Соответственно, при наличии гармоник отношение $S^2 = P^2 + Q^2$ недействительно. Мощность искажения D определяется следующим образом: $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$, т.е.:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

2.4. Частотный спектр и коэффициент гармоник

2.4.1. Принцип

Каждый тип аппарата, являющегося источником возмущений, имеет свою характеристику гармонических токов, с различными амплитудами и фазовыми сдвигами.

Эти значения, особенно амплитуда для каждого порядка гармоник, являются важнейшими для анализа.

2.4.2. Индивидуальный коэффициент гармоник (или коэффициент гармоник h-лорядка)

Индивидуальный коэффициент гармоник определяется как процентное содержание гармоники h-порядка, приведённое к основной частоте:

$$u_h (\%) = 100 \frac{U_h}{U_1} \quad \text{или} \quad i_h (\%) = 100 \frac{I_h}{I_1}$$

2.4.3. Частотный спектр

Изобразив амплитуду каждого ряда гармоник по отношению к её частоте, получим изображение в виде гистограммы, называющейся спектральным анализом.

Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

На рисунке 6 приведён пример спектрального анализа прямоугольного сигнала.

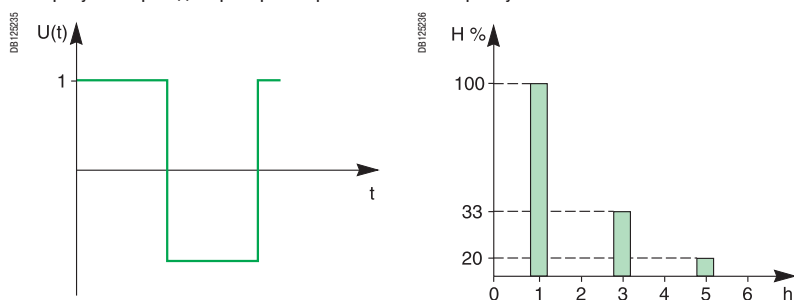


Рис. 6 - спектральный анализ прямоугольного сигнала, для напряжения $U(t)$.

2.4.4. Действующее значение

Действующее значение тока или напряжения может быть вычислено исходя из действующего значения гармоник различных порядков:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

$$U_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$

2.5. Общее гармоническое искажение (THD)

Общее гармоническое искажение обозначается буквами THD (Total Harmonic Distorsion).

Понятие общего гармонического искажения широко используется для определения величины гармонического содержания сигнала переменного тока.

2.5.1. Определение общего гармонического искажения

Общее гармоническое искажение сигнала определяется по формуле:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}}{y_1}$$

Это понятие соответствует определению, данному в стандарте МЭК 61000-2-2.

Следует отметить, что его значение может превышать 1.

Согласно стандарту, обычно можно ограничить h значением 50. Эта величина позволяет оценить при помощи одного числа искажение напряжения или тока, проходящего через данную точку сети.

Коэффициент гармонического искажения обычно выражается в процентах.

2.5.2. THD по току и по напряжению

Для гармоник тока получаем формулу:

$$\text{THD}_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

Эта формула эквивалентна следующей формуле, которая легче в применении, если известно суммарное действующее значение:

$$\text{THD}_I = \sqrt{\left(\frac{I_{\text{rms}}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

Для гармоник напряжения получаем:

$$\text{THD}_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$

2.5.3. Особый случай: общий коэффициент гармоник

В некоторых странах (с другими стандартами) для характеристики искажения используется другое понятие: основное значение напряжения U_1 или тока I_1 заменяется на действующее значение, соответственно U_{rms} или I_{rms} .

В соответствии с этим, вместо общего гармонического искажения применяется общий коэффициент гармоник (thd).

Пример общего коэффициента гармоник по напряжению:

$$\text{thd}_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_{\text{rms}}}$$

Общий коэффициент гармоник (по напряжению и по току) всегда меньше 100 %. Это понятие, хотя и допускает более удобное аналоговое измерение сигналов, тем не менее, применяется всё реже. Действительно, при незначительном искажении сигнала эта величина мало отличается от вышеопределенного общего гармонического искажения. Напротив, это понятие мало приспособлено для измерения сильно искаженных сигналов, так как, в отличие от THD, не может превышать 100 %.

2.5.4. Отношение между коэффициентом мощности и THD

При синусоидальном или почти синусоидальном напряжении, можно считать, что:

$$P \neq P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$\text{Следовательно: } \text{FP} = \frac{P}{S} \neq \frac{U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1}{U_1 \cdot I_{\text{rms}}}$$

$$\text{Но: } \frac{I_1}{I_{\text{rms}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \text{THD}_1^2}}$$

$$\text{Поэтому: } \text{FP} \neq \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 + \text{THD}_1^2}}$$

Отсюда представление $\text{PF} / \cos \varphi$ в зависимости от THDi (рис. 7).

$\text{PF} / \cos \varphi = f(\text{THDi})$.

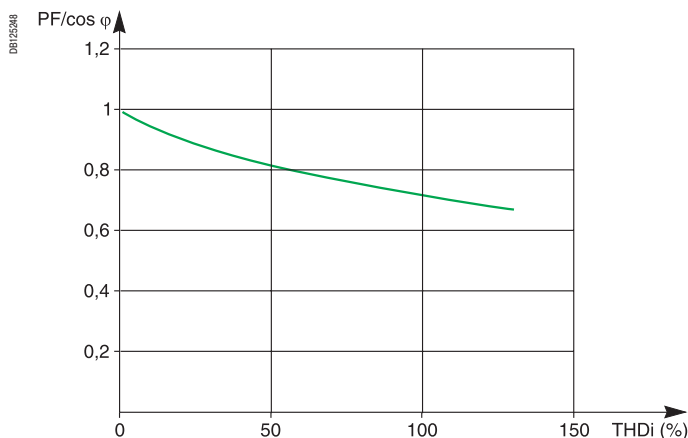


Рис. 7 - изменение $\text{PF} / \cos \varphi$ в зависимости от THDi при $\text{THDu} = 0$

Основные показатели гармонического искажения и принципы измерения

2.6. Польза каждого из показателей

Основным показателем является **общее гармоническое искажение (THD)**, которое позволяет одной величиной выразить искажение волны напряжения или тока.

Спектр даёт картину искажённого сигнала.

■ **Общее гармоническое искажение по напряжению** характеризует искажение волны напряжения.

Измеряемое значение THDu и наблюдаемые в установке явления: Значение THDu менее 5 % считается нормальным. Опасности нарушений работы нет.

Значение THDu от 5 до 8 % свидетельствует о значительном гармоническом возмущении. Возможны некоторые нарушения работы.

Значение THDu свыше 8 % говорит об очень большом гармоническом возмущении. Возможны нарушения работы. Необходим подробный анализ и использование устройств для ослабления возмущений.

■ **Общее гармоническое искажение по току** характеризует искажение волны тока.

Поиск источника возмущения осуществляется путём измерения THD по току на вводе и на каждой из отходящих линий различных цепей с целью локализации этого источника.

Измеряемое значение THDi и наблюдаемые в установке явления: Значение THDi менее 10 % считается нормальным. Опасности нарушений работы нет.

Значение THDi от 10 до 50 % свидетельствует о значительном гармоническом возмущении. Есть опасность нагрева, что требует завышения параметров кабелей и источников.

Значение THDi свыше 50 % говорит об очень большом гармоническом возмущении. Возможны нарушения работы. Необходим подробный анализ и использование устройств для ослабления возмущений.

■ **Коэффициент мощности** позволяет оценить необходимое завышение параметров установки.

■ **Коэффициент амплитуды** используется, чтобы характеризовать способность генератора (источника бесперебойного питания или генератора переменного тока) выдавать большой мгновенный ток. Компьютерное оборудование, например, потребляет сильно искаженный ток, коэффициент амплитуды которого может достигать 3 и даже 5.

■ **Спектр** (частотное разложение сигнала) даёт другое представление электрических сигналов и позволяет оценить их искажение.

3.1. Какие приборы служат для измерения данных показателей?

3.1.1. Выбор прибора

Цифровые анализаторы - приборы, разработанные на основе современной технологии, - позволяют определить с достаточной точностью значения этих показателей. Ниже для сведения приводятся другие методы контроля и измерения:

■ **Контроль при помощи осциллографа**

Первичная индикация искажения сигнала может быть получена путём отображения тока или напряжения на осциллографе.

Форма волны, если она отличается от синусоиды, свидетельствует о наличии гармоник. Могут быть соответственно отражены пики напряжения или тока.

Следует отметить, что данный метод не обеспечивает точную количественную оценку гармонических составляющих.

■ **Аналоговые спектральные анализаторы**

Созданные на основе старой технологии, эти аппараты включают в себя фильтры и вольтметр, измеряющий действующие значения. На сегодня данные аппараты являются устаревшими: они имеют средние рабочие характеристики и не выдают данных о фазовом сдвиге.

3.1.2. Функции цифровых анализаторов

Микропроцессоры, входящие в состав цифровых анализаторов:

- вычисляют значения показателей уровня гармоник (**коэффициент мощности, коэффициент амплитуды, мощность искажения, общее гармоническое искажение**);
- выполняют различные дополнительные функции (корректировки, ведение статистики, управление измерениями, индикация, передача данных и т.д.);
- способны, в случае многоканального исполнения, выдавать почти в реальном времени одновременные **спектральные разложения** токов и напряжений.

3.1.3. Принцип работы анализаторов, способ обработки данных

Аналоговые сигналы преобразуются в последовательность числовых величин.

Алгоритм, использующий быстрое преобразование Фурье (по-английски: Fast Fourier Transform, FFT), на основе этих величин вычисляет амплитуды и фазы гармоник для большого числа временных окон наблюдения.

Большая часть цифровых анализаторов измеряет гармоники до 20-го или 25-го порядка для расчета общего гармонического искажения.

Обработка последовательных значений, вычисленных посредством FFT (сглаживание, классификация, статистика) может выполняться измерительным прибором или же внешней программой.

3.2. Методика анализа гармоник в сети

Такой анализ осуществляется на промышленном или непромышленном объекте:

- в качестве предупредительной меры:

- для **общей оценки состояния сети** («картография» сети);
- в качестве исправительной меры;
- для диагностики **проблемы искажений** и планирования действий по её устранению;
- для **проверки правильности технического решения** (контроль за модернизацией сети с целью проверки уменьшения гармоник).

Порядок действий

Напряжение и ток анализируются на уровне:

- источника питания;
- сборных шин главного распределительного щита (или высоковольтных сборных шин);
- и каждой из отходящих линий главного распределительного щита (или высоковольтных сборных шин).

При проведении измерений необходимо знать точные условия электроустановки, в частности, состояние конденсаторных батарей (включены или отключены, число задействованных ступеней).

Результатом анализа является:

- возможное понижение параметров устанавливаемого оборудования,

или

- количественный расчёт защит и фильтров подавления гармоник, необходимых для данной сети;
- сравнение измеренных значений с эталонными значениями, заявленными поставщиками электроэнергии: предельные значения коэффициента гармоник, допустимые значения, эталонные значения.

Использование измерительных приборов

Приборы служат для одновременного показа текущих и долгосрочных воздействий гармоник. Для правильного анализа необходимы значения, измеренные за временные промежутки от нескольких секунд до нескольких минут, при периодах наблюдения в несколько дней.

