

Анализ качества электрической энергии
в системе электроснабжения
офисного здания

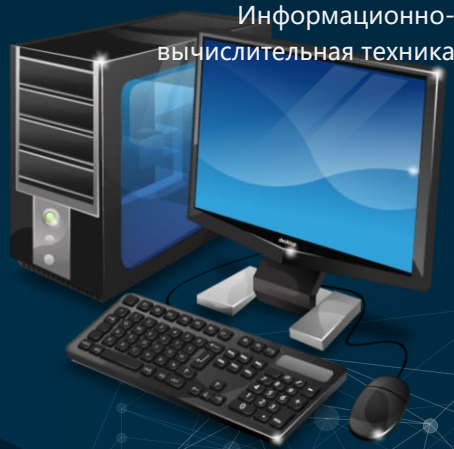


Актуальность

В электрических сетях и системах электроснабжения зданий и предприятий распространенным является искажение синусоидальной формы напряжения, обусловленное нагрузками с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Несинусоидальность токов и напряжений оказывает негативное влияние на электрооборудование, средства автоматики, приводит к финансовым потерям в электросетевых компаниях и у потребителей



Светодиодные лампы



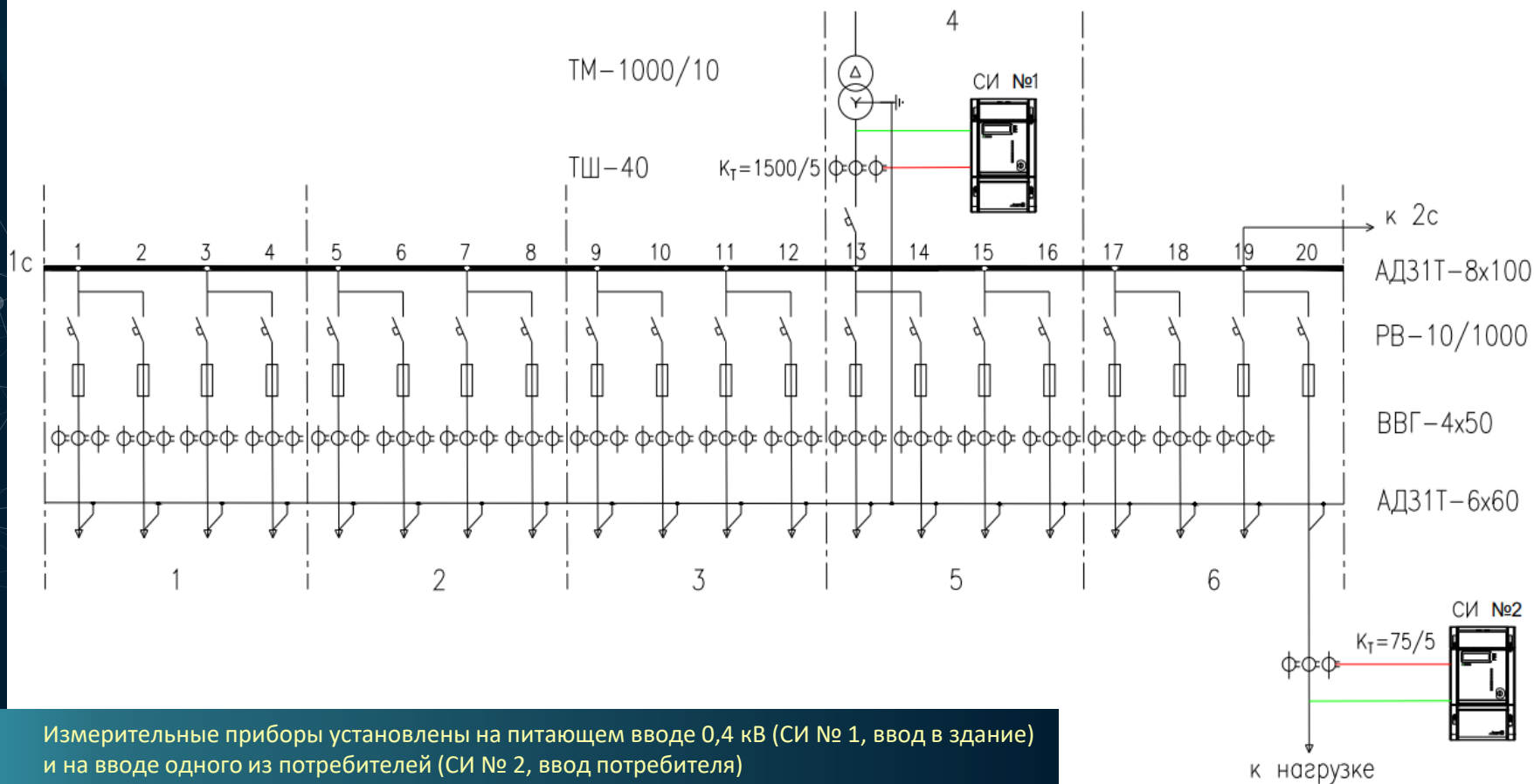
Информационно-
вычислительная техника

Частотно-регулируемые
приводы



Целью работы является выполнение измерений и анализ качества электрической энергии в системе электроснабжения офисного здания и оценка фактического долевого вклада питающей сети и потребителя в искажение синусоидальности напряжения с использованием методики, предложенной в научных работах НИУ «МЭИ»

Фрагмент системы электроснабжения 10/0,4 кВ офисного здания



Измерительные приборы установлены на питающем вводе 0,4 кВ (СИ № 1, ввод в здание) и на вводе одного из потребителей (СИ № 2, ввод потребителя)

Измерительные приборы BINOM3



В состав нагрузки потребителя входят системные блоки, мониторы, ноутбуки, люминесцентные лампы, бытовые кулеры и СВЧ-печи

Данные прибора, установленного у потребителя, доступны при подключении к нему по ссылке: <http://www.binom3.com//>

№ 60113-15 в Государственном реестре средств измерений, Свидетельство RU.C.34.001A № 58154/2

