НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЕКУЩИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ – ОСНОВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 0,4 КВ.

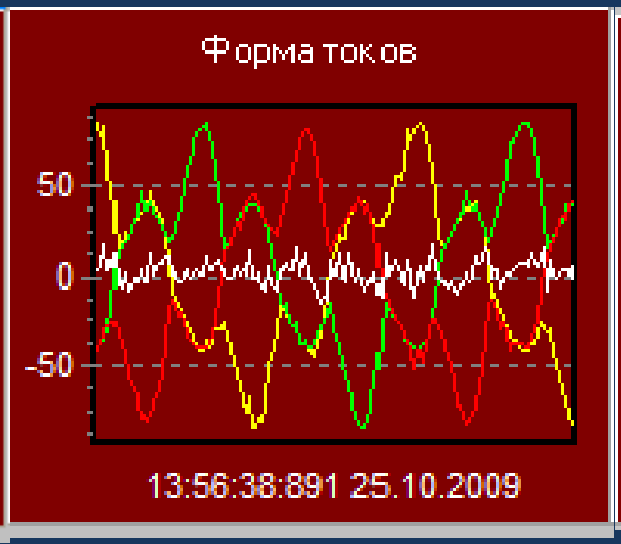
Прямая интернет-трансляция мониторинга трансформаторной подстанции НИУ МЭИ РТП-34.

Современная сеть электроснабжения 0,4 кВ буквально засорена высшими гармониками

Аппаратная НТВ

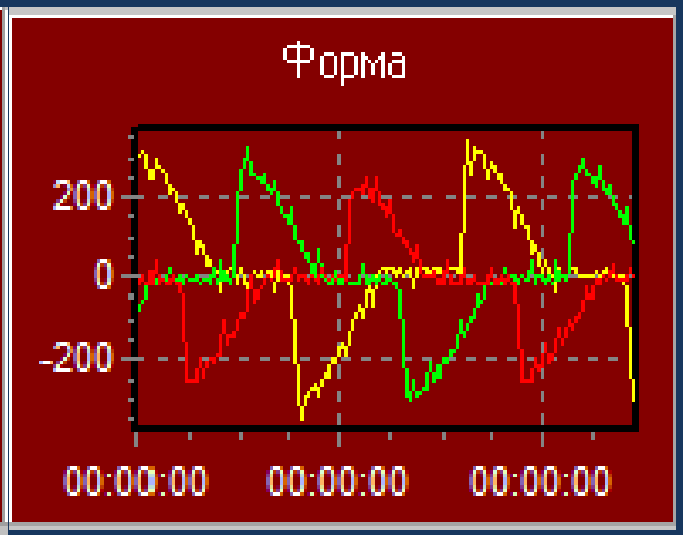
Три однофазных выпрямителя

МОСВОДОКАНАЛ



Частотный привод

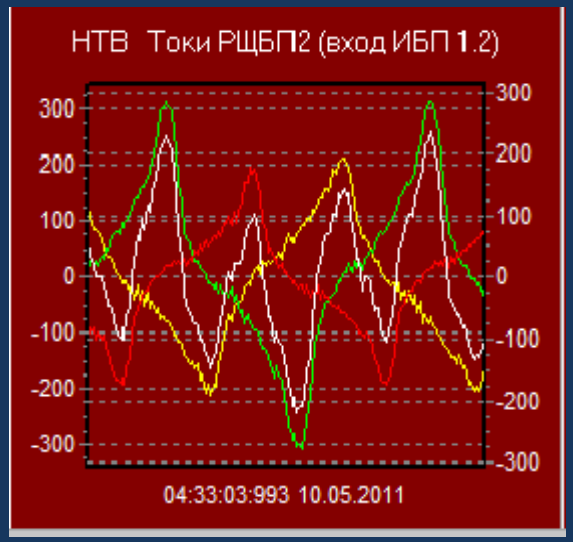
Регулируемое освещение



Диммирование

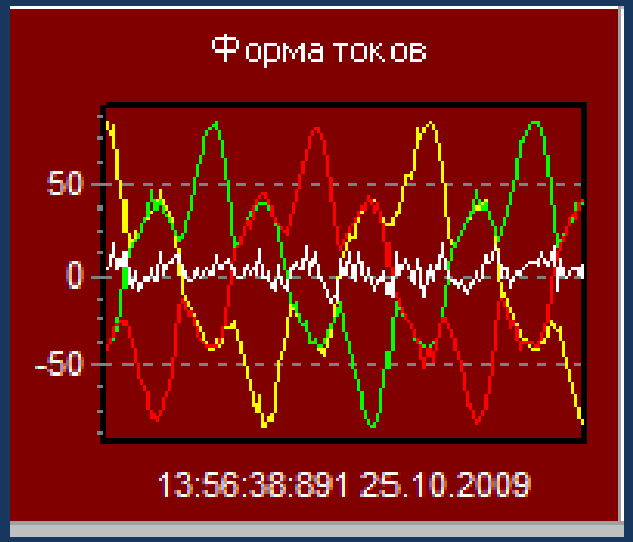
В современной четырехпроводной сети 0,4 кВ при равенстве фазных токов («сбалансированная нагрузка») из-за высших гармоник возникают сверхбольшие токи в нейтрали.

Аппаратная НТВ



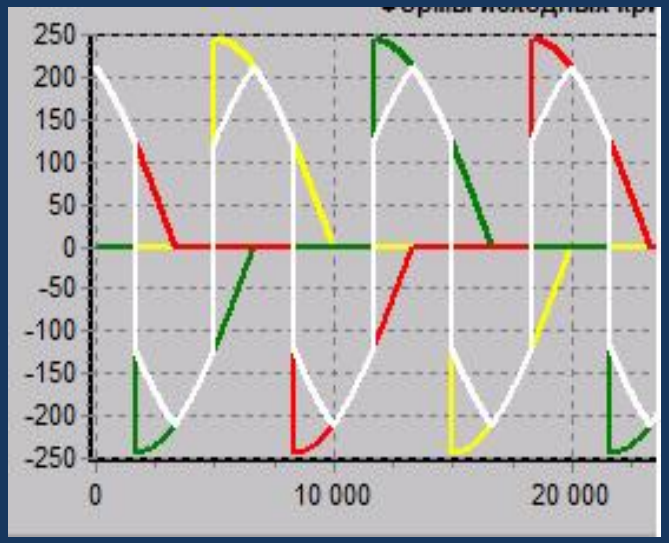
Три однофазных выпрямителя

МОСВОДОКАНАЛ



Частотный привод

Регулируемое освещение



Диммирование

Источниками ухудшения качества ЭЭ стали учреждения, жилые дома, школы, больницы и т.д., из-за нелинейных нагрузок (в основном управляемых однофазных выпрямительных устройств): импульсные источники питания, установленные в ТВ, ЭВМ, сервера, компактные люминесцентные и светодиодные лампы, офисное оборудование, бытовая техника.

Современные тенденции электроснабжения 0,4кВ:

Информатизация и интеллектуализация

Внедрение силовой электроники

Электросбережение

Непрерывный мониторинг качества ЭЭ

Мониторинг качества является инструментом, который позволяет вести наблюдение, анализ и решать задачи современного электроснабжения.

Информатизация электроэнергетики.

В настоящее время в области традиционной электроэнергетики происходят существенные изменения. К таким изменениям можно отнести активное применение силовой электроники, IT-технологий, повышенное внимание к энергосбережению, разработка подходов по созданию «умных сетей» («Smart Grid”), интеграция в традиционную систему электроснабжения возобновляемых источников энергии и многое другое. Происходит взаимное проникновение новых концепций в энергетических, информационных и телекоммуникационных технологиях. **Намечается создание энергетических систем следующего поколения – интеллектуальных силовых сетей**.

Интеллектуализация электроэнергетики означает создание «умных» измерительных приборов и устройств для подстанций, обеспечивающих учет и управление энергопотреблением одновременно **с непрерывным мониторингом и контролем качества электрической энергии в стационарных и переходных режимах.**

Опыт внедрения непрерывного мониторинга в системах Электроснабжения ведущих телерадиокомпаний России.

В НИУ МЭИ в течение последних 20 лет ведутся работы в направлении энергосбережения и повышения эффективности электроэнергетики, на основе внедрения мониторинга и элементов интеллектуальной энергетики на объектах Москвы.
К настоящему времени накоплен уникальный материал в области решений интеллектуализации электроснабжения ведущих телерадиокомпаний России.

Разработаны и выпускаются малыми сериями два типа интеллектуальных приборов контроля качества: Магистр DM-306M и Магистр-430 КЭ. На основе этих приборов реализовано 16 локальных систем электроснабжения типа **«Micro Smart Grid»,** выполнен проект по созданию интеллектуальной трансформаторной подстанции РТП-34 НИУ МЭИ.

«Умный» измерительный прибор – контроллер качества электрической энергии «**МАГИСТР-430 КЭ**». Удовлетворяет ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30). Первичный интервал объединения = 10Т (200 мс). Прибор обеспечивает основную задачу непрерывного мониторинга – получение Текущих Параметров Качества Электрической Энергии. «Текущие Параметры» соответствуют интервалу объединения 3 секунды.