Требуемые значения:

- амплитуды гармонических напряжений и токов;
- коэффициент гармоник для каждого порядка токов и напряжений;
- общее гармоническое искажение тока и напряжения;
- при необходимости, величина фазового сдвига между гармоническим напряжением и гармоническим током одного порядка, и фаза гармоник по сравнению с общим эталоном (например, основным напряжением).

3.3. Превентивная борьба с гармониками

Измерение показателей уровня гармоник может осуществляться:

- либо приборами, постоянно установленными в сети;
- либо экспертом, выполняющим эту работу на объекте в течение не менее половины дня (ограниченный обзор).

3.3.1. Преимущественное использование измерительных приборов, постоянно установленных в сети

По нескольким причинам установка измерительных приборов в сети на постоянной основе является предпочтительной:

- продолжительность анализа эксперта ограничена, в то время как измерения, выполняемые в различных точках электроустановки за определенный достаточно продолжительный период времени (от 1 недели до 1 месяца), **дают общую картину** работы установки, и учитывают все случаи, которые могут иметь место в результате:
 - колебаний источника питания;
 - колебаний в работе электроустановки;
 - добавления нового оборудования в электроустановку.
- установленные в сети измерительные приборы **подготавливают и упрощают диагностику** экспертов, способствуя сокращению продолжительности и объема их работы;
- постоянные измерительные приборы способны **обнаруживать новые возмущения**, вызываемые размещением нового оборудования, новыми режимами работы или колебаниями в сети питания.

3.3.2. Применение встроенных измерительных или обнаруживающих приборов

Обнаруживающие или измерительные приборы, встроенные в электрораспределительное оборудование:

- **в случае общей оценки распределительной сети (превентивный анализ)**, позволяют избежать:
 - аренды измерительного оборудования;
 - приглашения экспертов;
 - присоединения/отсоединения измерительных приборов.

Для общей оценки сети, оценка на уровне главных распределительных щитов (ГРЩ НН) может быть выполнена вводным аппаратом и/или измерительными аппаратами, встроенными в каждую отходящую линию.

- **в случае исправительного анализа эти аппараты позволяют:**
 - выявить рабочие условия, существовавшие в момент сбоя;
 - сделать «картографию» сети и оценить применённое решение.

Диагностика дополняется использованием оборудования, адаптированного к рассматриваемой проблеме.

Основные виды воздействия гармоник на электроустановки

4.1. Явление резонанса

Гармоники оказывают серьёзное экономическое воздействие на электроустановки:

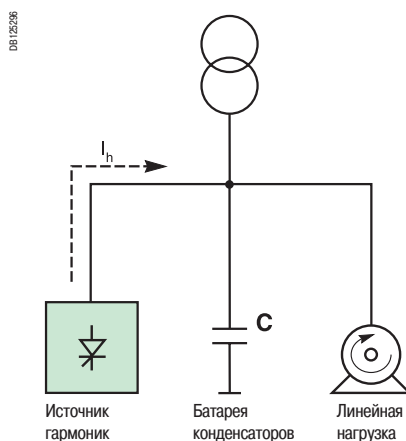
- увеличиваются энергетические затраты;
- изнашивается оборудование;
- снижается производительность.

Сочетание емкостных и индуктивных элементов в сетях приводит к явлениям резонанса. Такие явления проявляются чрезвычайно большими или чрезвычайно малыми значениями полного сопротивления. Эти колебания сопротивления вызывают изменения токов и напряжений в сети.

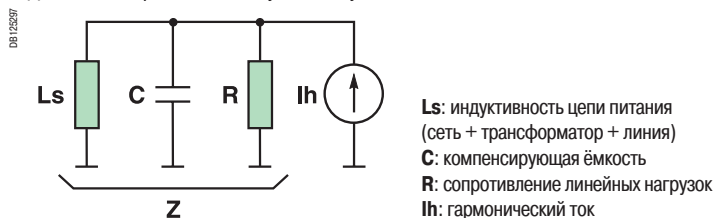
Здесь анализируются только явления резонанса токов, являющиеся наиболее распространёнными.

Рассмотрим упрощённую схему электроустановки, включающей в себя:

- питающий трансформатор;
- питающий трансформатор;
- нелинейные нагрузки, порождающие гармонические токи;
- компенсирующие конденсаторы.



Для анализа гармоник используется следующая схема:



$$Z = \frac{jL_s\omega}{1 - L_sC\omega^2} \quad (R \text{ в расчёт не принимается})$$

Явление резонанса присутствует, если знаменатель $1 - L_sC\omega^2$ стремится к нулю. В этом случае соответствующая частота называется резонансной частотой контура. При этой частоте величина сопротивления максимальна. В результате появляются значительные гармонические напряжения и, соответственно, имеют место сильные искажения напряжения. Эти искажения напряжения сопровождаются циркуляцией по цепи $L_s + C$ гармонических токов, превышающих инжектированные гармонические токи.

По цепи питания и по компенсирующим конденсаторам проходят большие гармонические токи, что вызывает опасность перегрузки.

4.2. Увеличение потерь

4.2.1. Потери в проводниках

Активная мощность, передаваемая нагрузке, зависит от тока основной частоты. Если потребляемый нагрузкой ток содержит гармоники, действующее значение этого тока I_{rms} превышает ток основной частоты I_1 .

Основные виды воздействия гармоник на электроустановки

Согласно определению общего гармонического искажения THD:

$$\text{THD} = \sqrt{\left(\frac{I_{\text{rms}}}{I_1}\right)^2 - 1},$$

откуда выводится:

$$I_{\text{rms}} = I_1 \sqrt{1 + \text{THD}^2}$$

На нижеприведённой диаграмме (рис. 8) изображено, в зависимости от общего гармонического искажения:

■ увеличение действующего значения тока I_{rms} для нагрузки, потребляющей данный ток основной частоты;

■ увеличение тепловых потерь P , без учёта поверхностного эффекта.

(На диаграмме за точку отсчёта берётся значение 1 для действующего значения тока I_{rms} и тепловых потерь P в случае отсутствия гармоник).

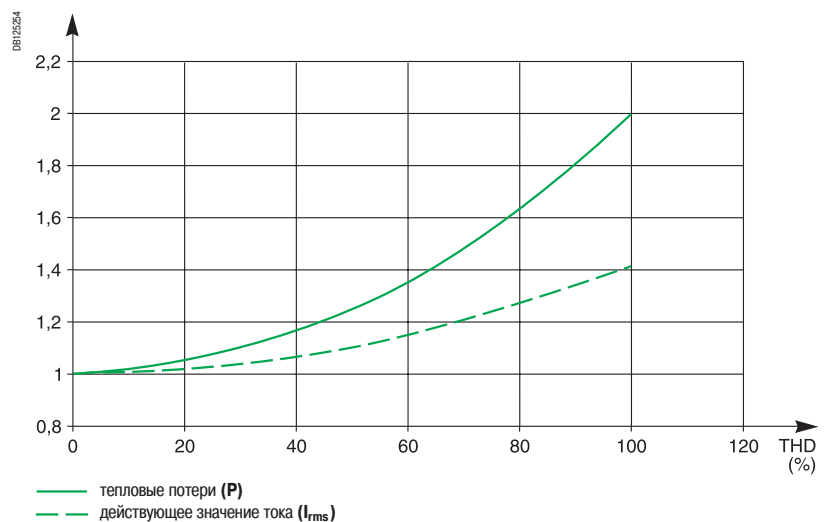


Рис. 8 - увеличение действующего значения тока (I_{rms}) и тепловых потерь (P) в зависимости от величины общего гармонического искажения (THD).

Итак, гармонические токи вызывают увеличение тепловых потерь во всех проводниках, по которым они проходят, а также дополнительный нагрев трансформаторов, коммутационных аппаратов, кабелей и т.д.

4.2.2. Потери в асинхронных машинах

Подача гармонических напряжений на асинхронные машины приводит к циркуляции в роторе токов с частотами выше 50 Гц. Эти токи являются причиной дополнительных потерь, пропорциональных Uh^2/h .

■ Порядки величин:

- напряжение питания почти прямоугольной формы вызывает **увеличение потерь на 20 %**;
- напряжение питания со следующими коэффициентами гармоник u_n n -порядка:
 - u_5 : 8 % U_1 , где U_1 - гармоника 1-го порядка (или напряжение основной частоты);
 - u_7 : 5 % U_1 ;
 - u_{11} : 3 % U_1 ;
 - u_{13} : 1 % U_1 ;

(т.е. 10% общее гармоническое искажение по напряжению THDu) вызывает увеличение потерь на 6 %.

4.2.3. Потери в трансформаторах

При прохождении по трансформатору гармонические токи вызывают увеличение потерь в обмотках из-за эффекта Джоуля и потерь в стали из-за токов Фуко.

Кроме того, гармонические напряжения являются причиной потерь в стали из-за гистерезиса.

В первом приближении можно считать, что потери в обмотках изменяются как квадрат общего гармонического искажения тока, а потери в сердечнике - линейно в зависимости от общего гармонического искажения напряжения.

■ Порядок величин:

- **увеличение потерь на 10 - 15 %** для трансформаторов распределительной сети общего пользования, где коэффициенты искажения ограничены.

4.2.4. Потери в конденсаторах

При подаче на конденсаторы гармонические напряжения вызывают циркуляцию токов,

Основные виды воздействия гармоник на электроустановки

пропорциональных частоте гармоник. Эти токи являются причиной дополнительных потерь.

■ Пример:

Рассмотрим напряжение питания со следующими коэффициентами гармоник u_h h-порядка:

- u_5 : 8 % U_1 ;
- u_7 : 5 % U_1 ;
- u_{11} : 3 % U_1 ;
- u_{13} : 1 % U_1 ;

(что представляет собой 10% общее гармоническое искажение по напряжению THDu).

$$I_1 = U_1 \cdot C \cdot \omega$$

$$I_5 = U_5 \cdot C \cdot 5 \cdot \omega = u_5 \cdot 5 \cdot I_1$$

$$I_7 = U_7 \cdot C \cdot 7 \cdot \omega = u_7 \cdot 7 \cdot I_1$$

$$I_{11} = U_{11} \cdot C \cdot 11 \cdot \omega = u_{11} \cdot 11 \cdot I_1$$

$$I_{13} = U_{13} \cdot C \cdot 13 \cdot \omega = u_{13} \cdot 13 \cdot I_1$$

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum I_h^2}$$

$$\frac{I_{\text{rms}}}{I_1} = \sqrt{1 + (u_5 \cdot 5)^2 + (u_7 \cdot 7)^2 + (u_{11} \cdot 11)^2 + (u_{13} \cdot 13)^2} = 1,19$$

В данном примере **тепловые потери умножаются на 1,19² = 1,4**.

4.3. Снижение рабочих параметров оборудования

4.3.1. Снижение рабочих параметров оборудования

Рабочие параметры генераторов переменного тока, питающих нелинейные нагрузки, снижаются из-за дополнительных потерь, вызванных гармоническими токами. Для генератора, 30 % питаемых нагрузок которого - нелинейные нагрузки, это **снижение составляет порядка 10 %**, из-за чего необходимо завышать параметры данного аппарата.