Прибор BINOM337U3.220I3.5S16T4 и цепь кабеля 0,4 кВ с измерительными ТТ (СИ № 2)

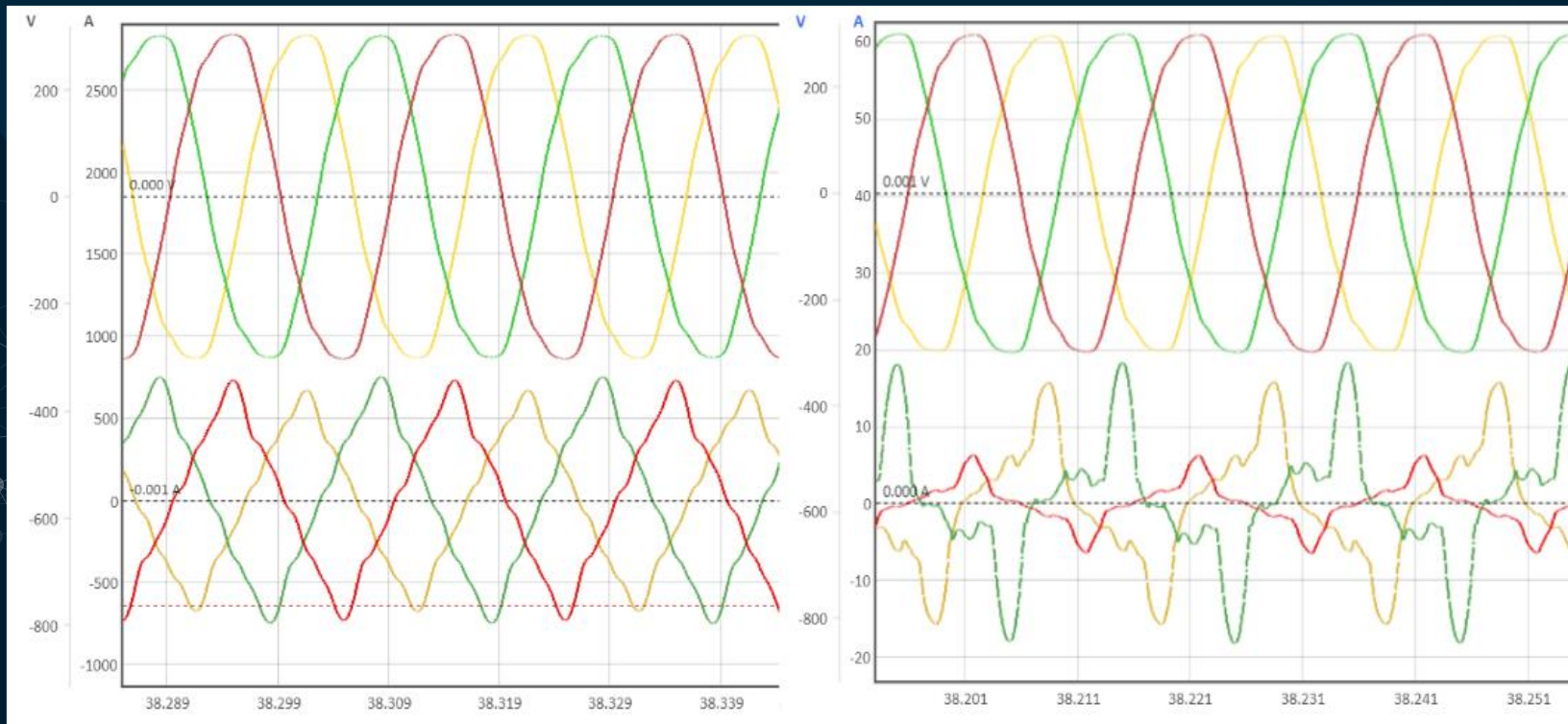


<http://www.binom3.com/account/>

Оценка качества электрической энергии по синусоидальности напряжения

Осциллограммы мгновенных значений фазных напряжений (вверху) и токов (внизу)

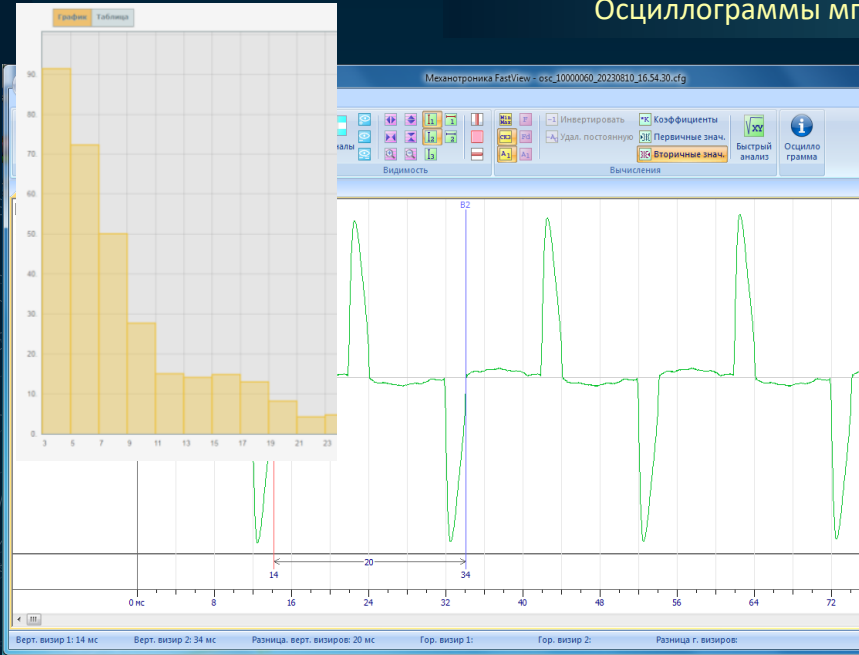
Существенно искажены фазные токи, фазные напряжения имеют смещенное относительно середины полупериода амплитудное значение