Измерение напряжения:
Пределы допускаемой основной приведенной (к номинальному значению фазного напряжения) погрешности ±0,1 %

Измерение тока:
Пределы допускаемой основной приведенной (к номинальному значению фазного тока) погрешности ±0,1 %

Текущие Параметры Качества Электроэнергии (ТПКЭ) – основа непрерывного мониторинга. www.magistr.tv/demo

Текущие Параметры Качества Электроэнергии (ТПКЭ)	17:16:24 21.03.2012	L1	L2	L3	СР/СУМ
	Основные характеристики				
Действующее значение фазного напряжения (TRMS)	U (V)	230.88	232.07	229.85	230.93
Действующее значение линейного напряжения (TRMS)	E (V)	399.65	399.46	400.55	399.89
Действующее значение тока (TRMS)	I (A)	1.66	1.74	1.75	1.72
Полная мощность	S (VA)	383.35	403.11	402.25	1188.71
Активная мощность	P (W)	292.98	297.05	302.27	892.3
Неактивная мощность	Q (VAR)	247.22	272.5	265.4	
Реактивная мощность	Qh (VAR)	169.91	189.64	190.08	549.63
Коэффициент мощности, pf=P/S	pf	0.76	0.74	0.75	0.75
	Гармонический состав				
Действующее значение напряжения 1-ой гармоники	U1 (V)	230.71	231.85	229.71	230.76
Действующее значение тока 1-ой гармоники	I1 (A)	1.46	1.51	1.55	1.51
Активная мощность 1-ой гармоники	P1 (W)	290.31	293.63	298.66	882.6
Косинус угла сдвига между U1 и I1	cos(Ψ1)	0.86	0.84	0.84	0.85
Значения 3,5,7,9 гармоник напряжения в процентах от U1	U3,U5,U7,U9 (%)	2 0 1 1	2 1 1 1	2 1 1 1	
Значения 3,5,7,9 гармоник тока в процентах от I1	I3,I5,I7,I9 (%)	45 17 14 8	48 19 16 9	45 19 13 8	
	Коэффициенты				
Коэффициент искажения синусоидальности напряжения	THD-U (%)	2.63	2.48	2.83	2.65
Коэффициент искажения синусоидальности тока	THD-I (%)	53.66	56.78	52.96	54.47
Коэффициент амплитуды напряжения (крест-фактор)	Kcr(U)	1.39	1.4	1.39	1.39
Коэффициент амплитуды тока (крест-фактор)	Kcr(I)	1.86	1.93	1.91	1.9
К-фактор	K-factor	8.2	8.75	7.13	8.03
Кратковременная доза фликера	Flicker	0.32	0.26	0.27	0.28
Частота, коэффициенты несимметрии напряжения по нулевой (K0u) и обратной (K2u) последовательности	Частота (Hz) f=49,99	Нул. посл-ть, % K0u=0,69		Обр. посл-ть, % K2u=0,17	
Время, дата, глубина, длительность провала напряжения	10:39:28 21.03.2012	Провал, % 100		t=11586 ms	
Время, дата, величина, длительность перенапряжения	09:19:56 21.03.2012	Перенапр. 1,32		t=19ms	

Программно-аппаратной частью непрерывного мониторинга является Информационно-Измерительный Комплекс Систем Электроснабжения (ИИКСЭ).

ИИКСЭ является совокупностью децентрализованных, синхронизированных средств измерения Текущих Параметров Качества Электрической (ТПКЭ) энергии с дистанционным доступом через Интернет (или аналог).

В состав ИИКСЭ входят средства измерения, устройства сбора, передачи, визуализации, обработки данных (УСПВД) и программное обеспечение. Система обеспечивает круглосуточные измерения ТПКЭ с передачей информации на удаленный сервер, и хранение измеренных величин в архиве не менее 1 года.

Средства измерения DM306-M, МАГИСТР-430 КЭ имеют сертификат об утверждении типа средств измерения и внесены в Государственном реестре средств измерений №36598-09, №48453-11.

Система синхронизирована внешним эталоном времени.

Система формирует ежесуточный протокол ПКЭ в соответствии с ГОСТ.

Измерение ТПКЭ и ПКЭ соответствует стандартам EN 50160, **ГОСТ 32144-2013,** ГОСТ Р 51317.3.2, ГОСТ Р 51317.3.12, ГОСТ Р 51317.4.7, **ГОСТ 30804.4.30-2013**.
Система контроля качества электроэнергии имеет многопользовательский режим.

ИИКСЭ допускает подключение приборов других производителей по соответствующим протоколам, в том числе по протоколам на базе МЭК61850.

Основные нормативные документы по теме сообщения.

ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

рассматривается только напряжение

ГОСТ 30804.4.30-2013 (МЭК 61000-4-30:2008)
ГОСТ 30804.4.7-2013 (МЭК 61000-4-7:2002)

Оценка и мониторинг качества электрической энергии (рассматриваются напряжение и ток)

ГОСТ 51317.3.2 (0-16А)
ГОСТ 51317.3.12 (16-75А)
ГОСТ 51317.3.4 (более 75 А)

Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами.

Стандарт IEEE 519-1992 Допустимые уровни гармоник напряжений и тока для сетей США.

Стандарт ANSI/IEEE C57.110 Устанавливает уровень дополнительных потерь в трансформаторах США при несинусоидальном токе. Определяет уровни стандартных значений K-factor: 1,4,9,13,20,30.

Напоминания из ТОЭ: линейная нагрузка Zл(t)=u(t)/i(t)=const;
нелинейная нагрузка Zн(t)= u(t)/i(t)=var;

При **любой** форме тока активная мощность периодического сигнала определяется выражением: $P = \frac{1}{T}\int_0^T ui\,dt.$, или через гармоники: $P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \cos\varphi_k,$

При несинусоидальной форме вводится понятие эквивалентная синусоида и по аналогии используются понятия полная S и реактивная мощность Q. Отношение активной мощности к полной мощности P/S называют коэффициентом мощности – power-factor (аналог cos(phi) для синусоиды).

Наличие высших гармоник означает, что действует понятие эквивалентная синусоида.

Комплекс адресован шести основным категориям специалистов:

1. персоналу дежурной смены электриков;
2. инженерному составу службы Главного энергетика;
3. научно-инженерному составу внешней специализированной организации, помогающий в анализе нештатных ситуаций;
4. менеджерам (не электрикам) среднего и высшего уровня;
5. студентам высших и специальных учебных заведений;
6. научным работникам, для которых создан новый исследовательский инструментарий;

Возможности интернет-контроля параметров качества электрической энергии

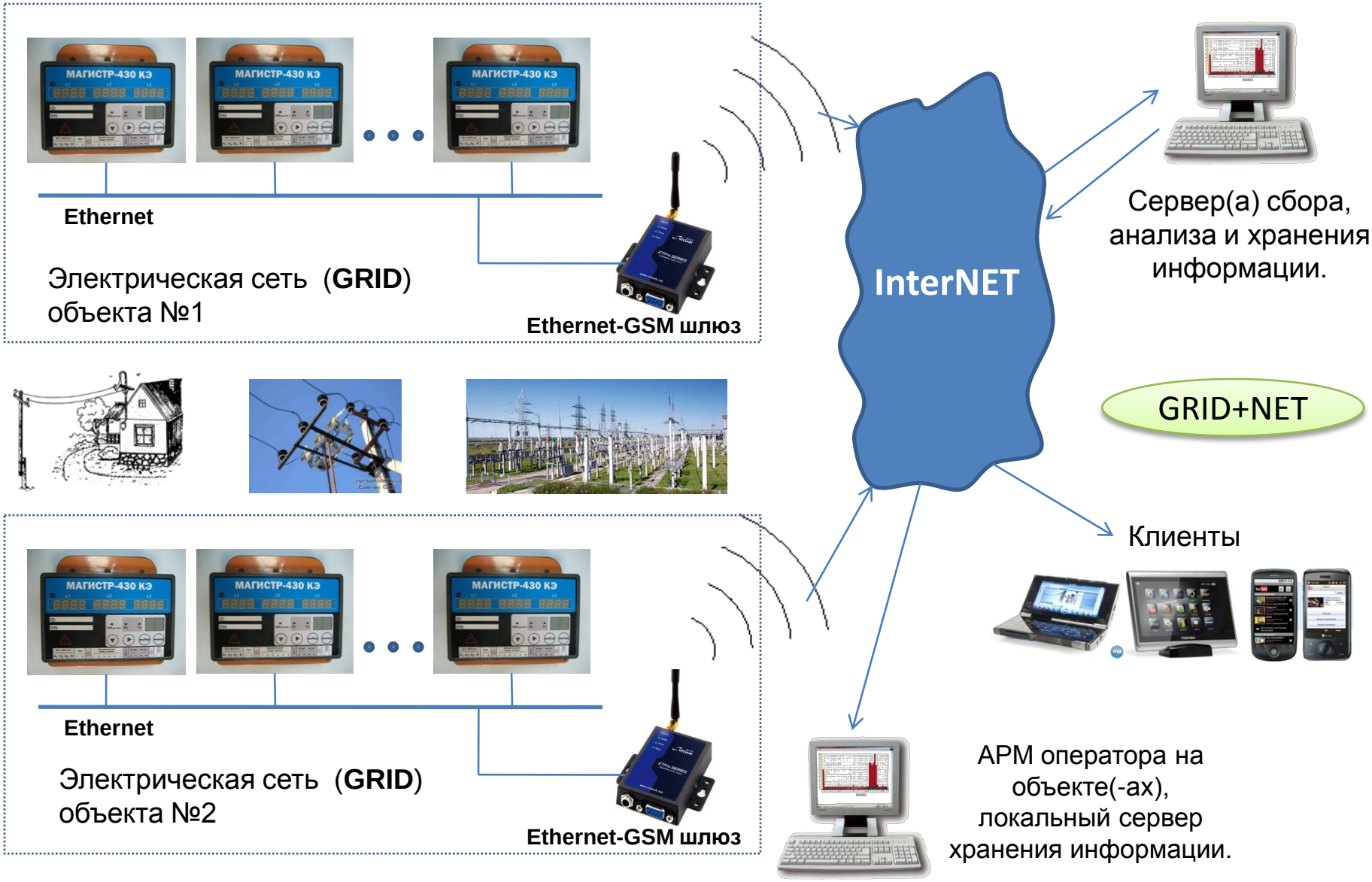
1. Интернет контроль электрических сетей предполагает временное и параметрическое единство измерительных технологий.