4.3.2. Источники бесперебойного питания

Ток, потребляемый компьютерным оборудованием, характеризуется высоким коэффициентом амплитуды (крест фактором). Источник бесперебойного питания, рассчитанный только по действующему значению тока, может не обеспечивать необходимый пиковый ток и испытывать перегрузки.

4.3.3. Трансформаторы

■ Нижеприведённая кривая (рис. 9) иллюстрирует типичный случай снижения рабочих параметров трансформатора, питающего электронные нагрузки.

Пример: **снижение параметров на 40 %** для трансформатора, у которого 40 % питаемых нагрузок составляют электронные нагрузки.

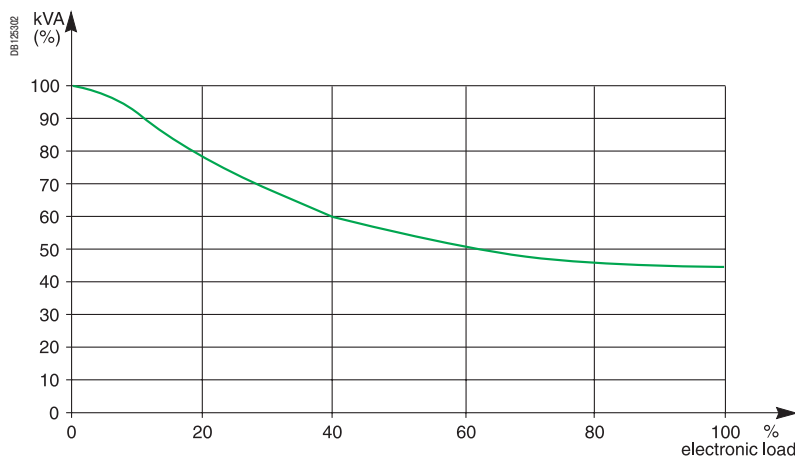


Рис. 9 - коэффициент снижения параметров для трансформатора, питающего электронные нагрузки

Основные виды воздействия гармоник на электроустановки

- Стандарт UTE C15-112 определяет коэффициент снижения параметров трансформаторов в зависимости от гармонических токов:

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,1 \cdot \left(\sum_{h=2}^{40} h^{1,6} \cdot T_h^2 \right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Типичные значения:

- ток «прямоугольной формы» (спектр $1/h^{(1)}$): $k = 0,86$;

- ток типа «преобразователь частоты» (THD = 50 %): $k = 0,80$.

(1) В реальности форма сигнала тока приближается к прямоугольной; это действительно для любого выпрямителя тока (трёхфазный выпрямитель, индукционная печь и т.д.).

- «Коэффициент К»

Стандарт ANSI C57.110 определяет коэффициент снижения параметров, который называется «K-factor» («коэффициент К») и вычисляется по следующей формуле:

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 \cdot h^2}{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_{rms}} \right)^2 \cdot h^2$$

Этот более жесткий коэффициент снижения параметров широко применяется в Северной Америке.

В следующем примере рассчитывается коэффициент К, равный 13:

Порядок h	Ih (%)
5	30
7	20
11	14
13	11
17	8
19	7
23	5
25	4

В диапазоне от 15 до 500 кВА стоимость трансформатора, параметры которого определены при помощи коэффициента К, повышается на 30 - 60 % в зависимости от номинальных токов.

4.3.4. Асинхронные машины

- Стандарт МЭК 60892 определяет весовой (статистический) коэффициент гармоник HVF (Harmonic Voltage Factor). Ниже даны формула и максимальное значение этого коэффициента:

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h \Delta}{h^2}} \leq 0,02$$

- Пример:

Рассмотрим напряжение питания со следующими коэффициентами u_h гармоник h-порядка:

- u_3 : 2 % U_1 ;

- u_5 : 3 % U_1 ;

- u_7 : 1 % U_1 ;

(то есть общее гармоническое искажение THD напряжения равно 3,7 %, HVF = 0,018).

В данном примере весовой коэффициент гармоник очень близок к предельному значению, за которым номинальные характеристики машины должны быть снижены.

Практическое правило заключается в том, чтобы при питании асинхронной машины THDu не превышало 10%.

4.3.5. Конденсаторы

Согласно нормативу, проходящий через конденсаторы действующий ток не должен превышать номинальный ток этих конденсаторов более чем в 1,3 раза.

- В вышеприведённом примере:

- напряжение питания с коэффициентами u_h гармоник h-порядка;

- напряжение основной частоты (или гармоника 1-го порядка) U_1 ;

- гармонические напряжения:

- u_5 : 8 % U_1 ;

- u_7 : 5 % U_1 ;

- u_{11} : 3 % U_1 ;

- u_{13} : 1 % U_1 ;

(т.е. 10% общее гармоническое искажение напряжения THDu).

Основные виды воздействия гармоник на электроустановки

Как результат, $\frac{I_{rms}}{I_1} = 1,19$, при номинальном напряжении.

При напряжении, превышающем номинальное в 1,1 раза, достигается предел $\frac{I_{rms}}{I_1} = 1,3$, поэтому параметры конденсаторов должны быть переопределены.

4.3.6. Нулевые рабочие проводники

Рассмотрим систему, состоящую из компенсированного трёхфазного источника и трёх одинаковых однофазных нагрузок, подключённых между фазами и нейтралью.

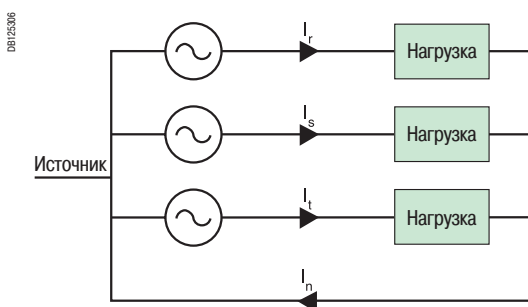
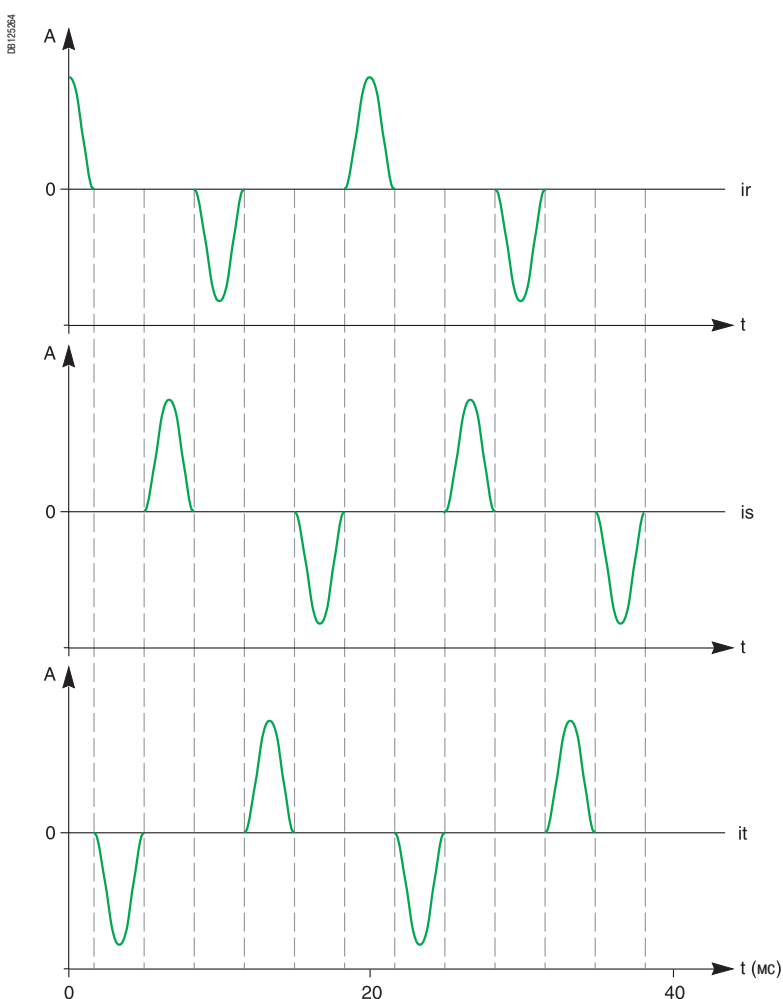


Рис. 10 - принцип прохождения токов в различных проводниках, присоединённых к трёхфазному источнику

На нижеприведённой диаграмме (рис. 11) показан пример токов, проходящих в трёх фазах, и результирующего тока в нулевом рабочем проводнике.



Основные виды воздействия гармоник на электроустановки

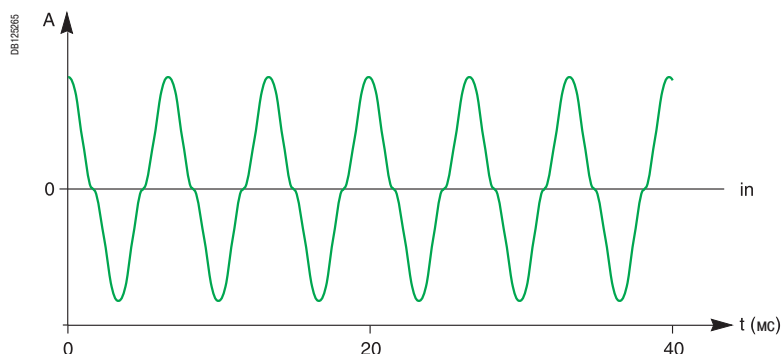


Рис. 11 - пример токов, проходящих в различных проводниках, присоединённых к трёхфазной нагрузке: $i_n = i_r + i_s + i_t$

В данном примере ток в нулевом рабочем проводнике имеет действующее значение, превышающее в $\sqrt{3}$ раза действующее значение тока в фазе. Соответственно, нулевой рабочий проводник должен быть усилен.

4.4. Возмущающее воздействие на чувствительные нагрузки

4.4.1. Искажение напряжения питания

- Искажение напряжения питания может оказать возмущающее воздействие на работу чувствительной аппаратуры:
 - регулирующих устройств (температуры и т.д.);
 - компьютерного оборудования;
 - устройств контроля и управления (защитных реле).

4.4.2. Ухудшение качества телефонной связи

Гармоники генерируют в слаботочных цепях наведённые возмущения. Уровень этих возмущений зависит от длины участка параллельного размещения силовых и сигнальных кабелей, от расстояния между цепями и от частоты гармоник.

4.5. Экономические потери

4.5.1. Экономические потери

Тепловые потери, наведённые гармоническими токами в проводниках и оборудовании, являются причиной дополнительных энергетических потерь.

4.5.2. Повышение абонентской платы

Наличие гармонических токов требует повышение уровня заявленной мощности и, соответственно, приводит к увеличению абонентской платы.

Кроме того, поставщики электроэнергии всё более склоняются к необходимости штрафовать производителей гармоник.

4.5.3. Завышение параметров оборудования

- Снижение рабочих показателей источников энергии (генераторов, трансформаторов, ИБП) из-за наличия гармоник приводит к необходимости завышения их параметров.
- Проводники должны быть рассчитаны таким образом, чтобы позволить циркулировать гармоническим токам: так как частоты этих гармоник выше основной частоты, сопротивление этим токам больше; во избежание слишком больших тепловых потерь необходимо завышать рабочие характеристики проводников.
- Прохождение гармоник в нейтральном рабочем проводнике также вынуждает завышать его характеристики.