Оценка качества электрической энергии по синусоидальности напряжения

Осциллограммы мгновенных значений тока, потребляемого монитором и системным блоком

$$I_{(3)} \approx 90\%, I_{(5)} \approx 70\%, I_{(7)} \approx 50\%, I_{(9)} \approx 30\%$$



Монитор Acer 23" LCD Monitor V233H Abd
($I_{\text{потр.}} = 1,5 \text{ A}$, $U_{\text{пит.}} = 100 - 240 \text{ B}$)



Системный блок с блоком питания FSP Group ATX-300 GT ($I_{\text{потр.}} = 4 \text{ A}$, $U_{\text{пит.}} = 230 \text{ B}$)

Оценка качества электрической энергии по синусоидальности напряжения

КОНТРОЛЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ГОСТ 32144 К СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 0,4 кВ

Результаты статистической обработки коэффициентов гармоник напряжения в фазе А $K_{U(n)A}$, усредненных на интервале 10 мин;
период наблюдений – 1 сутки (20 января 2023 г.)

Превышены коэффициенты гармоник напряжения 3-го и 9-го порядков $K_{U(3)}$ и $K_{U(9)}$, поэтому к дальнейшему рассмотрению приняты параметры на этих частотах. Уровень несинусоидальности напряжения у потребителя выше, чем на вводе в здание, питающем группу потребителей

Actual interval: from 20.01.2023 00:00:00 to 21.01.2023 00:00:00

Actual interval: from 20.01.2023 00:00:00 to 21.01.2023 00:00:00

Phase A(AB) Phase B(BC) Phase C(CA)

Phase A(AB) Phase B(BC) Phase C(CA)

n-order voltage harmonic distortion $K_{U(n)}$, %					Rated values, %	
n	$K_{U(n)higher}$ (95%)	$K_{U(n)highest}$	T_1	T_2	$K_{U(n)SL}$	$K_{U(n)ThL}$
3	5.741	5.871	37.500	0.000	5.000	7.500
4	0.037	0.042	0.000	0.000	1.000	1.500
5	0.953	0.982	0.000	0.000	6.000	9.000
6	0.013	0.014	0.000	0.000	0.500	0.750
7	1.058	1.100	0.000	0.000	5.000	7.500
8	0.025	0.027	0.000	0.000	0.500	0.750
9	1.511	1.539	9.028	0.000	1.500	2.250

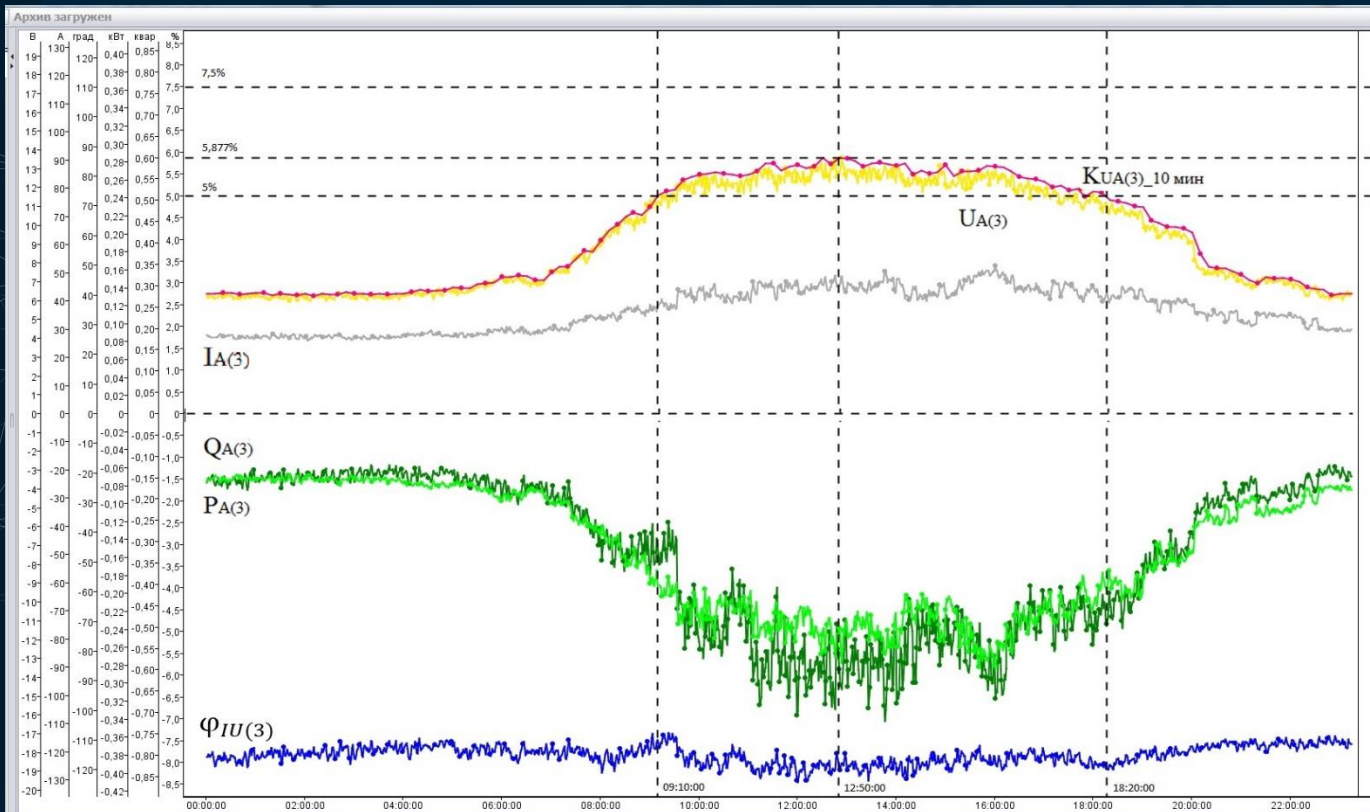
n-order voltage harmonic distortion $K_{U(n)}$, %					Rated values, %	
n	$K_{U(n)higher}$ (95%)	$K_{U(n)highest}$	T_1	T_2	$K_{U(n)SL}$	$K_{U(n)ThL}$
3	7.018	7.178	50.000	0.000	5.000	7.500
4	0.078	0.081	0.000	0.000	1.000	1.500
5	1.319	1.367	0.000	0.000	6.000	9.000
6	0.049	0.051	0.000	0.000	0.500	0.750
7	0.841	0.871	0.000	0.000	5.000	7.500
8	0.047	0.049	0.000	0.000	0.500	0.750
9	1.680	1.710	38.194	0.000	1.500	2.250