2. Непрерывный интернет контроль и доступность параметров качества электрической энергии обеспечивают«прозрачность» и общественный контроль взаимоотношений продавца и покупателя электрической энергии.

3. Применение технологии Интернет сети означает новый подход для измерительных технологий в электрических сетях. Синхронизированную по эталонному времени совокупность ИИКСЭ можно рассматривать в качестве дополнительного инструмента для анализа стационарных и аварийных процессов распределенных энергетических систем.

4. Интернет-контроль даёт возможность производить оценку потерь в линиях электропередач и силовых трансформаторах, обеспечивая инструментальный контроль реального энергосбережения.

Приборное и программное обеспечение непрерывного мониторинга показателей и текущих параметров качества электроэнергии систем электроснабжения. www.magistr.tv/demo



Информационно-Измерительный Комплекс Систем Электроснабжения

Архитектура интернет-контроля текущих параметров и показателей качества электрической энергии.

Измерительные трансформаторы тока

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об утверждении типа средств измерений

RU.C.34.004.A № 44739

Срок действия до 12 декабря 2016 г.

НАИМЕНОВАНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерители электрических параметров качества, мощности и количества электрической энергии телеметрические МАГИСТР-430 КЭ

ИЗГОТОВИТЕЛЬ

Общество с ограниченной ответственностью "МАГИСТР-ПЭМ" (ООО "МАГИСТР-ПЭМ"), г.Москва

РЕГИСТРАЦИОННЫЙ № 48463-11

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ 4222-001-54816570-11МП

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ 3 года

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2011 г. № 1378

Описание типа средств измерений является обязательным приложением к настоящему свидетельству.

Заместитель Руководителя Федерального агентства Е.Р.Петросян

2011 г.

Серия СИ № 002762

Измерительный трансформатор напряжения

Соответствует требованиям:

ГОСТ 13109-97 (до 31.12.2012),
ГОСТ Р54149-2010 (с 01.01.2013)
ГОСТ 32144-2013 (с 01.07.2014)

ГОСТ Р 51317.4.30-2008.
ГОСТ 30804.4.30-2013.

Средство измерения

Точка контроля.

Три тока, три напряжения

До 30 точек контроля на один сервер.
Удаление от сервера до 1000 метров (RS232,RS485).

Интернет Доступ

Служба энергетика
Менеджеры
Внешний аудит

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2008615278

Информационно-Измерительный Комплекс Систем Электроснабжения (ИИКСЭ)

Правообладатель(ли): *Общество с ограниченной ответственностью «МАГИСТР-ПЭМ» (RU)*

Автор(ы): *Хруслов Лев Леонтьевич, Стрижак Василий Сергеевич, Киреев Сергей Иванович, Шишов Владимир Александрович (RU)*

Заявка № 2008614748

Дата поступления 21 октября 2008 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ *1 ноября 2008 г.*

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам Б.П. Симонов

Сервера сбора информации системы

АРМы операторов системы

Информационные каналы связи

Оптоволокно, радио канал, GPRS, Интернет.

Сервер сбора информации объекта

1

29

30

Ethernet

RS232
RS485

УСПВД

АРМ оператора объекта

Объекты **интернет**-контроля качества ЭЭ

MICRO SMART GRID

A

S

Информационно-Измерительный Комплекс Систем Электроснабжения

Интернет контроль: 612 точек контроля от 52 подстанций.

(56) (16) (6) МЭИ (4) РТП-34 (38) Россия 1 (120) (11) Ю-В КНС (4)

Митинский РВУ (2)

(6)

НТВ (10)

Кр. Пресн. РВУ (4)

НТВ + (6)

Лениногорский РВУ (4)

Russia Today English (28)

Коньковский РВУ (5)

Россия 2 (34)

Люблинская КНС (2)

Радио City FM (8)

Филевская КНС (4)

Телецентр Звезда (22)

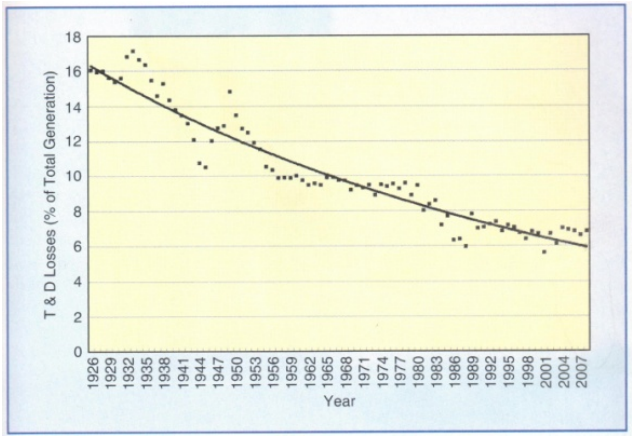
ВТЕ Юго-запад (2)

Arabik (26) Spanish (19) (10) (18)

РИА Вести (14)

Тенденции в области производства ЭЭ.

Электросбережение



IEEE Power&Energy, volume 10, number 3, May/June 2012

Уровень потерь на передачу и распределение энергии в США с 1926 по 2007 год. Снижение уровня потерь на 1% каждые 10 лет

Потери на передачу и распределение энергии в США составляют около 7% (в России по неподтвержденным данным до 17%).

Снижение темпа роста производства ЭЭ.

Ежегодный прирост производства(%)	
1949 – 1973	8,3 %
1973 – 2006	2,5 %
2010 – 2030	0,9 %

Разработка стандартов применения постоянного тока в жилом секторе.

DC in the Home

Основой является известный факт существования дополнительных потерь в бытовых электронных устройствах.

Потери: AC/DC – 17-35% PV/AC – 23-28%

Программа «Smart Grid»:

Dynamic Pricing

Одним из основных преимуществ Smart Grid является обеспечение контроля потребления ЭЭ в режиме online с помощью доступа к реальной информации от поставщика ЭЭ и возможность получать сведения о потреблении энергии в реальном времени (режим «динамического тарифа», dynamic pricing).

Тенденции в области потребления ЭЭ.

Рост нелинейной нагрузки и появление высших гармоник в сетях 0,4кВ

Рост однофазных нагрузок в структуре потребления ЭЭ

Частный сектор	Коммерч. Сектор	Промыш-ленность
Низкое напряжение (0,4 кВ)	Низкое напряжение (0,4 кВ)	Среднее напряжение (3-10кВ)
37 %	**36%**	**27%**

IEEE Power&Energy, volume 10, number 3, May/June 2012

Начало 60-х гг. - Внедрение силового электронного оборудования:

Появление статических силовых преобразователей, устройств частотного регулирования электроприводов, импульсных источники питания, компактных люминесцентных ламп и т.д. привело к резкому изменению характера электрических нагрузок.

Начало 80-х гг. - Гармоники в электрических сетях впервые были признаны как серьезная проблема в США, а затем в Европе и Японии. Это было связано в первую очередь с массовым распространением IT – технологий.

Непрерывный мониторинг на базе интернет-доступа к реальному оборудованию позволил создать принципиально новую образовательную инфраструктуру учебного процесса для различных электротехнических специализаций высших учебных заведений России и отраслевых образовательных центров различного уровня.

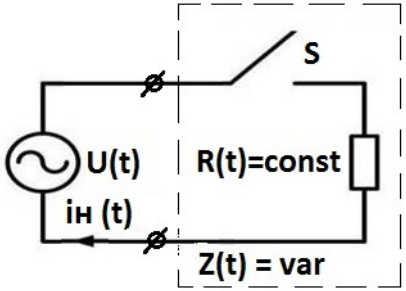
К настоящему времени наблюдается снижение уровня потребления электроэнергии в трехфазных сетях с линейными нагрузками 6-10 кВ и повышение уровня потребления в однофазных сетях 0,4 кВ. Так в структуре потребления ЭЭ в США уровень потребления электрической энергии 0,4 кВ "частный и коммерческий сектора" составляет 73%, а при напряжении 6-10 кВ "промышленный сектор" 27%.

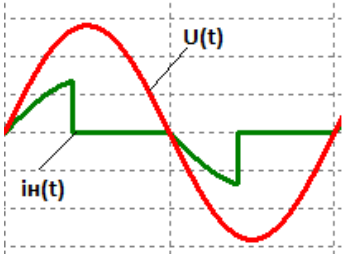
Одновременно происходит рост нелинейных потребителей ЭЭ из-за активного внедрения силового электронного оборудования и как следствие возникновения высших гармоник тока в сетях 0,4 кВ.