Основные виды воздействия гармоник на электроустановки

4.5.4. Сокращение срока службы оборудования

(По данным Канадской Электрической Ассоциации).

При коэффициенте искажения напряжения питания, близком к 10 %, срок службы аппаратуры заметно сокращается. В зависимости от типа аппарата, это сокращение оценивается в следующих величинах:

- 32,5 % для однофазных машин;
- 18 % для трёхфазных машин;
- 5 % для трансформаторов.

Чтобы сохранить соответствующий номинальной нагрузке срок службы, приходится завышать рабочие параметры данного оборудования.

4.5.5. Ложные срабатывания и отключения электроустановки

Выключатели электроустановки подвергаются пикам тока, порождаемым гармониками.

Эти пики тока вызывают ложные срабатывания и приводят к потерям производительности, а также к дополнительным расходам, связанным с повторным включением в работу электроустановки.

4.5.6. Несколько примеров

В нижеприведенных примерах электроустановок для нейтрализации экономического воздействия гармоник пришлось применить фильтры гармоник.

- Вычислительный центр страховой компании:

В этом вычислительном центре ложное срабатывание автоматического выключателя приводило к потерям, величина которых составляла приблизительно 100 000 евро за 1 час отключения.

- Фармацевтическая лаборатория:

Гармоники вызвали отказ дизель-генератора и, как следствие, прерывание одного из этапов длительного испытания нового лекарства; результатом явились потери, оцениваемые в 17 миллионов евро.

- Металлургический завод:

Из-за индукционных печей в течение одного года произошла перегрузка и разрушение трёх трансформаторов 1500 и 2500 кВА; стоимость остановки производства составляла примерно 20 000 евро в час.

- Фабрика садовой мебели:

Отказ регуляторов частоты вызвал остановку производства, каждый час которой стоил примерно 10 000 евро.

Стандарты и нормативные требования

На гармоники распространяется действие различных нормативных требований:

- стандартов по совместимости, относящихся к сетям;
- стандартов, устанавливающих предельные значения для изделий, генерирующих гармоники;
- рекомендаций поставщиков электроэнергии, относящихся к электроустановкам.

Для минимизации последствий воздействия гармоник в настоящее время имеется тройная нормативная система, включающая в себя следующие элементы:

5.1. Стандарты совместимости между электросетями и оборудованием

Эти стандарты содержат директивы по совместимости между электросетями и изделиями, в которых говорится, что:

- гармоники, генерируемые аппаратом, не должны оказывать на сеть возмущающее воздействие, превышающее установленный уровень;
 - каждый аппарат должен быть в состоянии сохранять свою работоспособность при наличии возмущений, не превышающих установленный уровень.
- стандарт МЭК 1000-2-2 относится к низковольтным сетям общего пользования;
- стандарт МЭК 1000-2-4 относится к промышленным электроустановкам низкого и высокого напряжения.

5.2. Стандарты качества сетей

- стандарт EN 50160 уточняет характеристики напряжения, подаваемого по низковольтным сетям общего пользования;
- стандарт IEEE 519 (рекомендации по контролю гармоник в силовых электросистемах) определяет совместные действия поставщика электроэнергии и клиента по ограничению влияния нелинейных нагрузок. Кроме того, поставщики электроэнергии поддерживают профилактические мероприятия, направленные на борьбу против снижения качества электроэнергии, против случаев перегрева и ухудшения коэффициента мощности. Они всё более склоняются к необходимости взимать дополнительную плату с клиентов, являющихся источниками возмущающих воздействий.

5.3. Стандарты аппаратуры

- стандарт МЭК 61000-3-2 или EN 61000-3-2 относится к низковольтным аппаратам, потребляющим ток до 16 А;
- стандарт МЭК 61000-3-4 или EN 61000-3-4 относится к низковольтным аппаратам, потребляющим ток свыше 16 А.

5.4. Максимальные допустимые значения гармоник

В результате исследований, проведённых в разных странах, было собрано определённое количество данных, анализ которых позволил приблизительно определить типичные значения гармоник, встречающиеся в сетях.

Стандарты и нормативные требования

В нижеприведённой таблице отражено мнение значительного числа поставщиков электроэнергии касательно уровней, которые желательно не превышать.

Нечётные гармоники не кратные 3				Нечётные гармоники кратные 3				Чётные гармоники			
Порядок h	НН	ВН	ОВН	Порядок h	НН	ВН	ОВН	Порядок h	НН	ВН	ОВН
5	6	6	2	3	5	2,5	1,5	2	2	1,5	1,5
7	5	5	2	9	1,5	1,5	1	4	1	1	1
11	3,5	3,5	1,5	15	0,3	0,3	0,3	6	0,5	0,5	0,5
13	3	3	1,5	21	0,2	0,2	0,2	8	0,5	0,2	0,2
17	2	2	1	> 21	0,2	0,2	0,2	10	0,5	0,2	0,2
19	1,5	1,5	1					12	0,2	0,2	0,2
23	1,5	1	0,7					> 12	0,2	0,2	0,2
25	1,5	1	0,7								
> 25	0,2 + 25h	0,2 + 25h	0,1 + 25h								

5.5. Стандарты монтажных работ

Влияние уровня THD на функционирование оборудования привел к необходимости разработки стандартов монтажных работ, призванных установить допустимые значения, не наносящие вреда электроустановке. Поэтому французский монтажный стандарт NF C 15-100 предписывает выбор различных сечений проводников нейтрали в зависимости от уровня токов 3 гармоника (15 %, 33 %, 45 %) (§ 524.2):

	THDI _{нз} ≤ 15 %	15 % < THDI _{нз} ≤ 33 %	THDI _{нз} > 33 %
$S_N = 1/2 S_{ph}$	Разрешено Защита нейтрали обязательна	Запрещено	Запрещено
$S_N = S_{ph}$	Разрешено Защита нейтрали не обязательна	Разрешено Ток в фазных проводниках определяет сечение всех проводников.	Разрешено Ток в нейтрали определяет сечение всех проводников.
$S_N > S_{ph}$			Разрешено Ток в нейтрали определяет только сечение нейтрали.

В данной ситуации Шнейдер Электрик предлагает специальные расцепители (расцепители OSN) которые в случае большого THDI_{нз} позволяют использовать кабели с сечением фазных проводников меньшим, чем сечение нейтрального проводника.

Процентное содержание гармоник тока 3-го порядка	Уменьшающий коэффициент	
	Выбор сечения на основе фазного тока	Выбор сечения на основе тока в нейтрали
0 - 15	1,0	-
15 - 33	0,86	-
33 - 45	-	0,86
> 45	-	1,0

Решения для ослабления гармоник

6.1. Решения для ослабления гармоник

Возможные решения для ослабления воздействия гармоник можно разделить на три группы:

- адаптация электроустановки;
- применение специальных устройств для обеспечения питания (дроссели, специальные трансформаторы);
- использование фильтров.

Ниже приведены мероприятия, которые могут быть выполнены для ограничения распространения гармоник в сети, в особенности если речь идёт о новой установке.

6.1.1. Оптимальное подключение нагрузок, создающих помехи

Общее гармоническое возмущение возрастает при уменьшении мощности короткого замыкания.

Если не учитывать экономические аспекты, то предпочтительнее подключать нагрузки, создающие помехи, как можно ближе к источнику питания (см. рис. 12a).

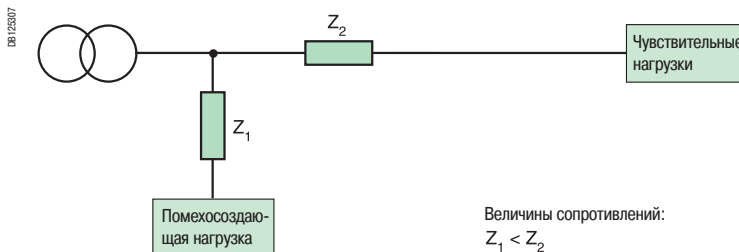


Рис. 12a - рекомендуемая схема подключения нелинейных нагрузок (как можно ближе к источнику питания)

6.1.2. Объединение нагрузок, создающих помехи, в группы

При построении однолинейной схемы нужно стремиться к тому, чтобы отделить оборудование, создающее помехи, от остального оборудования (см. рис. 12б). На практике нагрузки, создающие помехи, и «чистые» нагрузки следует подключать к разным сборным шинам.

При этом векторная сумма гармонических токов будет меньше их алгебраической суммы.

Кроме того, следует избегать прохождения гармонических токов по кабелям. Это позволит ограничить падение напряжения и нагрев в кабелях.

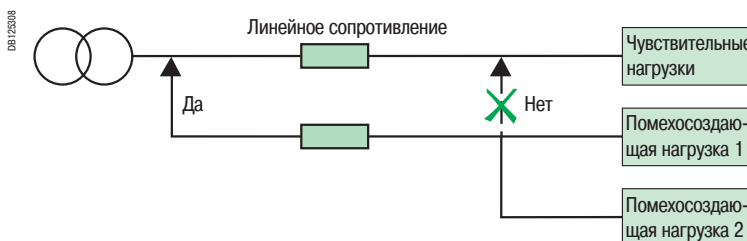


Рис. 12b - рекомендуемая схема группировки и подключения нелинейных нагрузок (как можно ближе к источнику питания)

6.1.3. Разделение источников

Дополнительное улучшение в борьбе против гармоник может быть достигнуто путём организации питания через отдельный трансформатор, согласно следующей принципиальной схеме (рис. 13).

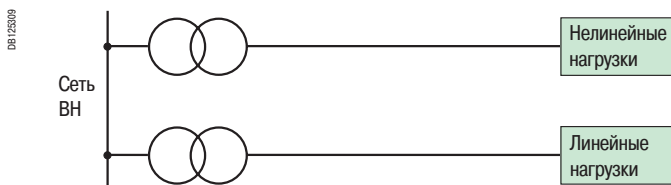


Рис. 13 - питание помехообразующих нагрузок через отдельный трансформатор

Недостатком такого решения является повышение стоимости установки.

Решения для ослабления гармоник

6.1.4. Применение трансформаторов с различными группами соединения обмоток

Путём подбора группы соединения обмоток трансформаторов можно добиться устранения некоторых гармоник.

Рассмотрим, какие гармоники подавляются той или иной группой соединения обмоток:

- группа соединения $\Delta Y \Delta$ подавляет гармоники 5-го и 7-го порядков (см. рис. 14);
- группа ΔY подавляет гармоники 3-го порядка (гармоники проходят по каждой фазе и возвращаются по нейтрали трансформатора);
- группа ΔZ_0 подавляет гармоники 5-го порядка (путём возвращения в магнитопровод).

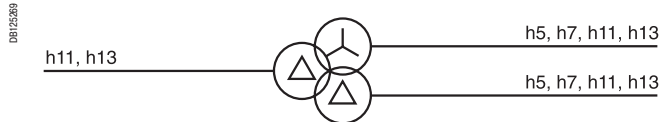


Рис. 14 - использование трансформатора $\Delta Y \Delta$ останавливает распространение гармоник 5-го и 7-го порядков в сторону источника питания

6.1.5. Применение дросселей

В случае питания регуляторов частоты можно обеспечить сглаживание тока путём использования **линейных дросселей**. При увеличении полного сопротивления цепи питания достигается ограничение гармонического тока.