Ввод в здание (СИ № 1)

Ввод потребителя (СИ № 2)

Оценка качества электрической энергии по синусоидальности напряжения

Параметры третьей гармоники в фазе А в течение суток



Увеличение $I_{(3)}$ составляет $\sim 70\%$ в рабочее время. Изменение $\varphi_{IU(3)}$ не значительно. Однако $P_{(3)}$ и $Q_{(3)}$ в дневное время увеличиваются по модулю в четыре раза (400%).

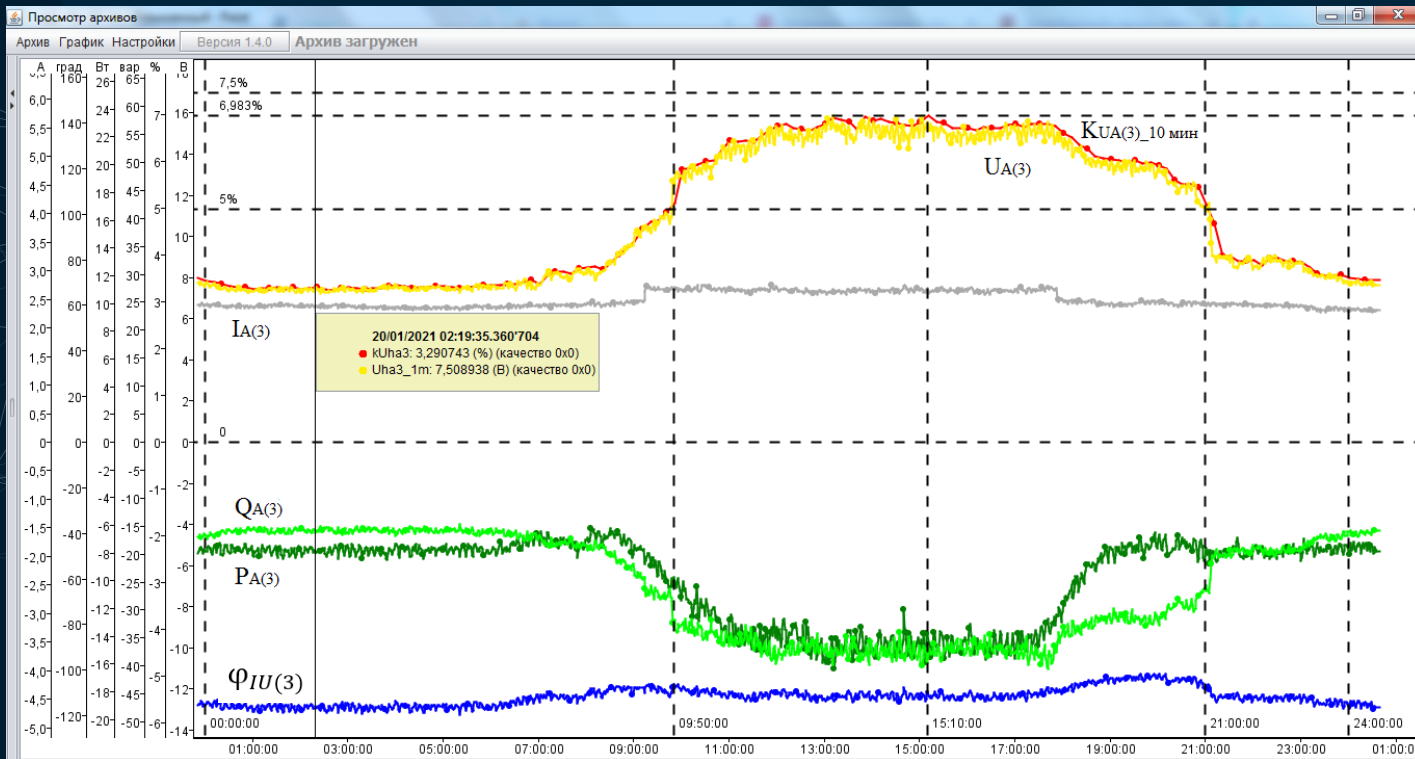
Анализ взаимного изменения величин позволяет сделать вывод, что вклад в изменение мощности третьей гармоники в дневное время вносит напряжение третьей гармоники и ток, т.е. источник и нагрузка. Следовательно, искажение качества электрической энергии по напряжению обусловлено совместным участием нагрузки и эквивалентной системы, которая включает питающую сеть и другие нагрузки общей секции шин.

Оценка качества электрической энергии по синусоидальности напряжения

Параметры третьей гармоники в фазе А в течение суток

Увеличение $I_{(3)}$ составляет $\sim 10\%$ в рабочее время. Изменение $\varphi_{IU(3)}$ не превышает 13% . Однако $P_{(3)}$ и $Q_{(3)}$ в дневное время увеличиваются (по модулю) в два раза (200%).

Анализ взаимного изменения величин позволяет сделать вывод, что существенный вклад в изменение мощности третьей гармоники в дневное время вносит напряжение третьей гармоники (источник). Следовательно, искажение качества электрической энергии по напряжению обусловлено совместным участием нагрузки и эквивалентной системы, которая включает питающую сеть и другие нагрузки общей секции шин.