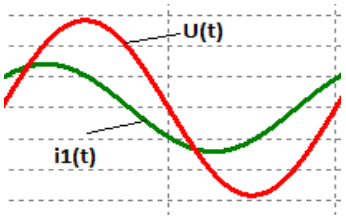
Отрицательные последствия наличия высших гармоник для сетей 0,4 кВ:

- перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий;
- ошибки измерительных трансформаторов тока при несинусоидальной форме, и, соответственно, неточность измерения энергии счетчиками;
- снижение уровня допустимой мощности для источников бесперебойного питания и дизель-генераторных установок;
- дополнительные потери в линиях и силовых трансформаторах (вплоть до выхода из строя);
- ложное срабатывание предохранителей и автоматических выключателей;
- повышенный износ, вспучивание и преждевременное разрушение конденсаторов установок компенсации реактивной мощности;
- ускоренное старение изоляции проводов и кабелей;
- ухудшение качества (несинусоидальность) питающего напряжения;
- сбои в работе и физический выход из строя компьютерного оборудования;
- преждевременный выход из строя электродвигателей;
- резонансные явления в электроустановках 0,4 кВ;
- снижение коэффициента мощности электроустановок.

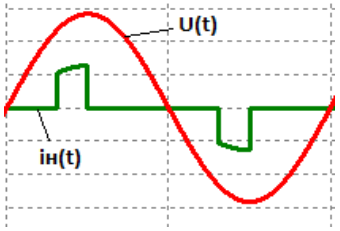
Возникновение гармоник тока в устройствах силовой электроники.

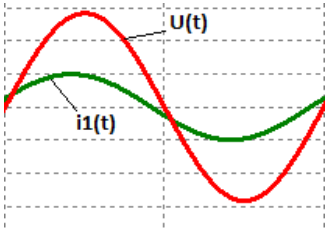




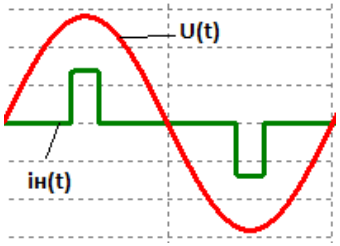


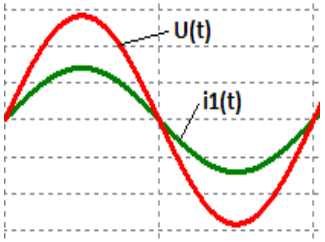
Irms=98,69A
I1 =75,8A / 42°
THD=83%
Fr=67 29 20 17
Kfactor = 6,7



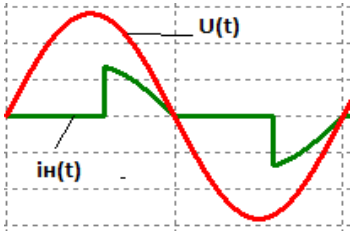


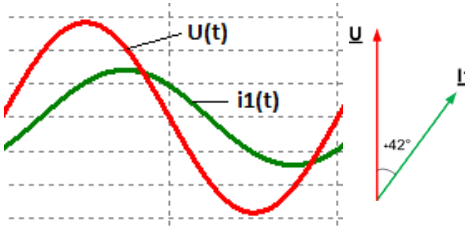
Irms=100,47A
I1 =64,4A / 15°
THD=125%
Fr=88 66 39 13
Kfactor = 10,53





Irms=102,7A
I1 =60,7A / 0°
THD=135%
Fr=90 71 48 23
Kfactor = 12,8





Irms=98,69A
I1 =75,8A /-42°
THD=83%
Fr=67 29 20 17
Kfactor = 6,8

После разложения в ряд Фурье несинусоидальный ток нагрузки iн(t) представлен в виде суммы токов 1,3,5,7,9… гармоник.

Несмотря на отсутствие в цепи реактивных элементов, между первой гармоникой тока i1(t) и напряжением u(t) появляется фазовый сдвиг.

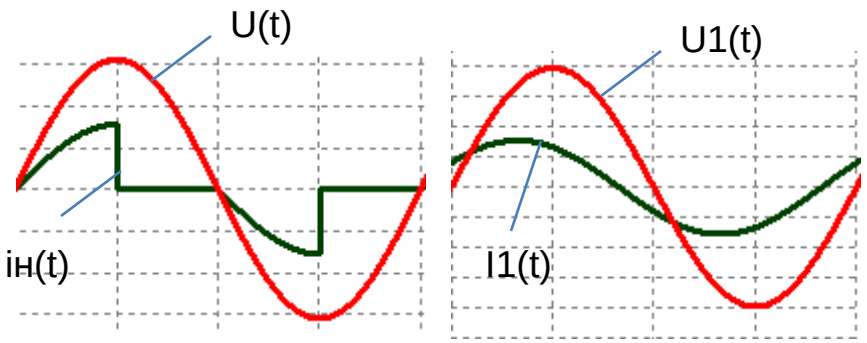
Сдвиг может быть опережающим (емкостным), нулевым (резистивным) или отстающим (индуктивным) в зависимости от моментов коммутации ключа S.

В компактных люминесцентных лампах и светодиодных светильниках первая гармоника тока опережает первую гармонику напряжения.

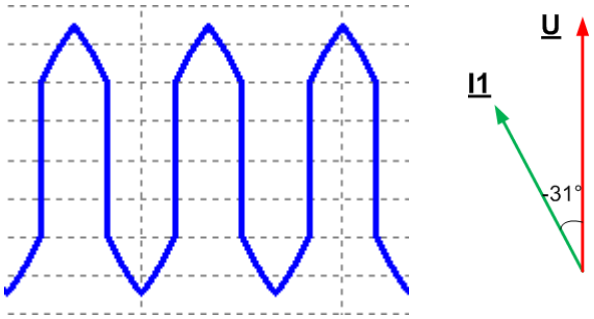
В устройствах диммерного (тиристорного) регулирования света первая гармоника тока отстаёт от первой гармоники напряжения.

Ток в нейтрали в обоих случаях создаётся гармониками, кратными трём, и может превышать фазный ток в 1,5-2 раза.

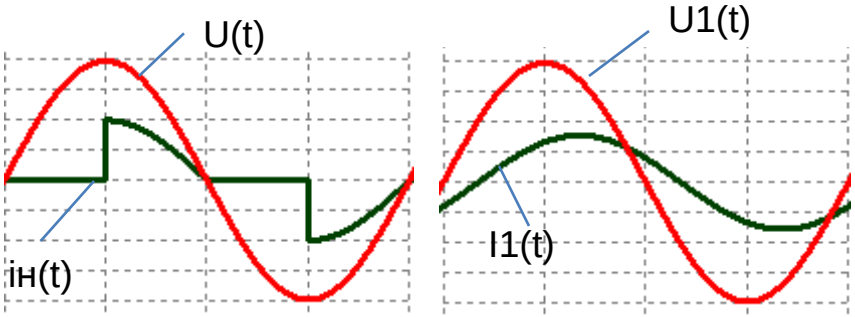
Токи в нейтрали в трёхфазной сети при однофазных нелинейных нагрузках.



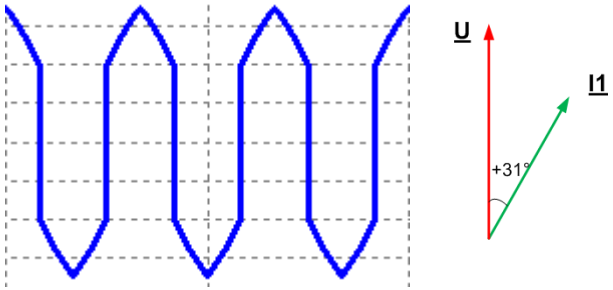
Ток в нейтрали RMS=144A



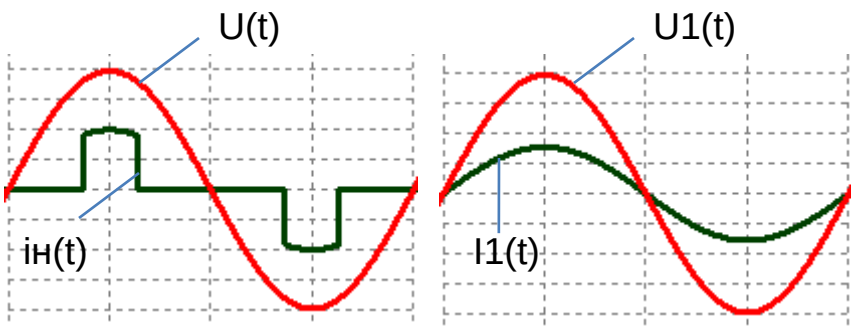
Irms=101,67A
I1 =86A / 31°
THD=63%
3 гарм: 52 / -93°
5 гарм: 18 / 79°
7 гарм: 18 / -101°
9 гарм: 11 / 72°
Kfactor = 4,74
PF = 0,73
Cos(fi) = 0,86