Установка **дросселей подавления гармоник** на конденсаторные батареи позволяет увеличить полное сопротивление системы дроссель-конденсатор для гармоник в диапазоне высоких частот.

6.1.6. Выбор подходящей схемы заземления

■ Режим TNC

При режиме нейтрали TNC один и тот же проводник (PEN) обеспечивает защиту при замыкании (на землю) и прохождение токов небаланса.

В постоянном режиме гармонические токи проходят по проводнику PEN. Однако этот проводник обладает некоторым сопротивлением, что приводит к небольшой разнице потенциалов (порядка нескольких вольт) между аппаратами и может вызывать сбои в работе электронного оборудования.

Соответственно, режим нейтрали TNC следует использовать при питании силовых цепей, в головной части электроустановки, и **нельзя применять в случае питания чувствительных нагрузок**.

■ Режим TNS

Этот режим рекомендуется применять при наличии гармоник.

Действительно, так как нейтральный рабочий проводник и защитный проводник полностью отделены друг от друга, напряжение сети более стабильно.

6.2. Меры в случае превышения предельных значений

Если вышеуказанные профилактические мероприятия не достаточны, электроустановка, под-вергающаяся воздействию гармоник, должна быть оснащена фильтрующим устройством.

Различают три типа фильтров:

- пассивный фильтр;
- активный фильтр;
- комбинированный фильтр.

6.2.1. Пассивный фильтр

■ Типичные виды применения:

- промышленные установки, включающие в себя источники гармоник суммарной мощностью свыше 200 кВА (регуляторы частоты, ИБП, выпрямители и т.д.);
- электроустановка, где есть необходимость компенсации реактивной энергии;
- необходимость уменьшения коэффициента искажения напряжения во избежание возмущающего воздействия на чувствительные электроприёмники;
- необходимость уменьшения коэффициента искажения тока во избежание перегрузок.

■ Принцип работы:

Параллельно источнику гармоник подключается индуктивно-ёмкостная схема (LC), настроенная на каждую частоту фильтруемой гармоники (см. рис. 15).

Эта параллельная цепь поглощает гармоники и предотвращает их проникновение в цепи питания.

Решения для ослабления гармоник

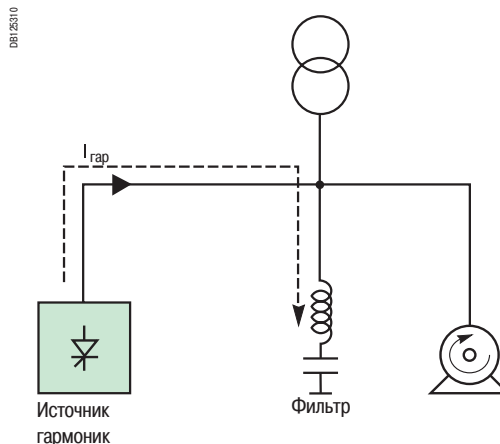


Рис. 15 - принцип использования пассивного фильтра

Обычно пассивный фильтр настраивается на гармонику, близкую к подавляемой гармонике. Если необходимо значительное уменьшение коэффициента искажения по нескольким гармоникам, можно использовать несколько параллельно включенных фильтров.

6.2.2. Активный фильтр (или активный компенсатор)

■ Типичные виды применения:

- электроустановки непромышленных объектов, включающие в себя источники гармоник с суммарной мощностью менее 200 кВА (регуляторы частоты, ИБП, офисное оборудование и т.д.);
- необходимость уменьшения коэффициента искажения тока во избежание перегрузок.

■ Принцип работы:

Речь идёт о силовых электронных системах, устанавливаемых последовательно или параллельно с нелинейной нагрузкой с целью компенсации либо гармонических напряжений, либо гармонических токов, порождаемых нагрузкой.

На рис. 16 приведён пример активного фильтра, компенсирующего гармонический ток: ($I_{\text{гар}} = -I_{\text{акт}}$).

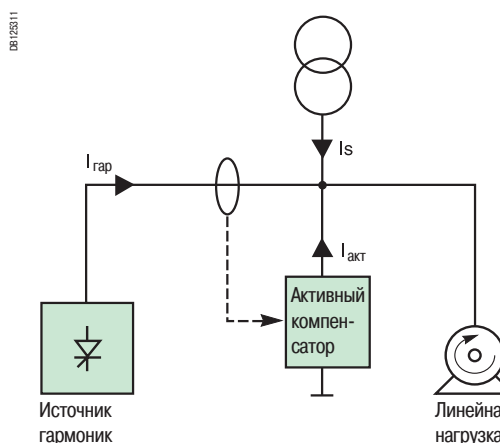


Рис. 16 - принцип использования активного фильтра

Активный фильтр инжектирует в противофазе присутствующие в цепи питания нагрузки гармоники таким образом, что линейный ток I_s получается синусоидальным.

6.2.3. Комбинированный фильтр

■ Типичные виды применения:

- промышленные установки, включающие в себя источники гармоник суммарной мощностью свыше 200 кВА (регуляторы частоты, ИБП, выпрямители и т.д.);
- электроустановка, где есть необходимость компенсации реактивной энергии;
- необходимость уменьшения коэффициента искажения напряжения во избежание возмущающего воздействия на чувствительные электроприёмники;
- необходимость уменьшения коэффициента искажения тока во избежание перегрузок;
- поиск совместимости при чётко определенных пределах гармонического излучения.

Решения для ослабления гармоник

■ Принцип работы:

Оба вышеописанных типа устройств могут быть объединены в одно устройство - комбинированный фильтр (см. рис. 17). Это новое решение фильтрации позволяет сочетать преимущества существующих решений и охватить широкий спектр мощностей и рабочих характеристик.

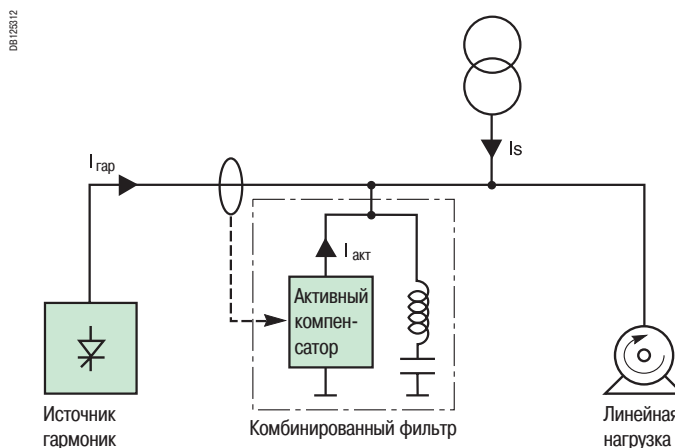


Рис. 17 - принцип использования комбинированного фильтра

6.2.4. Критерии выбора

■ Пассивный фильтр обеспечивает одновременно:

- компенсацию реактивной энергии;
- высокую фильтрационную способность по току.

Электроустановка, в которой используется данный фильтр, должна иметь достаточную стабильность при малом колебании нагрузки.

Если отдаваемая реактивная мощность значительна, рекомендуется отключать пассивный фильтр на периоды малой нагрузки.

При разработке присоединения фильтра нужно учитывать возможное наличие компенсационной батареи, которая в итоге может быть упразднена.

■ **Активный компенсатор** обеспечивает фильтрацию гармоник в широком диапазоне частот. Он может адаптироваться к любой нагрузке. Однако его гармоническая мощность ограничена.

■ **Комбинированный фильтр** сочетает в себе характеристики пассивных и активных фильтров.

Измерительные приборы Schneider Electric

7.1. Измерение

Schneider Electric располагает полной гаммой устройств для измерения гармонического искажения:

- Powerlogic (Power Meter и Circuit Monitor);
- Micrologic.



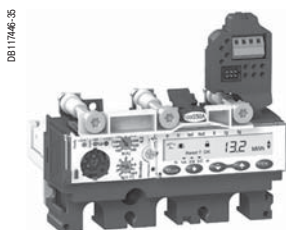
Power Meter PM800



Circuit Monitor Series 3000



Устройство контроля Micrologic H, интегрированное в автоматические выключатели Masterpact NT и NW



Расцепитель Micrologic E, интегрированный в автоматические выключатели Compact NSX

Успешная борьба с «загрязнением» гармониками начинается с измерения. Оборудование Schneider Electric обеспечивает различные решения в зависимости от конкретной электроустановки.

7.1.1. Встроенные измерительные комплексы

Micrologic: измерительный комплекс, встроенный в выключатели

Расцепитель и измерительный комплекс Micrologic входит в состав автоматических выключателей Masterpact NT/NW (Micrologic 5/6/7 H) и Compact NSX (Micrologic 5/6 E).

Micrologic обеспечивает анализ качества электроэнергии и формирует протокол событий. Результаты измерений, произведенные Micrologic, могут быть выведены на внешний щитовой индикатор или на экран компьютера.

Это обеспечивает:

- измерение токов, напряжений, активной и реактивной мощности;
- измерение общего гармонического искажения THD по току и напряжению;
- отображение гармонических составляющих тока и напряжения (регистрируются параметры гармоник до 31-го порядка);
- регистрацию и запись искажений синусоиды.

Щитовой индикатор (FDM 121) позволяет увеличить размер экрана дисплея, что обеспечивает удобство снятия показаний.

7.1.2. Внешние измерительные комплексы

Power Meter и Circuit Monitor, входящие в PowerLogic System

Данные изделия представляют собой высокопроизводительные инструменты анализа высоковольтных и низковольтных сетей. Эти цифровые измерительные комплексы служат для измерения качества электроэнергии.

Серия PowerLogic включает в себя устройства Power Meter (PM), Circuit Monitor (CM) и ION. Эта серия, отличающаяся высоким уровнем модульности, удовлетворяет широкий спектр потребностей, от самых простых (PM) до наиболее сложных (CM). Данные изделия применяются в новых или существующих электро-установках, где качество энергии имеет важное значение. Они могут использоваться как локально, так и дистанционно.

Устройства PM, в зависимости от их положения в сети, позволяют оценить качество энергии в первом приближении. Основные измерения, выполняемые PM:

- измерение общего гармонического искажения тока и напряжения;
- измерение коэффициента мощности.

В зависимости от модели изделия, к измерительным функциям добавляются возможности указания даты и времени и аварийно-предупредительной сигнализации.

Устройства CM и PM850 обеспечивают подробный анализ качества электроэнергии и анализ возмущений в сети. Основные особенности и функции CM:

- измерение более чем 100 электрических параметров;
- запоминание и датировка минимальных и максимальных значений каждого электрического параметра;
- аварийно-предупредительная сигнализация по электрическим параметрам;
- протоколирование информации о событиях;
- запись возмущений по току и напряжению;
- анализ гармоник;
- запись формы волны (запись осциллограмм);
- соответствие стандарту EN50160 (только CM4000 и 4000T).