Ввод потребителя (СИ № 2)

Оценка долевого вклада питающей сети и потребителя в искажение синусоидальности напряжения

Применена методика определения ФВ, разработанная НИУ «МЭИ»

Расчет коэффициента корреляции между напряжением $U_{(n)}$ и полной мощностью нагрузки на основной частоте $S_{(1)}$ в точке измерений выполняется по формуле:

$$\rho(S_{(1)}, U_{(n)}) = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (S_{(1)i} - M_{S_{(1)}}) \cdot (U_{(n)i} - M_{U_{(n)}})}{\sigma_{S_{(1)}} \cdot \sigma_{U_{(n)}}}, \quad (1)$$

где m – размерность массива измеренных значений параметра,

$M_{S_{(1)}}$ и $M_{U_{(n)}}$ – математические ожидания полной мощности основной частоты и гармоники напряжения порядка n ,

$\sigma_{S_{(1)}}$ и $\sigma_{U_{(n)}}$ – среднеквадратические отклонения полной мощности основной частоты и гармоники напряжения порядка n .

Коэффициент корреляции: $-1 \leq \rho \leq 1$.

Если $\rho = \rightarrow 1$ или $\rho = \rightarrow -1$ осуществляется переход от корреляционной к линейной зависимости.

В случае $\rho = \rightarrow 0$ выраженная зависимости параметров отсутствует, и выполняется разложение массива измеренных значений гармоники напряжения на долевые вклады питающей сети $\dot{U}_{(n)c}[m]$ и потребителя $\dot{U}_{(n)потр}[m]$ с применением метода эквивалентного источника тока по выражениям:

$$\dot{U}_{(n)c}[m] = (\dot{U}_{(n)}[m] + \dot{Z}_{(n)c} \dot{I}_{(n)}[m]) \cdot \frac{\dot{Z}_{(n)потр}}{\dot{Z}_{(n)c} + \dot{Z}_{(n)потр}} \quad (2)$$

$$\dot{U}_{(n)потр}[m] = (\dot{U}_{(n)}[m] - \dot{Z}_{(n)c} \dot{I}_{(n)}[m]) \cdot \frac{\dot{Z}_{(n)c}}{\dot{Z}_{(n)c} + \dot{Z}_{(n)потр}} \quad (3)$$

где $\dot{U}_{(n)}[m]$ – массив измеренных значений гармоники напряжения,

$\dot{I}_{(n)}[m]$ – массив измеренных значений гармоники тока,

$\dot{Z}_{(n)c}$ и $\dot{Z}_{(n)потр}$ – массивы рассчитанных значений сопротивлений питающей сети и потребителя.

Оценка долевого вклада питающей сети и потребителя в искажение синусоидальности напряжения

Исходные данные

Для выполнения расчетов с каждого прибора по результатам измерений в течение суток получены массивы значений:

- гармонических составляющих напряжения третьего и девятого порядков
- коэффициентов гармоник напряжения третьего и девятого порядков
- гармонических составляющих тока третьего и девятого порядков
- активной мощности гармоник третьего и девятого порядков
- полной мощности на грузки на основной частоте

$$U_{(3)}[m], U_{(9)}[m];$$

$$K_{U(3)}[m], K_{U(9)}[m];$$

$$I_{(3)}[m], I_{(9)}[m];$$

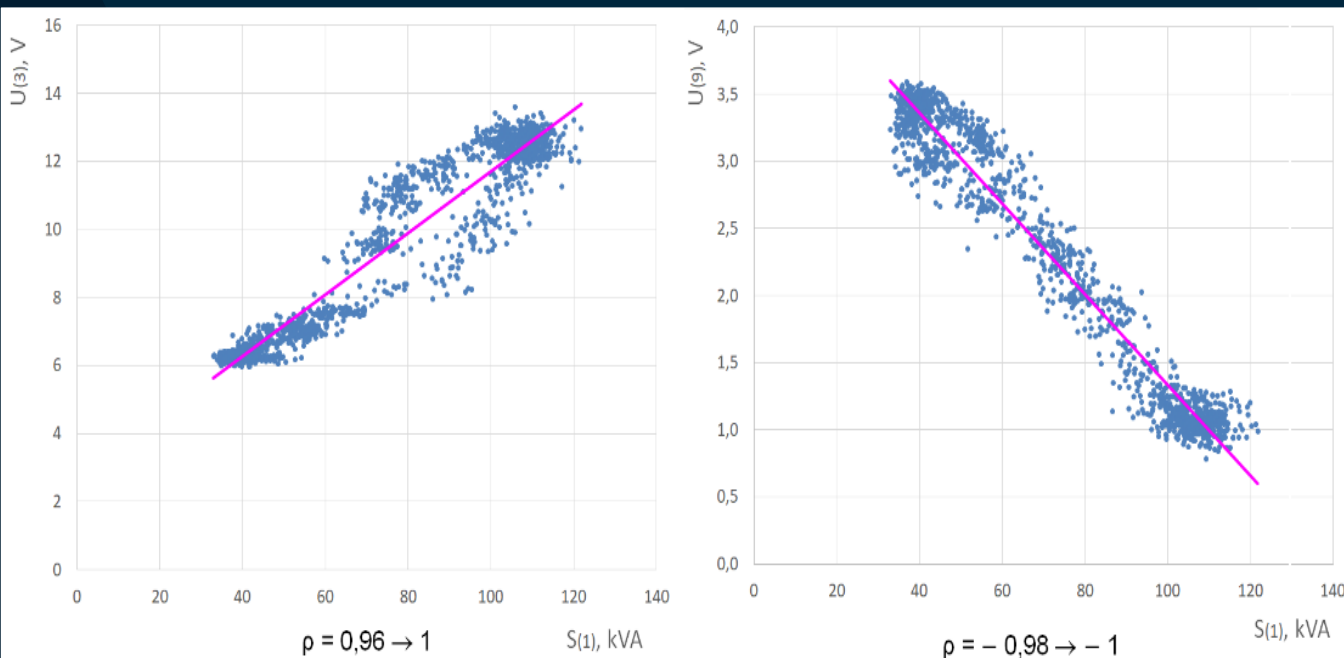
$$P_{(3)}[m], Q_{(3)}[m];$$

$$S_{(1)}[m].$$

$m = 1440$ усредненных значений каждого параметра на интервале 1 мин. в течение суток

Оценка фактического вклада питающей сети и потребителя в искажение синусоидальности напряжения

Ввод в здание: диаграммы корреляционных зависимостей $U_{(3)} = f(S_{(1)})$ и $U_{(9)} = f(S_{(1)})$



Ввод в здание (СИ № 1)

3-я гармоника

С увеличением нагрузки напряжение искажения увеличивается.