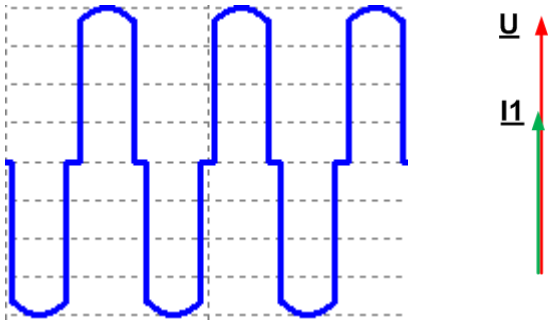
Ток в нейтрали RMS=144A



Irms=101,67A
I1 =86A / -31°
THD=63%
3 гарм: 52 / 93°
5 гарм: 18 / -79°
7 гарм: 18 / 101°
9 гарм: 11 / -72°
Kfactor = 4,74
PF = 0,73
Cos(fi) = 0,86



Ток в нейтрали RMS=173A

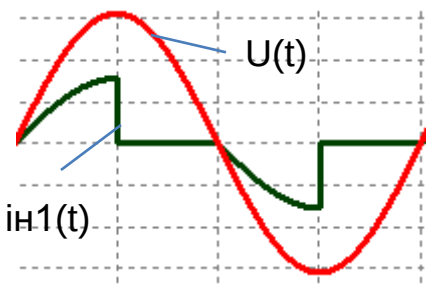


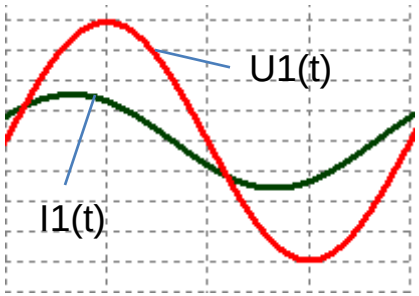
Irms=100,03A
I1 =69A / 0°
THD=100,76%
3 гарм: 80 / 180°
5 гарм: 46 / 0°
7 гарм: 12 / 180°
9 гарм: 13 / 180°
Kfactor = 6,89
PF = 0,69
Cos(fi) = 1

$$PF = P / S = (I_1 / I) * \cos(\varphi_1)$$

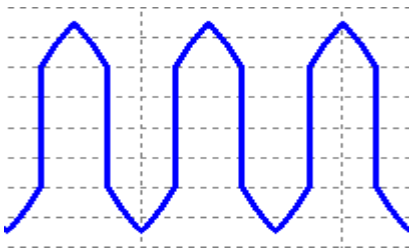
Токи в нейтрали в трёхфазной сети при однофазных нелинейных нагрузках.

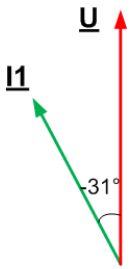
Ток нагрузки 1:





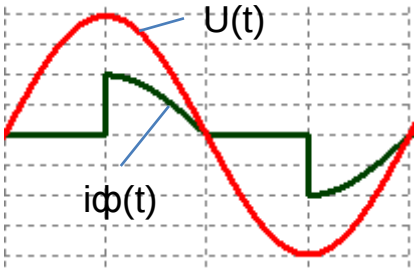
Ток в нейтрали RMS=144A

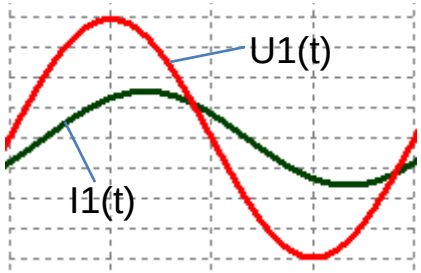




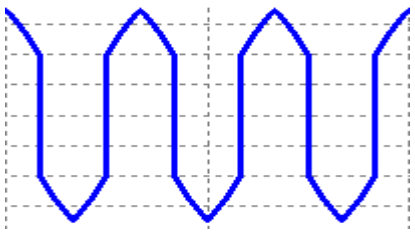
Irms=101,67A
I1 =86A / 31°
THD=63%
3 гарм: 52 / -93°
5 гарм: 18 / 79°
7 гарм: 18 / -101°
9 гарм: 11 / 72°
Kfactor = 4,74
PF = 0,73
Cos(fi) = 0,86

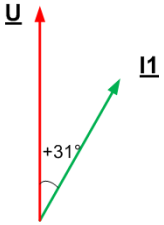
Ток нагрузки 2:





Ток в нейтрали RMS=144A

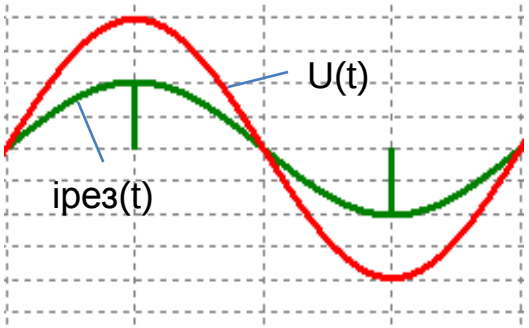


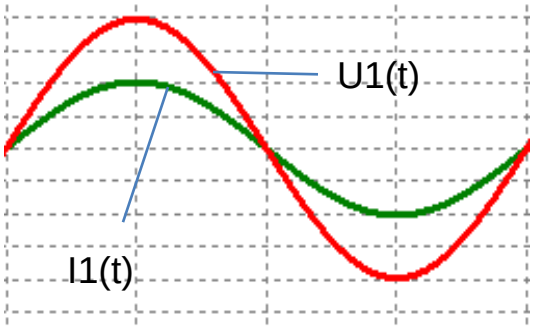


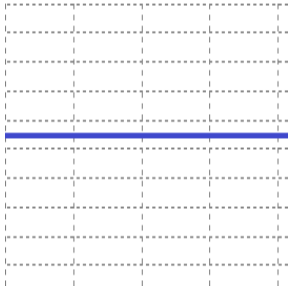
Irms=101,67A
I1 =86A / -31°
THD=63%
3 гарм: 52 / 93°
5 гарм: 18 / -79°
7 гарм: 18 / 101°
9 гарм: 11 / -72°
Kfactor = 4,74
PF = 0,73
Cos(fi) = 0,86

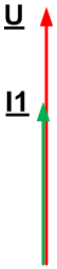
Результирующий ток:

Ток в нейтрали =0









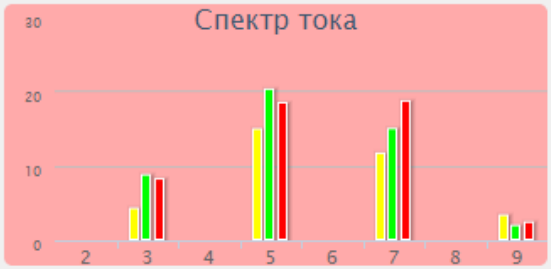
Irms=144,03A
I1 =144A / 0°
THD=0%
3 гарм: 0 / 180°
5 гарм: 0 / 0°
7 гарм: 0 / 180°
9 гарм: 0 / 180°
Kfactor = 1
PF = 1
Cos(fi) = 1

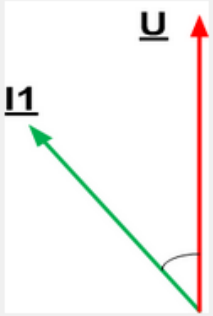
$$PF = P / S = (I_1 / I) * \cos(\varphi_1)$$

Пример №1. Нелинейная нагрузка Z1 с существенно несинусоидальной формой тока.

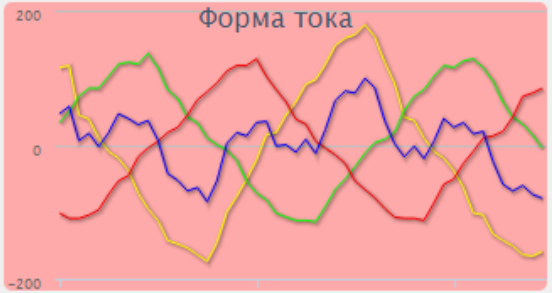
Осциллограммы токов и спектральный состав.

Сеть 1





Нагрузка Z1



Емкостной характер первой гармоники фазных токов Z1

Текущие Параметры Качества Электрической Энергии (ТПКЭ) и вычислитель вклада гармоник.

18:57:32 19-11-2014	L1	L2	L3	Avg/Sum
	Основные характеристики			
U(B) L-N	224.90	223.80	225.30	224.67
E(B) L-L	388.59	388.93	389.88	389.13
I(A) L	99.84	99.84	94.72	25.48
S(кВА)	22.56	22.46	21.50	66.52
P(кВт)	21.76	21.47	20.72	63.95
Q(квар)	5.95	6.59	5.74	18.28
PF	0.96	0.96	0.96	0.96
	Гармонические составляющие			
U1(B) L-N	225.02	223.83	225.15	1.26
I1(A) L	99.44	95.81	90.67	7.63
P1(кВт)	22.01	21.43	20.38	63.82
cos(φ1)	0.99/-7.3	1.00/-4	1.00/-5.4	
U3,5,7,9(%)	0 3 3 1	1 1 0 1	1 1 1 1	
I3,5,7,9(%)	4 15 12 3	9 20 15 2	8 18 19 2	
	Коэффициенты			
Ku%	4.03	3.85	3.61	3.83
Ki%	24.38	29.29	30.22	27.96
Kcr(U)	1.47	1.47	1.48	1.47
Kcr(I)	1.78	1.76	1.84	1.79
Freq(Hz) f=49.99	Zero Sequence% K0u=0.01		Neg Sequence% K2u=0.20	
Провал				
Перенапр.				