7.1.3. Использование измерительных комплексов

Программное обеспечение для дистанционного управления и анализа

На более высоком уровне распределения электроэнергии компания Schneider Electric предлагает возможность подключения вышеперечисленного оборудования к единой коммуникационной сети, обеспечивая централизацию информации, а также получения общей картины возмущений во всей сети.

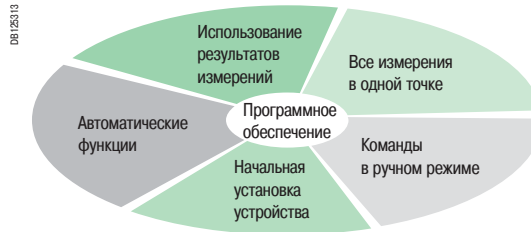
В результате, в зависимости от вида применения, можно выполнять измерения в реальном времени, вычислять средние значения, записывать параметры тока и напряжения, предвидеть возникновение аварийных ситуаций и т.д.

Передача данных между измерительными комплексами осуществляется по сети Modbus.

Измерительные приборы Schneider Electric

Эта система нацелена, в основном, на облегчение планирования мероприятий технического обслуживания. Её применение позволяет сократить продолжительность сервисных работ и снизить затраты на установку на объекте переносных измерительных устройств, а также упрощает расчёт характеристик дополнительного оборудования (например, фильтров).

Schneider Electric предлагает специальный программный продукт для диспетчеризации и интернет-страницы.



SMS

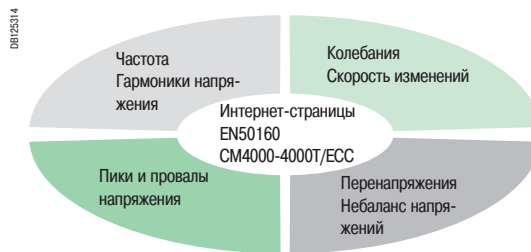
SMS представляет собой законченное программное обеспечение для анализа сети, работающее совместно с устройствами PowerLogic.

Установленное на стандартный компьютер, оно обеспечивает:

- отображение измерений в реальном времени;
- отображение протоколов событий за определенный период;
- выбор способа представления данных (таблицы, кривые различных типов);
- статистическую обработку данных (отображение гистограмм).

Интернет-страницы (EN 50160) для CM 4000 – 4000 T с картой ECC

Страницы в формате HTML, с подробной информацией, касающиеся устройств, соответствующих стандарту EN 50160, могут быть загружены с использованием карты Ethernet ECC для применения непосредственно со стандартным интернет-приложением (например, Internet Explorer).



7.2. Руководство по выбору

В нижеприведённой таблице обобщены наиболее распространённые случаи применения устройств для измерения гармоник:

Цель измерения	PM500 - PM820	Micrologic E	Micrologic H	PM850/CM3000/4000
Общая оценка состояния распределительной сети	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Точная диагностика	■ ■	■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■
Анализ	■	■ ■	■ ■	■ ■ ■
Преимущества	Базовое измерительное устройство, простое в эксплуатации, недорогое, малогабаритное, высокоточное	Устройство встроено в автоматический выключатель ComPПеременный ток NSX, позволяет производить мониторинг сети и обеспечивает измерение более 100 электрических параметров без внешнего трансформатора тока	Устройство встроено в автоматический выключатель MasterPПеременный ток, позволяет производить мониторинг питающей сети или питающих фидеров без дополнительных кабелей и внешнего трансформатора тока + встроенная энергонезависимая аварийно-предупредительная сигнализация	Полностью комплектный высокоточный программируемый измерительный прибор с большой емкостью памяти для данных и высокой (программируемой) скоростью измерения

Условные обозначения:

- ■ ■ полностью подходит
- ■ удовлетворительное решение
- только индикация, дополнить другим устройством

Измерительные приборы Schneider Electric

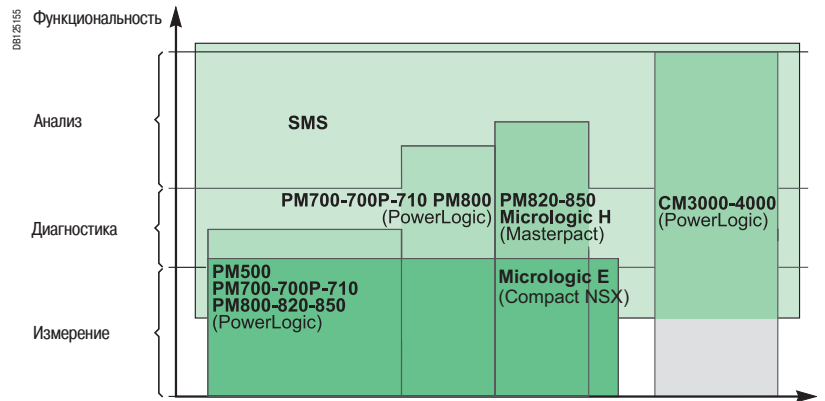


















Рис. 18 - позиционирование измерительных устройств

Выбор оборудования в зависимости от функций измерения

		Power Meter							
									
		PM9P/PM9C	PM500	PM700	M700P	PM710	PM810	PM820	PM850
Общие критерии выбора									
Монтаж		На DIN рейке	Монтаж на поверхности	Монтаж на поверхности			Монтаж на поверхности		
Использование в сетях низкого напряжения		■	■	■	■	■	■	■	■
Использование в сетях высокого и низкого напряжения		-	■	■	■	■	■	■	■
Точность по току/напряжению		0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Точность по мощности/энергии		2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0,5 %	0,5 %
Измерение мгновенных действующих значений									
Ток	■ Фазный	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ В нейтрали	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ Расширенный диапазон измерения	-	-	-	-	-	-	-	-
Напряжение	■ Линейное и фазное	■	■	■	■	■	■	■	■
Частота		■	■	■	■	■	■	■	■
Мощность	■ Активная	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ Реактивная	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ Полная	■	■	■	■	■	■	■	■
Мощность на фазу	■ Активная	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ Реактивная	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ Полная	-	■	■	■	■	■	■	■
Power factor	■ Общий	■	■	■	■	■	■	■	■
	■ На фазу	-	■	-	-	-	■	■	■
Измерение энергии									
Активная энергия		■	■	■	■	■	■	■	■
Реактивная энергия		■	■	■	■	■	■	■	■
Полная энергия		-	■	■	■	■	■	■	■
Настройка режима суммирования		-	-	-	-	-	■	■	■
Измерение средних значений									
Ток	■ Текущее и максимальное значение	-	■	■	■	■	■	■	■
Суммарная активная мощность	■ Текущее и максимальное значение	■	■	■	■	■	■	■	■
Суммарная реактивная мощность	■ Текущее и максимальное значение	-	■	■	■	■	■	■	■
Суммарная полная мощность	■ Текущее и максимальное значение	-	■	■	■	■	■	■	■
Суммарная ожидаемая мощность	кВт, кВАР, кВА	-	-	-	-	-	■	■	■
Синхронизация измеряемого окна		-	Опция	-	-	-	■	■	■
Настройка режима расчета		-	-	■	■	■	■	■	■
Измерения качества электроэнергии									
Общее гармоническое искажение THD	■ По напряжению	-	■	■	■	■	■	■	■
	■ По току	-	■	■	■	■	■	■	■
Содержание гармоник по порядкам (ток и напряжение)		-	-	-	-	-	■	■	■
Запись осциллограмм		-	-	-	-	-	-	-	■
Обнаружение скачков напряжения		-	-	-	-	-	-	-	-
Программируемые функции (логические и математические)		-	-	-	-	-	-	-	-
Обнаружение и запись параметров переходных процессов (< 1 мкс)		-	-	-	-	-	-	-	-
Колебания напряжения		-	-	-	-	-	-	-	-
Проверка соответствия стандарту EN50160		-	-	-	-	-	-	-	-
Измерение истинных действующих значений	■ Максимальный порядок гармоники	15	31	15	15	15	63	63	63
Частота экспозиции	■ Количество точек за период	-	-	32	32	32	128	128	128

(1) Измерительные датчики входят в комплект поставки.

Выбор оборудования в зависимости от функций измерения

		Power Meter							
									
		PM9P/PM9C	PM500	PM700	M700P	PM710	PM810	PM820	PM850
Запись данных									
Мин./макс. мгновенные значения		-	Опция	■	■	■	■	■	■
Журналы данных		-	-	-	-	-	-	2	4
Журналы событий		-	-	-	-	-	-	■	■
Графики тенденций		-	-	-	-	-	-	-	■
Аварийно-предупредительная сигнализация		-	Опция	-	-	-	■	■	■
Оповещение об аварийно-предупредительных сигналах через e-mail		-	-	-	-	-	-	-	-
SER (регистрация последовательности аварийных событий)		-	-	-	-	-	-	-	-
Указание даты и времени		-	-	-	-	-	■	■	■
Синхронизация GPS		-	-	-	-	-	-	-	-
Ёмкость запоминающего устройства		-	-	-	-	-	-	80 Кбайт	800 Кбайт
Дисплей, датчики, входы/выходы									
Дисплей на передней панели		■	■	■	■	■	■	■	■
Встроенные датчики напряжения и тока		-	-	-	-	-	-	-	-
Импульсный выход		1 (PM9P)	Опция	-	2	-	1	1	1
Дискретные или аналоговые входы (макс. конфигурация)		-	3	-	-	-	13	13	13
Дискретные или аналоговые выходы (макс. конфигурация, включающая импульсный выход)		1 (PM9P)	5	-	2	-	9	9	9
Прямое присоединение напряжения (пер. ток) без внешнего трансформатора напряжения		450 В	480 В	480 В	480 В	480 В	600 В	600 В	600 В
Питание									
Исполнение для пер./пост. тока	Переменный ток	230 В	110 - 400 В	110 - 415 В			110 - 415 В		
	Постоянный ток	-	120 - 350 В	125 - 250 В			125 - 250 В		
Исполнение для постоянного тока		24 - 48 В	24 - 48 В	-			-		
Передача данных									
Порт RS 485		■ (PM9C)	Опция	-	-	■	■	■	■
Инфракрасный порт		-	-	-	-	-	-	-	-
Порт RS 232		-	-	-	-	-	-	-	-
Протокол Modbus		■	■	-	-	■	■	■	■
Порт Ethernet (протокол Modbus/TCP/IP)		-	-	-	-	-	-	-	-
Web-сервер HTML-страниц		-	-	-	-	-	-	-	-
Ethernet-шлюз для других изделий, подключаемых по RS 485		-	-	-	-	-	-	-	-



(2) Только максимальные значения.




(3) Общее число входов и выходов не может превышать 25.

(4) Питание от силовых цепей.



(5) Возможно с EGX400 и MPS 100.