Уравнение линейной зависимости:

$$U_{(3)} = 2,64 + 0,09 \cdot S_{(1)}$$

Вывод: ФВ питающей сети по $U_{(3)}$ на каждом шаге измерения равен 2,64 В, а нагрузки здания – измеренному напряжению на каждом шаге измерения минус 2,64 В.

9-я гармоника

С увеличением нагрузки напряжение искажения уменьшается.

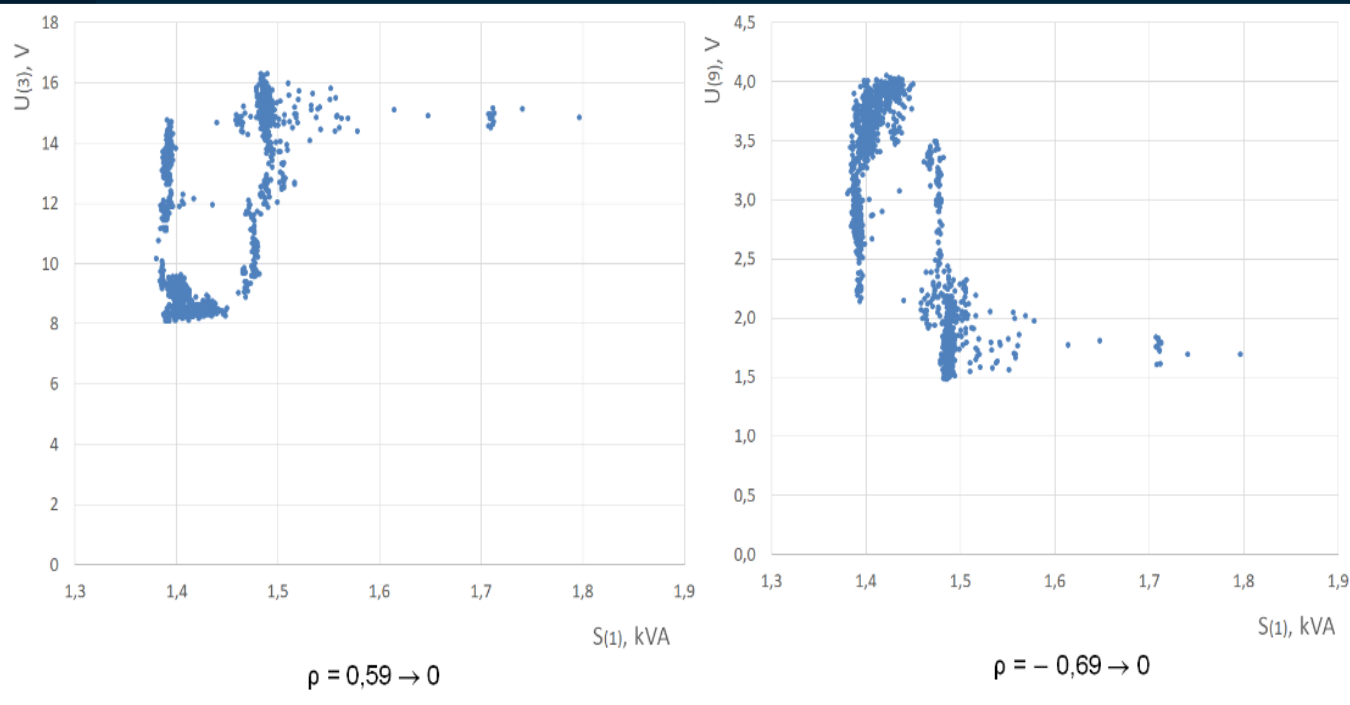
Уравнение линейной зависимости:

$$U_{(3)} = 4,71 - 0,034 \cdot S_{(1)}$$

Вывод: ФВ питающей сети по $U_{(9)}$ на каждом шаге измерения равен измеренному напряжению искажения, а нагрузка потребителей снижает искажение, оказывая шунтирующее действие.

Оценка фактического вклада питающей сети и потребителя в искажение синусоидальности напряжения

Ввод потребителя: диаграммы корреляционных зависимостей $U_{(3)} = f(S_{(1)})$ и $U_{(9)} = f(S_{(1)})$