Вычислитель

вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

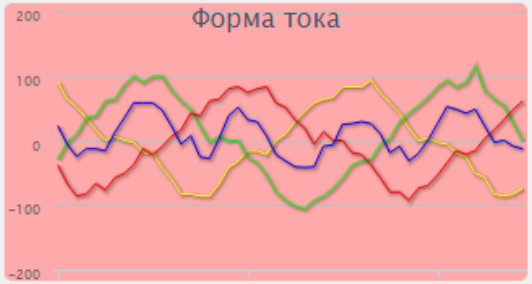
Ток(A) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I L(A)				
I1(A)				
I3(%)				
I5(%)				
I7(%)				
I9(%)				
IH(A)				
THDi %				

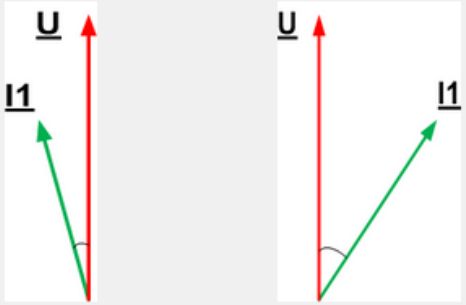
18:57:33 19-11-2014	L1	L2	L3	Avg/Sum
	Основные характеристики			
U(B) L-N	229.40	229.60	229.40	229.47
E(B) L-L	397.51	397.51	397.33	397.45
I(A) L	107.52	76.80	74.24	48.92
S(кВА)	24.84	17.74	17.15	59.73
P(кВт)	22.91	16.07	15.61	54.59
Q(квар)	9.6	7.51	7.1	24.21
PF	0.92	0.91	0.92	0.92
	Гармонические составляющие			
U1(B) L-N	229.37	229.58	229.37	0.21
I1(A) L	106.34	75.75	73.47	31.79
P1(кВт)	22.73	16.00	15.61	54.34
cos(φ1)	0.93/-21.6	0.92/-23	0.93/-22.1	
U3,5,7,9(%)	1 0 0 0	1 0 0 0	1 1 0 1	
I3,5,7,9(%)	12 3 1 3	11 4 2 4	12 1 2 2	
	Коэффициенты			
Ku%	1.57	1.34	1.44	1.45
Ki%	14.93	16.39	14.02	15.11
Kcr(U)	1.42	1.42	1.43	1.42
Kcr(I)	1.67	1.82	1.79	1.76
Freq(Hz) f=50.00	Zero Sequence% K0u=0.00		Neg Sequence% K2u=0.03	
Провал				
Перенапр.				

Пример №2. Нелинейная нагрузка Z2 с существенно несинусоидальной формой тока.

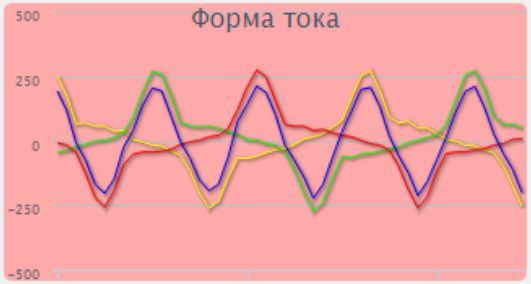
Осциллограммы токов и спектральный состав.

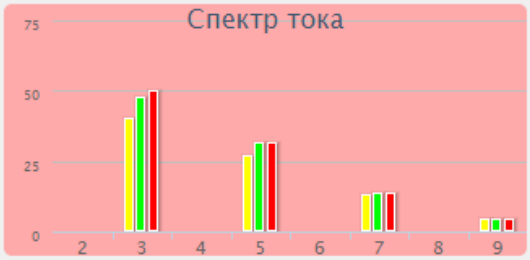
Сеть 2





Нагрузка Z2





Индуктивный характер первой гармоники фазных токов Z2

Текущие Параметры Качества Электрической Энергии (ТПКЭ) и вычислитель вклада гармоник.

16:08:28 21-11-2014	L1	L2	L3	Avg/Sum
	Основные характеристики			
U(В) L-N	231.40	232.40	236.40	233.4
E(В) L-L	401.66	405.99	405.13	404.26
I(A) L	54.40	64.00	51.20	31.45
S(кВА)	12.68	14.98	12.19	39.85
P(кВт)	12.46	14.56	12.19	39.21
Q(квар)	2.35	3.52	0	5.87
PF	0.97	0.98	0.97	0.97
	Гармонические составляющие			
U1(В) L-N	231.38	232.27	236.37	4.61
I1(A) L	53.08	62.88	49.93	11.7
P1(кВт)	12.19	14.59	11.72	38.5
cos(φ1)	0.99/-6	1.00/-3.3	0.99/-6.2	
U3,5,7,9(%)	0 1 0 0	0 1 0 0	1 1 0 0	
I3,5,7,9(%)	17 5 2 1	14 2 2 3	15 2 5 3	
	Коэффициенты			
Ku%	1.31	1.54	1.45	1.43
Ki%	21.61	18.90	22.05	20.85
Kcr(U)	1.41	1.42	1.42	1.42
Kcr(I)	1.87	1.93	1.93	1.91
Freq(Hz) f=49.98	Zero Sequence% K0u=0.01		Neg Sequence% K2u=0.65	
Провал				
Перенапр.				

Вычислитель

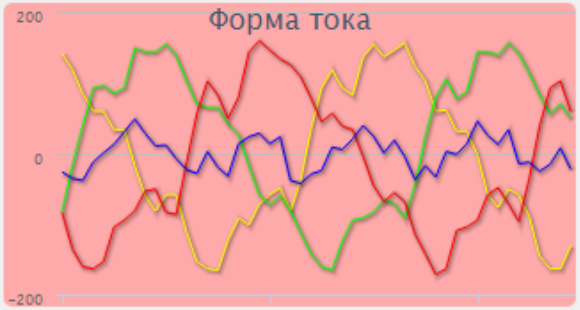
вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

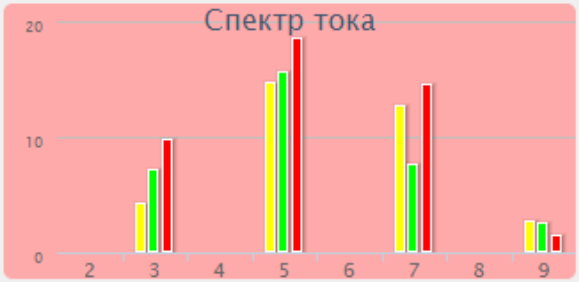
Ток(A) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I L(A)				
I1(A)				
I3(%)				
I5(%)				
I7(%)				
I9(%)				
IH(A)				
THDi %				

16:08:27 21-11-2014	L1	L2	L3	Avg/Sum
	Основные характеристики			
U(В) L-N	229.50	230.30	230.10	229.97
E(В) L-L	398.20	398.72	398.03	398.32
I(A) L	115.20	118.40	112.00	138.23
S(кВА)	26.61	27.47	25.98	80.06
P(кВт)	22.78	21.76	20.90	65.44
Q(квар)	13.75	16.77	15.43	45.95
PF	0.86	0.81	0.82	0.83
	Гармонические составляющие			
U1(В) L-N	229.42	230.20	230.00	0.7
I1(A) L	102.80	101.98	95.58	6.85
P1(кВт)	22.77	22.15	21.01	65.93
cos(φ1)	0.97/14.8	0.94/19.4	0.96/17	
U3,5,7,9(%)	2 0 1 1	2 0 0 0	3 0 0 0	
I3,5,7,9(%)	40 27 13 4	48 31 13 4	50 31 14 4	
	Коэффициенты			
Ku%	2.63	2.86	2.80	2.76
Ki%	50.57	58.96	60.97	56.83
Kcr(U)	1.40	1.39	1.39	1.39
Kcr(I)	2.33	2.40	2.45	2.39
Freq(Hz) f=49.98	Zero Sequence% K0u=0.01		Neg Sequence% K2u=0.10	
Провал				
Перенапр.				

Примеры. Нелинейные нагрузки Z1, Z2 с существенно несинусоидальной формой тока.