Выбор оборудования в зависимости от функций измерения



Circuit Monitor				
				
CM3250	CM3350	CM4000	CM4000XR	CM4000T
■	■	■	■	■
14	14	14	14	14
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
До 8 МБ	До 8 МБ	До 32 МБ	До 32 МБ	До 32 МБ
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
-	-	-	-	-
1	1	1	1	1
4	4	16 ⁽³⁾	16 ⁽³⁾	16 ⁽³⁾
5	5	17 ⁽³⁾	17 ⁽³⁾	17 ⁽³⁾
600 В	600 В	600 В	600 В	600 В
100 - 275 В		100 - 275 В		
125 - 250 В		125 - 250 В		
-		-		
■	■	■	■	■
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
-	-	■	■	■
■	■	■	■	■
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция

Расцепители Micrologic для низковольтных автоматических выключателей				
				
A	P	H	5/6 A	5/6 E
■ ⁽²⁾	■	■	■	■
-	-	-	-	-
-	■	■	■	■
-	-	-	-	-
-	■	■	■	■
-	-	-	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾
-	-	-	-	-
-	■	■	■	■
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
■	■	■	■	■
■	■	■	■	■
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
6	6	6	2	1
690 В	690 В	690 В	690 В	690 В
⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾
⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾
⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾	Опция	Опция
Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
■	■	■	■	■
-	-	-	-	-
-	-	-	⁽⁵⁾	⁽⁵⁾
-	-	-	-	-

Выбор оборудования в зависимости от функций измерения

		ION8800			ION8600		
							
		A	B	C	A	B	C
Общие критерии выбора							
Монтаж		DIN 43862			Монтаж на поверхности		
Использование в сетях низкого напряжения		■	■	■	■	■	■
Использование в сетях высокого и низкого напряжения		-	■	■	■	■	■
Точность по току/напряжению		0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %
Точность по мощности/энергии		0,20 %	0,20 %	0,20 %	0,20 %	0,20 %	0,20 %
Измерение мгновенных действующих значений							
Ток	■ Фазный	■	■	■	■	■	■
	■ В нейтрали	■	■	■	■	■	■
	■ Расширенный диапазон измерения	-	-	-	-	-	-
Напряжение	■ Линейное и фазное	■	■	■	■	■	■
Частота		■	■	■	■	■	■
Мощность	■ Активная	■	■	■	■	■	■
	■ Реактивная	■	■	■	■	■	■
	■ Полная	■	■	■	■	■	■
Мощность на фазу	■ Активная	■	■	■	■	■	■
	■ Реактивная	■	■	■	■	■	■
	■ Полная	-	■	■	■	■	■
Power factor	■ Общий	■	■	■	■	■	■
	■ На фазу	■	■	■	■	■	■
Измерение энергии							
Активная энергия		■	■	■	■	■	■
Реактивная энергия		■	■	■	■	■	■
Полная энергия		■	■	■	■	■	■
Настройка режима суммирования		■	■	■	■	■	■
Измерение средних значений							
Ток	■ Текущее и максимальное значение	■	■	■	■	■	■
Суммарная активная мощность	■ Текущее и максимальное значение	■	■	■	■	■	■
Суммарная реактивная мощность	■ Текущее и максимальное значение	■	■	■	■	■	■
Суммарная полная мощность	■ Текущее и максимальное значение	■	■	■	■	■	■
Суммарная ожидаемая мощность	■ кВт, кВАР, кВА	■	■	■	■	■	■
Синхронизация измеряемого окна		■	■	■	■	■	■
Настройка режима расчета		■	■	■	■	■	■
Измерения качества электроэнергии							
Гармоники		■	■	-	■	-	-
Общее гармоническое искажение THD	■ По напряжению	■	■	■	■	■	■
	■ По току	■	■	■	■	■	■
Содержание гармоник по порядкам (ток и напряжение)		■	■	■	■	■	■
Запись осциллограмм		■	-	-	■	-	-
Обнаружение скачков напряжения		■	■	■	■	■	■
Программируемые функции (логические и математические)		■	■	■	■	■	■
Обнаружение и запись параметров переходных процессов (< 1 мкс)		■	-	-	■	-	-
Колебания напряжения		■	■	-	■	-	-
Проверка соответствия стандарту EN50160		■	■	-	■	-	-
Измерение истинных действующих значений	■ Максимальный порядок гармоники	63	63	63	63	63	31
Частота экспозиции	■ Количество точек за период	1024	1024	1024	256	256	256




Выбор оборудования в зависимости от функций измерения

		ION8800			ION8600		
							
		A	B	C	A	B	C
Запись данных							
Мин./макс. мгновенные значения		■	■	■	■	■	■
Журналы данных		■	■	■	■	■	■
Журналы событий		■	■	■	■	■	■
Графики тенденций		- (1)	-	-	-	-	-
Аварийно-предупредительная сигнализация		■	■	■	■	■	■
Оповещение об аварийно-предупредительных сигналах через e-mail		■	■	■	■	■	■
SER (регистрация последовательности аварийных событий)		■ (2)	■	■	■	■	■
Указание даты и времени		■	■	■	■	■	■
Синхронизация GPS		■	■	■	■	■	■
Ёмкость запоминающего устройства		До 10 МБ	До 10 МБ	До 10 МБ	10 МБ	5 МБ	2 МБ
Дисплей, датчики, входы/выходы							
Дисплей на передней панели		■	■	■	■	■	■
Встроенные датчики напряжения и тока		-	-	-	-	-	-
Импульсный выход		3	3	3	11	11	11
Дискретные или аналоговые входы (макс. конфигурация)		1	1	1	2	2	2
Дискретные или аналоговые выходы (макс. конфигурация, включающая импульсный выход)		13	13	13	14	14	14
Прямое присоединение напряжения (пер. ток) без внешнего трансформатора напряжения		500 В			480 В		
Питание							
Исполнение для пер./пост. тока	Переменный ток	85 - 240 В пер. тока			120 - 277 В / 120 - 480 В / 57 - 70 В / 65 - 120 В / 160 - 277 В		
	Постоянный ток	110 - 270 В пост. тока (±10 %)			80 - 160 В / 200 - 350 В		
Исполнение для постоянного тока		-	-	-	-	-	-
Передача данных							
Порт RS 485		Опция	Опция	Опция	■	■	■
Инфракрасный порт		■	■	■	■	■	■
Порт RS 232		Опция	Опция	Опция	■	■	■
Протокол Modbus		М	М	М	М	М	М
Порт Ethernet (протокол Modbus/TCP/IP)		Опция	Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
Web-сервер HTML-страниц		Опция	Опция	Опция	Опция	Опция	Опция
Ethernet-шлюз для других изделий, подключаемых по RS 485		Опция	Опция	Опция	Опция	Опция	Опция

(1) Для ION8800 и ION8600 необходимо специальное программное обеспечение.

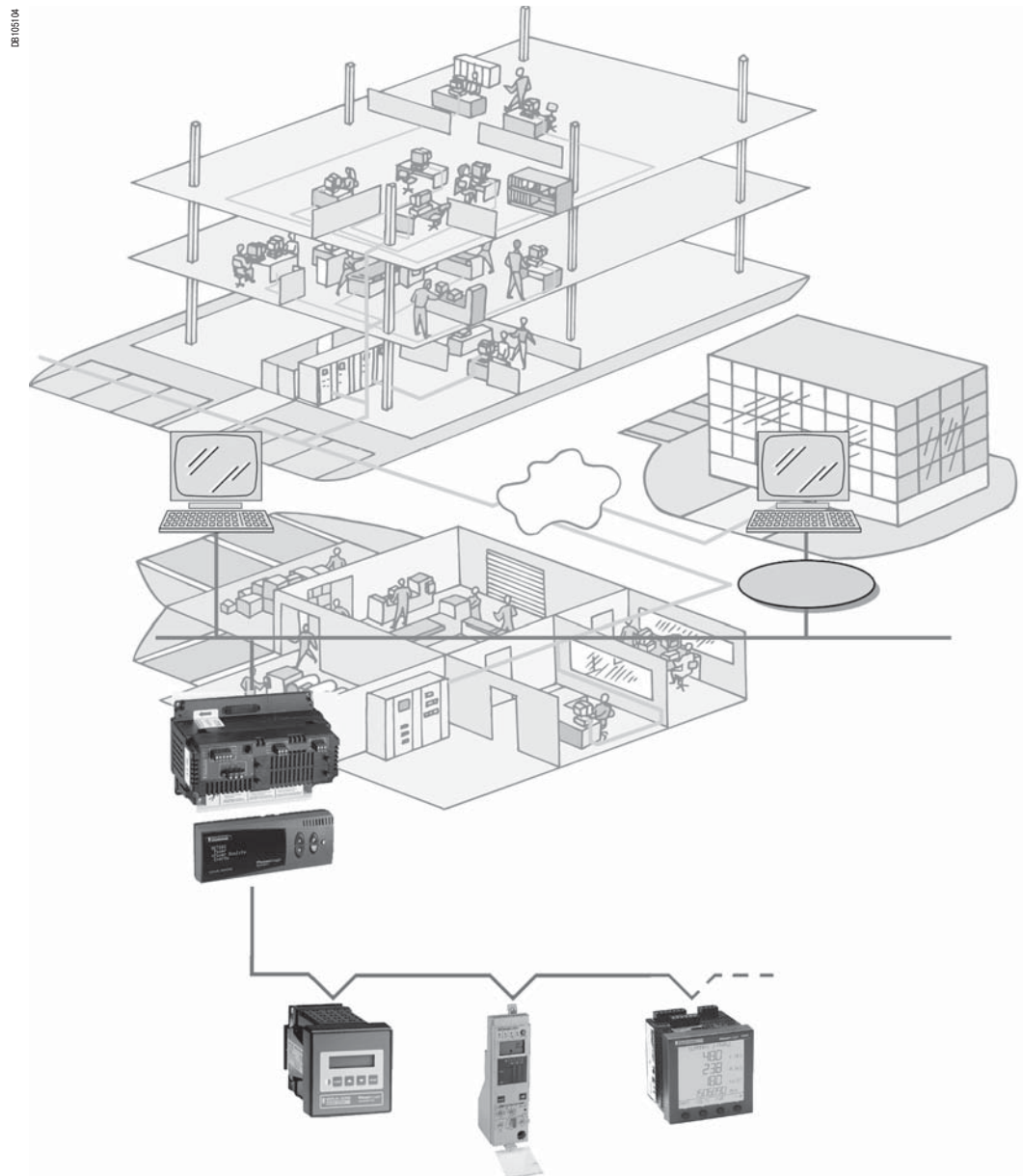
(2) SER на ION выполняется вручную.

Выбор оборудования в зависимости от функций измерения

	ION7650	ION7550	ION7350	ION7330	ION7300	ION6200
						
	■	■	■	■	■	-
	■	■	■	■	-	-
	■	■	■	■	-	-
	■	■	■	-	-	-
	■	■	■	■	-	-
	■	■	■	-	-	-
	■	■	■	■	-	-
	■	■	■	■	-	-
	■	■	■	■	-	-
	До 10 МБ	До 10 МБ	300 Кбайт	300 Кбайт	-	-
	■	■	■	■	■	■
	-	-	-	-	-	-
	20	20	8	8	4	-
	1	1	-	-	-	2
	12	12	8	8	8	2
	600 В		600 В		690 В	
	85 - 240 В		95 - 240 В		100 - 240 В	
	110 - 300 В		120 - 310 В		110 - 300 В	
	-		20 - 60 В		-	
	■	■	■	■	■	Опция
	■	■	■	■	■	-
	■	■	-	-	-	-
	М	М	М	М	М	М
	Опция	Опция	Опция	Опция	Опция	-
	Опция	Опция	Опция	Опция	-	-
	Опция	Опция	Опция	Опция	-	-

Решения Schneider Electric для ослабления гармоник

9.1. Экспертиза Schneider Electric	40
9.2. Специальное оборудование Schneider Electric	41
9.3. Руководство по выбору	42



Решения Schneider Electric для ослабления гармоник

9.1. Экспертиза Schneider Electric

Schneider Electric предлагает полный спектр оборудования и услуг для борьбы с гармониками:

- проведение экспертиз;
- контрольно-измерительные приборы;
- фильтры.