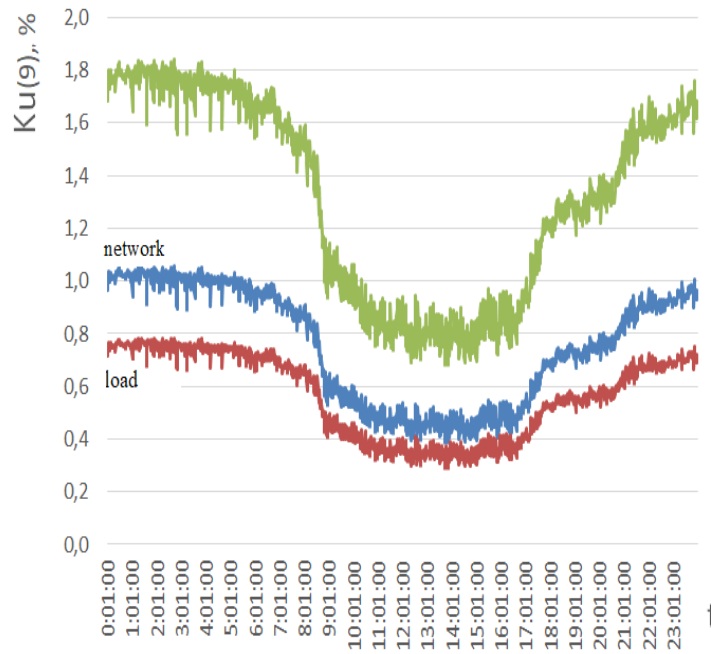
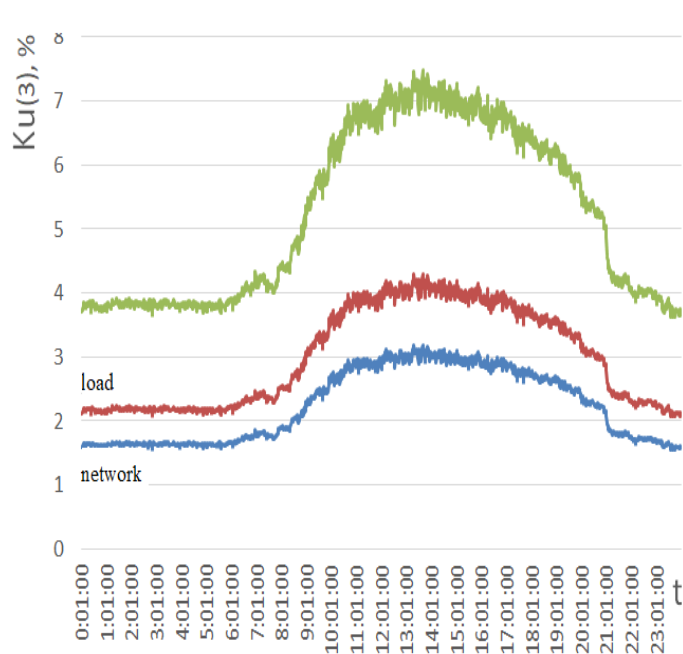


Четкой зависимости между мощностью нагрузки и напряжением 3-ей и 9-ой гармоник не наблюдается в обоих случаях, зависимость носит «размытый» характер ($\rho \rightarrow 0$)

Применяется метод эквивалентных источников тока

Оценка фактического вклада питающей сети и потребителя в искажение синусоидальности напряжения

Графики фактических вкладов нагрузки потребителя (красный) и питающей сети (синий) в значения $K_{U(3)}$ и $K_{U(9)}$ (зеленый) в течение суток



Перейдя от напряжения гармоник к коэффициентам гармоник получены графики фактических долевых вкладов питающей сети и нагрузки потребителя в значения коэффициентов гармоник напряжения $K_{U(3)}$ и $K_{U(9)}$, иллюстрирующие участие каждой из сторон в ухудшении синусоидальности напряжения

Выводы

1. В ходе работы проведено инструментальное исследование качества электрической энергии в системе электроснабжения 0,4 кВ офисного здания с компьютерной, осветительной и бытовой нагрузкой (на вводе в здание и в цепи одного из потребителей). Подтверждены отклонения коэффициентов гармоник напряжения 3-го и 9-го порядков от нормативных значений, установленных ГОСТ 32144-2013.

2. На основе результатов измерений и применения методики НИУ «МЭИ» выполнена оценка фактических долевых вкладов питающей сети и нагрузки потребителя в искажение напряжения по гармоникам 3-го и 9-го порядков, что позволяет оценивать степень виновности каждой стороны в искажении качества электроэнергии с целью установления их ответственности и разработки компенсационных мероприятий.

3. Приборы BINOM3 обеспечивают необходимую измерительную информацию для непрерывного мониторинга параметров и показателей качества электрической энергии с классом измерений А по ГОСТ IEC 61000-4-30 и оценки долевого вклада нагрузки потребителя и питающей сети (системы) в искажение синусоидальности напряжения.



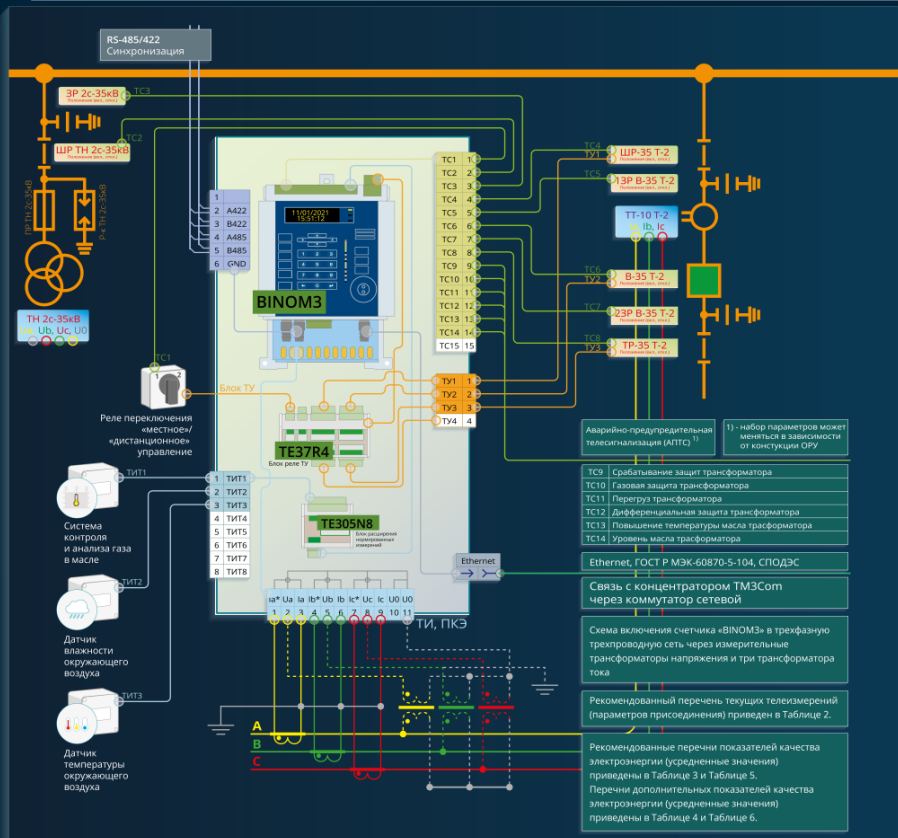
BINOM334i

BINOM335, BINOM336

BINOM337, BINOM338, BINOM339



Схема внешних подключений BINOM3



СЧЕТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ГОСТ 31819.22,
ГОСТ 31819.23,
ГОСТ 31818.11