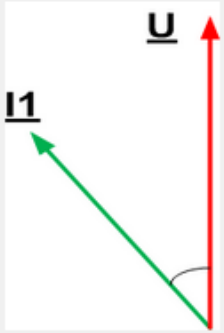
Сеть 1





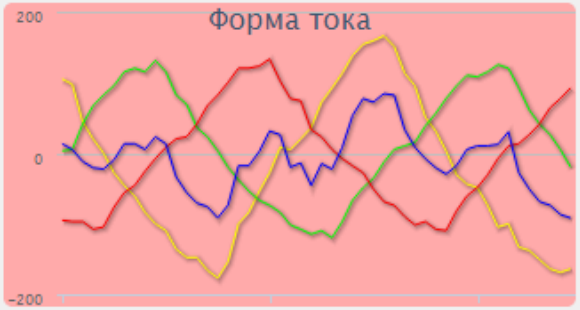
ИБП 1
UPS 1
Трёхфазная нагрузка с внутренней коррекцией

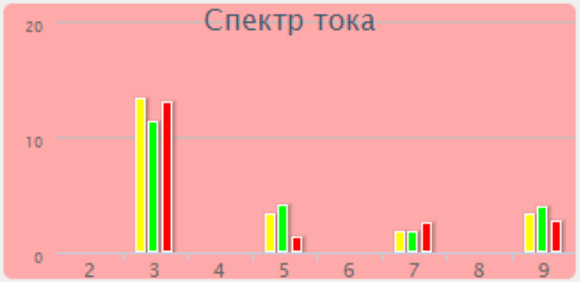
Z 1
("C")
3 однофазные нагрузки с внутренней коррекцией (ВИП)



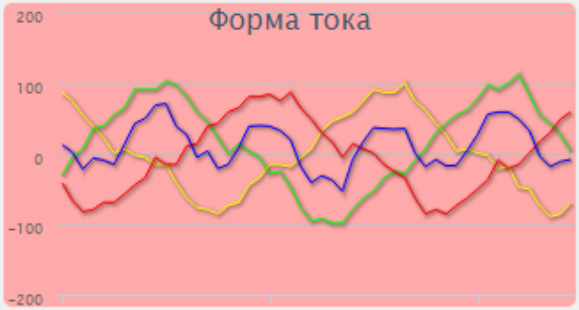
Емкостной характер первой гармоники фазных токов

Нагрузка Z1



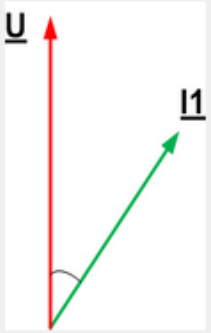


Сеть 2



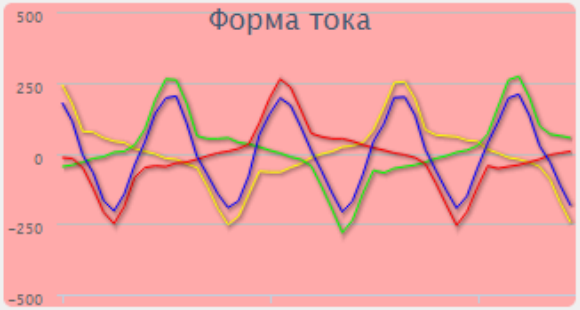
ИБП 2
UPS 2
Трёхфазная нагрузка с внутренней коррекцией

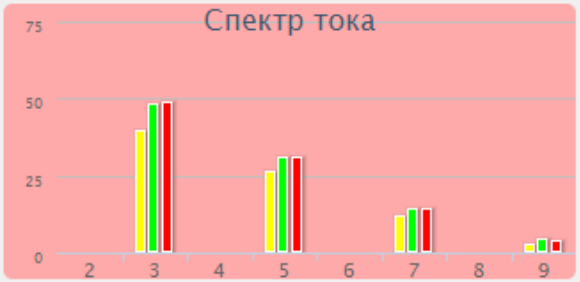
Z 2
("L")
3 однофазные нагрузки без внутренней коррекции



Индуктивный характер первой гармоники фазных токов

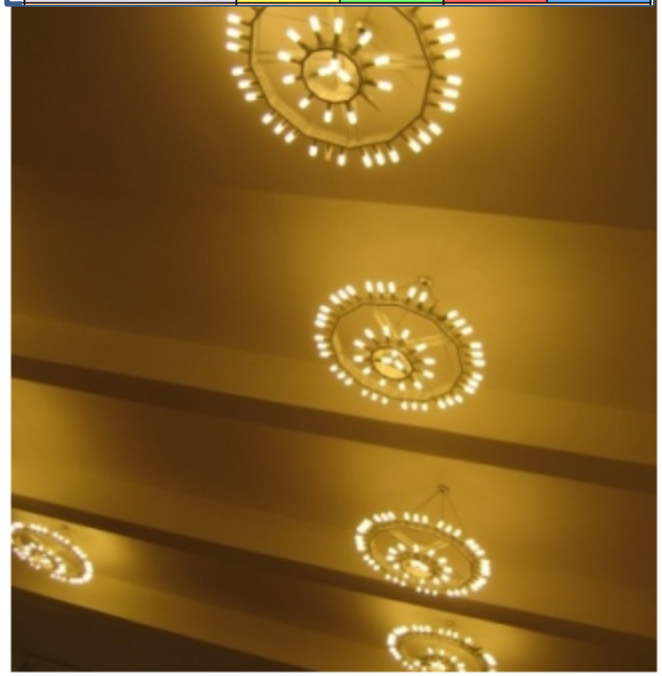
Нагрузка Z2

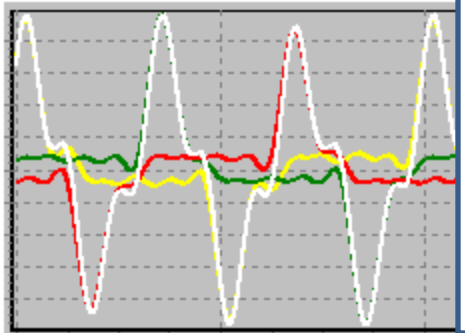




8 люстр, 408 компактных люминесцентных ламп 1 лампа = 24 Вт

.2012	L1	L2	L3	СР/СУМ
Основные характеристики				
U (V)	224,1	225,9	227,5	225,8
E (V)	389,71	392,66	391,1	391,15
I (A)	15,44	15,87	14,59	25,91
S (VA)	3460	3570	3310	10340
P (W)	1990	1990	1920	5900
Q (VAR)	2830	2964	2696	8491
Qh (VAR)	-170	-190	-190	-550
pf	0,58	0,56	0,58	0,57
Гармонический состав				
U1 (V)	223,71	225,26	226,18	225,05
I1 (A)	10,61	10,49	10	0,56
P1 (W)	1990	2020	1910	5920
cos(φ1)/φ1	0,84/-33	0,85/-32	0,84/-32	0,84/-32
U3,U5,U7,U9 (%)	7 2 2 1	7 1 2 1	6 2 3 2	
I3,I5,I7,I9 (%)	74 50 43 30	82 58 42 28	77 51 38 29	
Коэффициенты				
THD-U (%)	7,87	7,53	7,38	7,59
THD-I (%)	105,77	113,62	106,19	108,53
Kcr(U)	1,43	1,47	1,41	1,44
Kcr(I)	3,11	3,03	3,04	3,06
K-factor	8,2	8,75	7,13	8,03
Flicker	0,32	0,26	0,27	0,28





Вычислитель

вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

Ток(А) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I(A) L	15.3	15.8	14.4	25.8
I1(A)	10.61	10.49	10.00	0.6
I3(%)	74	82	77	24.2
I5(%)	50	58	51	0.9
I7(%)	43	42	38	0.7
I9(%)	30	28	29	9
IH(A)	11	11.8	10.4	25.8
Ki(%)	103.6	112.4	104	

Люстра 408 КЛЛ. Источники питания ламп без корректора мощности.

A: 10,6 B: 10,5 C: 10

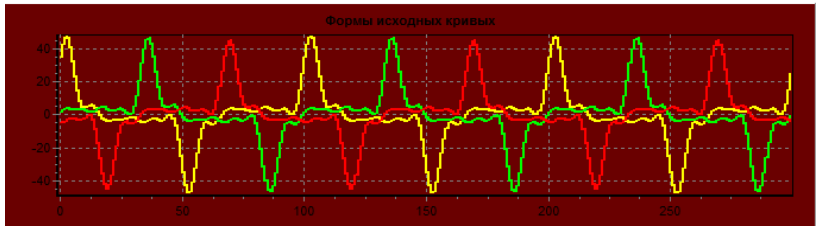
50 60 70 см. | 60 120 240 300 | 60 120 240 300 | 60 120 240 300

74,637 | 70 | Тольз

№гарм	%A	уголA	%B	уголB	%C	уголC
1	100	90	100	330	100	210
3	76	55	76	55	76	55
5	53	40	53	160	53	280
7	42	40	42	280	42	160
9	30	15	30	15	30	15
11	16	0	16	120	16	240

Сформировать исходные кривые

Uф	A: 15,55	B: 15,4	C: 14,66	Ср.: 15,2	Вкт.: 25,42
THDф, %	107,26	107,26	107,26		
Kcr=A/Uф	3,03	3,03	3,03		
11 K-factor	14,98	14,99	15,01		



Люстра 408 КЛЛ. Источники питания ламп с виртуальным корректором мощности.