Выбор наиболее подходящего, как с технической так и с экономической точки зрения решения. является результатом углубленного изучения.

Диагностика высоковольтных и низковольтных систем

Приглашение эксперта из Центра Исследований и Технического Содействия компании Schneider Electric гарантирует Вам эффективность предлагаемого решения (например: гарантированный максимальный уровень THDu).

Диагностика гармоник выполняется специалистом в области возмущений электрических сетей, снабжённым мощными средствами для моделирования и анализа.

Диагностика Schneider Electric включает в себя следующие этапы:

- измерение возмущений тока и фазного и линейного напряжения на уровне помехосоздающих электроприёмников, подверженных возмущениям отходящих линий и источников питания;
- компьютерное моделирование явлений, обеспечивающее подробное объяснение их причин и оптимизированный поиск возможных решений;
- полный диагностический отчёт с выделением:
 - текущих уровней возмущения;
 - максимальных допустимых уровней возмущения (МЭК 61000, МЭК 60034 и т.д.).
- предложение решений с гарантией их эффективности;
- реализация решений при помощи соответствующего оборудования.

Данная услуга сертифицирована ISO 9002.

Для облегчения экспертизы непосредственно на объекте Шнейдер Электрик предлагает портативную версию SM4000-4000T



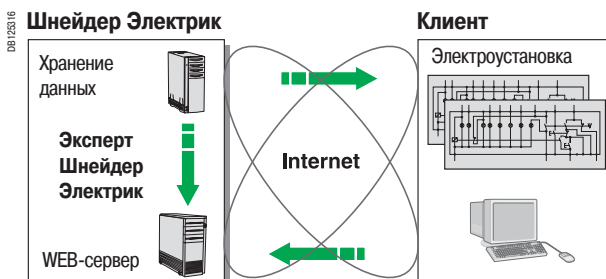
Портативный SM4000



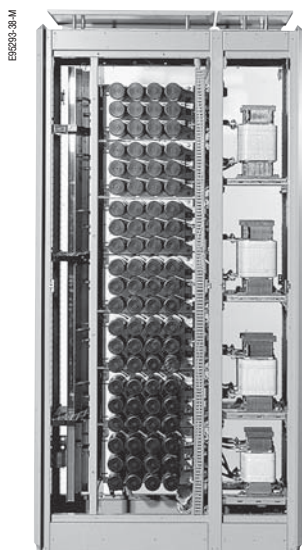
Портативный SM4000 в работе

Удаленный мониторинг электроустановок через интернет

- анализ потерь для контроля расхода электроэнергии
- мониторинг, идентификация и предупреждение ошибок монтажа



9.2. Специальное оборудование Schneider Electric



Пассивный фильтр



Активный фильтр MGE UPS SYSTEMS.



Комбинированный фильтр

9.2.1. Пассивные фильтры

Пассивные фильтры состоят из дросселей и конденсаторов, объединённых в резонансные контуры, настроенные на частоту устраняемой гармоники. Одно устройство может включать в себя несколько фильтров для устранения гармоник нескольких порядков.

Общие характеристики

Напряжение	400 В, 3 фазы
Мощность	До 265 квар/470 А для фильтра 5-го порядка
	До 145 квар/225 А для фильтра 7-го порядка
	До 105 квар/145 А для фильтра 11-го порядка
Оболочка	Prisma

9.2.2. Активные фильтры MGE UPS SYSTEMS

Общие характеристики

Напряжение	400 В
Компенсационная способность по действ. по фазам (А действ.)	20 - 120 А действ.
Компенсированные гармонические токи	Порядки 2 - 25, компенсация: общая или по порядкам
Коэффициент ослабления гармоник	THDi нагрузки / THDi сети свыше 10, при номинальной способности компенсатора
Функции	Компенсация коэффициента сдвига фаз Буквенно-цифровой 7-язычный индикатор Эксплуатационно-диагностическая система Возможность параллельногоключения Дистанционное управление Интерфейс передачи данных JBus/RS485

9.2.3. Комбинированные фильтры

Эти фильтры сочетают в себе преимущества вышеуказанных систем, объединяя в одном устройстве пассивный фильтр и активный компенсатор SineWave.

Общие характеристики

Пассивный фильтр	5-й порядок
Активный компенсатор	20 - 180 А
Напряжение	400 В, 3 фазы
Компенсация реактивной энергии	До 265 квар
Порядки обрабатываемых гармоник	2 - 25
Суммарный гармонический ток	До 440 А
Оболочка	Prisma

Решения Schneider Electric для ослабления гармоник

9.3. Руководство по выбору

Тип применения	Пассивный фильтр Rectiphase	Активный компенсатор SineWave MGE UPS SYSTEMS	Комбинированный фильтр Rectiphase
В непромышленных зданиях (компьютеры, кондиционеры, освещение, лифты)	■	■■■	■■
В производстве бумаги, картона, пластмасс (конвейеры, наматывающие и разматывающие устройства)	■■■	■	■■
В водообрабатывающих установках (насосы, перемешивающие механизмы)	■■	■■■	■■■
При погрузочно-разгрузочных операциях (подъемные устройства)	■■	■	■■■

Условные обозначения:

- полностью подходит
- полностью подходит технически, но не оптимизировано экономически
- удовлетворительное решение

Библиография

- ISF: Technical Seminar: "Understanding and managing harmonics" (in French)
- ISF: Technical Publications: "Harmonics in electrical installations" (in French)
- IEC standards
- Utility recommendations
- EDF: Harmonique 5.1 software, User Manual (in French)
- EDF: Les cahiers de l'Ingénierie: Management of harmonics on industrial and commercial distribution systems, Parts 1 and 2 (Ref. GEDO 1.48.B.07/96 and 1.48.B.01/97) (in French)
- Merlin Gerin: Guide to reactive-energy compensation and harmonic filtering - HV/MV (Ref. CG0065)
- Schneider Electric: "Cahiers Techniques" publications nos. 152, 159, 160, 183.

Для заметок

Schneider Electric в странах СНГ

Беларусь

Минск

220006, ул. Белорусская, 15, офис 9
Тел.: (37517) 226 06 74, 227 60 34, 227 60 72

Казахстан

Алматы

050050, ул. Табачнозаводская, 20
Швейцарский центр
Тел.: (727) 244 15 05 (многоканальный)
Факс: (727) 244 15 06, 244 15 07

Астана

010000, ул. Бейбитшилик, 18
Бизнес-центр «Бейбитшилик 2002», офис 402
Тел.: (3172) 91 06 69
Факс: (3172) 91 06 70

Атырау

060002, ул. Абая, 2-А
Бизнес-центр «Сутас-С», офис 407
Тел.: (3122) 32 31 91, 32 66 70
Факс: (3122) 32 37 54

Россия

Волгоград

400089, ул. Профсоюзная, 15, офис 12
Тел.: (8442) 93 08 41

Воронеж

394026, пр-т Труда, 65, офис 267
Тел.: (4732) 39 06 00
Тел./факс: (4732) 39 06 01

Екатеринбург

620219, ул. Первомайская, 104
Офисы 311, 313
Тел.: (343) 217 63 37
Факс: (343) 217 63 38

Иркутск

664047, ул. 1-я Советская, 3 Б, офис 312
Тел./факс: (3952) 29 00 07, 29 20 43

Казань

420107, ул. Спартаковская, 6, этаж 7
Тел./факс: (843) 526 55 84 / 85 / 86 / 87 / 88

Калининград

236040, Гвардейский пр., 15
Тел.: (4012) 53 59 53
Факс: (4012) 57 60 79

Краснодар

350020, ул. Коммунаров, 268 В
Офисы 316, 314
Тел.: (861) 210 06 38, 210 14 45
Факс: (861) 210 06 02

Красноярск

660021, ул. Горького, 3 А, офис 302
Тел.: (3912) 56 80 95
Факс: (3912) 56 80 96

Москва

129281, ул. Енисейская, 37
Тел.: (495) 797 40 00
Факс: (495) 797 40 02

Мурманск

183038, ул. Воровского, д. 5/23
Конгресс-отель «Меридиан», офис 739
Тел.: (8152) 28 86 90
Факс: (8152) 28 87 30

Нижний Новгород

603000, пер. Холодный, 10 А, этаж 8
Тел./факс: (831) 278 97 25, 278 97 26

Новосибирск

630005, Красный пр-т, 86, офис 501
Тел.: (383) 358 54 21
Тел./факс: (383) 227 62 53

Пермь

614010, Комсомольский пр-т, 98, офис 11
Тел./факс: (342) 290 26 11 / 13 / 15

Ростов-на-Дону

344002, ул. Социалистическая, 74, литера А
Тел.: (863) 200 17 22, 200 17 23
Факс: (863) 200 17 24

Самара

443096, ул. Коммунистическая, 27
Тел./факс: (846) 266 41 41, 266 41 11

Санкт-Петербург

198103, ул. Циолковского, 9, кор. 2 А
Тел.: (812) 320 64 64
Факс: (812) 320 64 63

Сочи

354008, ул. Виноградная, 20 А, офис 54
Тел.: (8622) 96 06 01, 96 06 02
Факс: (8622) 96 06 02

Уфа

450098, пр-т Октября, 132/3 (бизнес-центр КПД)
Блок-секция № 3, этаж 9
Тел.: (347) 279 98 29
Факс: (347) 279 98 30

Хабаровск

680000, ул. Муравьева-Амурского, 23, этаж 4
Тел.: (4212) 30 64 70
Факс: (4212) 30 46 66

Украина

Днепропетровск

49000, ул. Глинка, 17, этаж 4
Тел.: (380567) 90 08 88
Факс: (380567) 90 09 99

Донецк

83087, ул. Инженерная, 1 В
Тел.: (38062) 385 48 45, 385 48 65
Факс: (38062) 385 49 23

Киев

03057, ул. Смоленская, 31-33, кор. 29
Тел.: (38044) 538 14 70
Факс: (38044) 538 14 71

Львов

79015, ул. Тургенева, 72, кор. 1
Тел./факс: (38032) 298 85 85

Николаев

54030, ул. Никольская, 25
Бизнес-центр «Александровский», офис 5
Тел./факс: (380512) 58 24 67, 58 24 68

Одесса

65079, ул. Куликово поле, 1, офис 213
Тел./факс: (38048) 728 65 55, 728 65 35

Симферополь

95013, ул. Севастопольская, 43/2, офис 11
Тел.: (380652) 44 38 26
Факс: (380652) 54 81 14

Харьков

61070, ул. Академика Проскуры, 1
Бизнес-центр «Telesens», офис 569
Тел.: (38057) 719 07 79
Факс: (38057) 719 07 49

Центр поддержки клиентов

Тел.: 8 (800) 200 64 46 (многоканальный)
Тел.: (495) 797 32 32, факс: (495) 797 40 04
ru.csc@ru.schneider-electric.com
www.schneider-electric.ru