Класс точности:

- по активной энергии 0,2S
- по реактивной энергии 0,5

АНАЛИЗАТОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Измерение 50 гармоник и интергармоник тока и напряжения,
мощности гармоник

Статистическая обработка ПКЭ

Формирует Протокол испытаний электроэнергии

ГОСТ Р 8.655,

ГОСТ 30804.4.7 (класс I)

ГОСТ Р 51317.4.15

ГОСТ 32144, ГОСТ 33073

ГОСТ 30804.4.30 (класс A)

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Номинальный ток

Номинальное напряжение

1 А,

220/380 В,

5 А

57,7/100 В

Диапазон измерений с сохранением точности 2U_n, 2In

Qperium. Техническое описание (Таблицы 2-6)

https://portal-energy.ru/files/qperium_power_energy_bigData_viewer.pdf

Принципиальная схема внешних подключений:

https://portal-energy.ru/files/binom3_drawing2.pdf

Система мониторинга и оценки развития аварийных и предаварийных режимов эксплуатации электрооборудования

ФУНКЦИИ

Осциллографирование, регистрация провалов напряжения, прерываний напряжения, перенапряжений, гармонических искажений на секциях шин и в цепях присоединений, которые могут привести к:

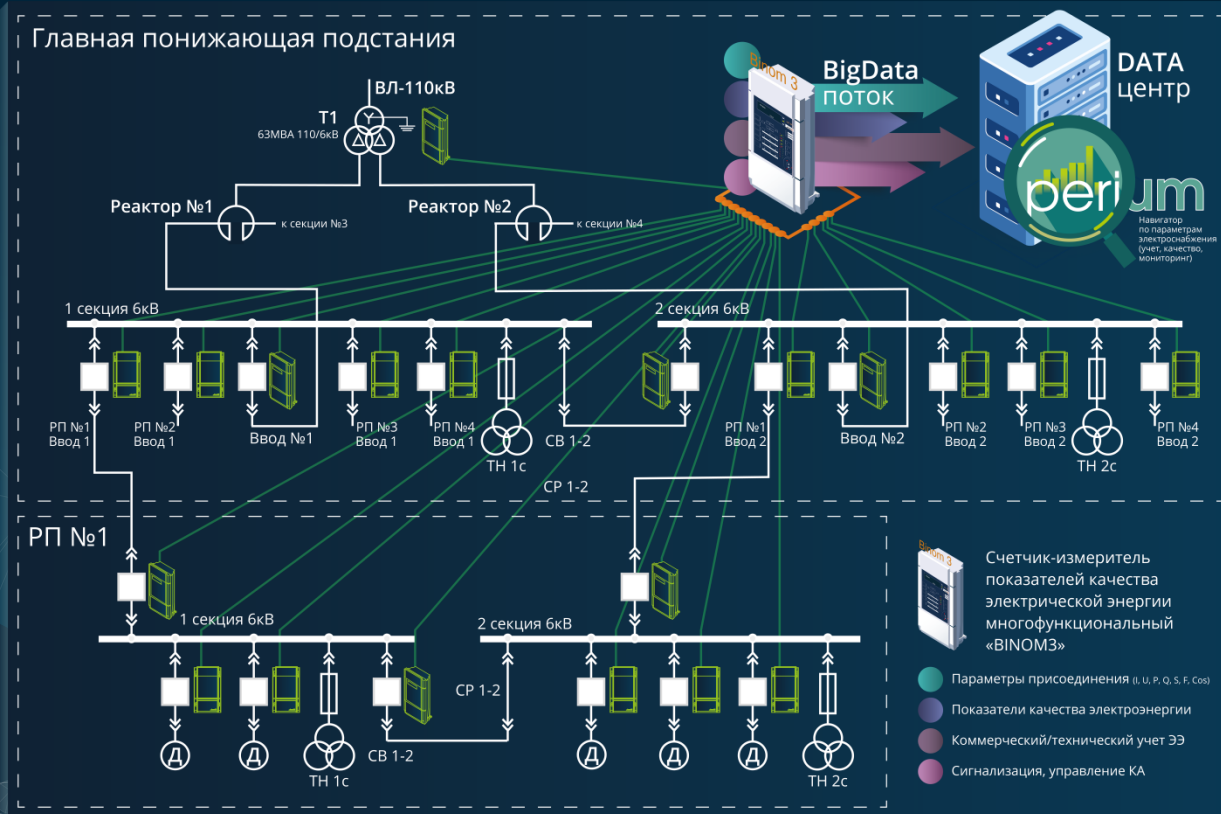
преждевременному износу оборудования;

нарушениям в работе технологических агрегатов;

вибрациям электрических машин;

ложным срабатываниям автоматики.

Сбор, обработка и хранение массивов синхронизированной информации в режиме 24/7 для удаленной автоматической диагностики, выявления предаварийных ситуаций из единого центра с целью выявления и предотвращения угроз объектам системы электроснабжения.



Qperium

https://portal-energy.ru/products_qperium

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Гражданский пр. 111, литер А
Санкт-Петербург, 195265, Россия
Тел.: +7 (812) 448-59-00
Факс: +7 (812) 596-58-01
sales@team-r.ru

teamR

Системы связи
и телемеханики

АЛГОРИТМ

Подробная информация о решениях и опыте
применения приборов BINOM3 представлена на:



Веб-сайте компании: portal-energy.ru



Youtube-канале BINOM3