A: 10,6 B: 10,5 C: 10

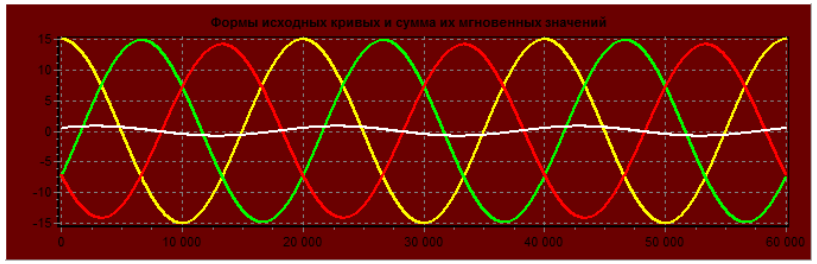
50 60 70 см. | 60 120 240 300 | 60 120 240 300 | 60 120 240 300

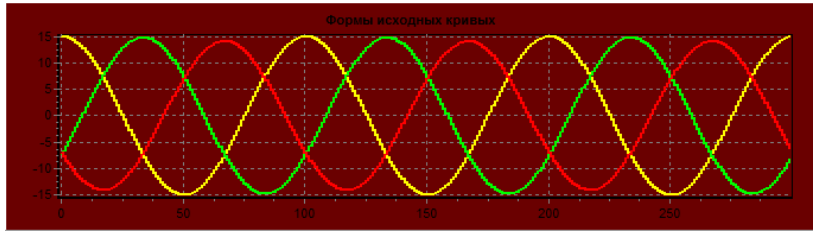
74,637 | 70 | Тольз

№гарм	%A	уголA	%B	уголB	%C	уголC
1	100	90	100	330	100	210
	76	55	76	55	76	55
	53	40	53	160	53	280
	42	40	42	280	42	160
	30	15	30	15	30	15
	16	0	16	120	16	240

Сформировать исходные кривые

Uф	A: 10,6	B: 10,5	C: 10	Ср.: 10,37	Вкт.: 0,56
THDф, %	0	0	0		
Kcr=A/Uф	1,41	1,41	1,41		
11 K-factor	1	1	1		





При наличии корректора мощности энергопотребление и световой поток 8-ми люстр с КЛЛ не изменяются. Потери в фазных проводах снижаются в 2 раза, в нейтральном проводе - в 2000 (!) раз. Существенно улучшаются условия работы защитной и коммутационной аппаратуры. Представленный анализ влияния гармоник на системы освещения можно применить и для других источников света. Например, замена люстр с КЛЛ на традиционные газоразрядные лампы (светильники Армстронг с электронной ПРА), при равенстве коэффициента светоотдачи (лм/Вт), приводит к такому же результату.

ГОСТ Р 51317.3.2-2006 (МЭК 61000-3-2:2005)

Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами от 0-16А.

При активной потребляемой мощности, не превышающей 25 Вт (п.7.3).

Световое оборудование с разрядными лампами, имеющее активную потребляемую мощность, не превышающую 25 Вт, должно соответствовать одному из приведенных ниже требований:

- значения гармонических составляющих тока на 1 Вт мощности ТС не должны превышать норм гармонических составляющих тока, установленных в таблице;
- значение гармонической составляющей тока третьего порядка, выраженное в процентах составляющей тока на основной частоте, не должно превышать **86%**, соответствующее значение гармонической составляющей пятого порядка не должно превышать **61%** и, кроме того, форма кривой потребляемого тока должна указывать на то, что прохождение тока начинается при фазовом угле, равном 60° или ранее, ток достигает последнего пикового значения при 65 ° или ранее и прохождение тока не прекращается до 90°.

Порядок гармонической составляющей,	Максимально допустимое значение гармонической составляющей тока на 1 Вт мощности ТС, мА/Вт	Максимально допустимое значение гармонической составляющей тока, А
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
13 $\leq n \leq$ 39 (только для нечетных гармонических составляющих)	$\frac{3,85}{n}$	В соответствии с таблицей 1

В будущем для ТС могут быть приняты во внимание следующие факторы:

- Число образцов ТС, находящихся в эксплуатации
- Продолжительность использования
- Одновременность использования
- Энергопотребление
- Спектр гармонических составляющих, включая фазовые соотношения

ГОСТ 51317.3.12 (токи 16А-75А), ГОСТ 51317.3.4 (токи более 75 А)

Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами (ТС).

Предельные значения создаваемых ТС токов гармоник при $R_{кз} \geq 33$ (для однофазных и несимметричных трехфазных ТС)

Минимальное отношение $R_{кз}$	Допустимые значения коэффициентов гармоник, %		Допустимые значения токов отдельных гармоник I_n/I_1[1], %					
	Суммарный	Частичный взвешенный	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}
33	23	23	21,6	10,7	7,2	3,8	3,1	2
66	26	26	24	13	8	5	4	3
120	30	30	27	15	10	6	5	4
250	40	40	35	20	13	9	8	6
≥350	47	47	41	24	15	12	10	8

[1] I_1 – номинальная основная составляющая тока; I_n – гармоническая составляющая тока порядка n.

ГОСТ 51317.3.4 (МЭК 61000-3-4) устанавливает нормы эмиссии гармонических составляющих тока от оборудования с потребляемым токам более 16А в одной фазе. Для оборудования с потребляемым токам более 16А, но не более 75 А в одной фазе, действует ГОСТ 51317.3.12 (МЭК 61000-3-12). Значения гармоник указаны в таблице. Если потребляемый ток ТС более 75А, поставщик электрической энергии может подключить ТС к электрической сети на основе соглашения об активной мощности установки потребителя и требований, установленных поставщиком электрической энергии. При этом учитывают конкретные значения индивидуальных гармонических составляющих потребляемого тока ТС, а также значения суммарного и частично взвешенного коэффициента гармонических составляющих, полученные по результатам измерений.

Допустимые уровни гармоник, установленные стандартом США IEEE 519-1992

Максимальные напряжения гармоник (в процентах от номинального напряжения питания) для нагрузок подключенных к точке общего присоединения в зависимости от характера нагрузки согласно IEEE Std. 519-1992.

I_{SC}/I_L	Максимальное напряжение отдельной гармоники [%]	Примечание
10	2.5...3.0	Узкоспециализированные системы
20	2.0...2.5	1...2 крупных потребителя
50	1.0...1.5	Несколько сравнительно больших потребителей
100	0.5...1.0	5...20 потребителей среднего масштаба
1000	0.05...0.1	Множество мелких потребителей

Максимальные токи нечетных гармоник в процентах от тока нагрузки для сетей с напряжением 120...69 000 В, согласно IEEE Std. 519-1992. (Перепечатано с разрешения IEEE, 1992 г.) [6.3]

I_{SC}/I_L	Порядок гармоник					Общий коэффициент нелинейных искажений по току
	$k < 11$	$11 \le k < 17$	$17 \le k < 23$	$23 \le k < 35$	$35 \le k$	
< 20[1)]	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	30.0

[1)] Все электрогенераторные установки должны отвечать требованиям, приведенным в этой строке независимо от значений их I_{SC}/I_L.

Примечание. Токи четных гармоник ограничиваются на уровне 25% от ближайших нечетных. Искажения, сопровождающиеся возбуждением постоянной составляющей в токе потребления, недопустимы.

Влияние несинусоидальности тока на силовой распределительный трансформатор.

Высшие гармоники в сети 0,4 кВ вызывают дополнительные потери энергии в распределительных трансформаторах и проводах.

Известно, что трансформаторные подстанции 10/ 0,4 кВ предназначены для электроснабжения линейных нагрузок при условии, что суммарный коэффициент нелинейных искажений (Total Harmonic Distortion, THD) не превышает 3-8 %. Этому же условию соответствует выбор элементов внутренней автоматики: измерительные трансформаторы тока и напряжения, устройства релейной защиты, индикаторы состояния коммутационной аппаратуры и т.д. Оценку влияния несинусоидальности тока на условия эксплуатации трансформаторов можно произвести по различным методикам, одной из которых является К-фактор нагрузки в соответствии со стандартом США ANSI/IEEE C57.110

Дополнительные потери в кабелях и питающих трансформаторах от высших гармоник тока в сетях 0,4 кВ.

Технические потери в кабелях (проводах) и силовых трансформаторах оцениваются при синусоидальной форме тока. Как правило, уровень потерь в кабелях составляет 3-5% от мощности нагрузки; в силовом трансформаторе потери составляют 4-6% при 100%-й загрузке.

Наличие высших гармоник в токе является основной причиной дополнительных потерь в кабеле и силовом трансформаторе.

Основным параметром оценки дополнительных потерь в элементах сети являются коэффициент искажения синусоидальности Ki (далее THDi) и К-фактор.

В общем случае оценку потерь можно произвести следующим образом:

$$P_{\Sigma} = P_{1A} + P_{1P} + P_{H} = R_1 I_{1A}^2 + R_1\left(I_{1P}^2 + I_{H}^2\right) \qquad P_{\Sigma} = P_{1A} + P_{неакт.}$$

$P_{неакт}$ часть дополнительных потерь от реактивной составляющей первой гармоники тока и от высших гармоник.

$P_{неакт}$ можно скомпенсировать и тем самым уменьшить потери в проводнике.

Потери в линии.

Потери в линии – основная составляющая всех потерь сетей 0,4кВ. Это потери активной энергии на нагрев кабеля вследствие протекающего по нему тока.

Дополнительные потери в линии вызваны увеличением действующего значения тока в кабеле вследствие появления в нем высших гармонических составляющих и реактивной составляющей по первой гармонике. Как видно из формулы, эти потери пропорциональны квадрату тока.

В общем случае потери определяются током гармоники и своим эквивалентным сопротивлением, в соответствии с известным выражением

$$P_{потерь_в_кабеле} = I_{каб}^2 \cdot R_{каб}$$

$$P_{потерь_в_кабеле} = P_{потерь_1гарм} + P_{доп_потерь} = I_{1гарм}^2 R_{каб} + I_{высш.гарм}^2 R_{каб} =$$

$$= I_{1гарм}^2 R_{каб} + I_{1гарм}^2 THD_I^2 R_{каб} = I_{1гарм}^2 R_{каб} (1 + THD_I^2) =$$

$$= P_{потерь_1гарм} (1 + THD_I^2)$$

Потери в трансформаторе.

Дополнительные потери в трансформаторе состоят из дополнительных потерь в меди и дополнительных потерь на вихревые токи и оцениваются по THDi и по К-фактору.

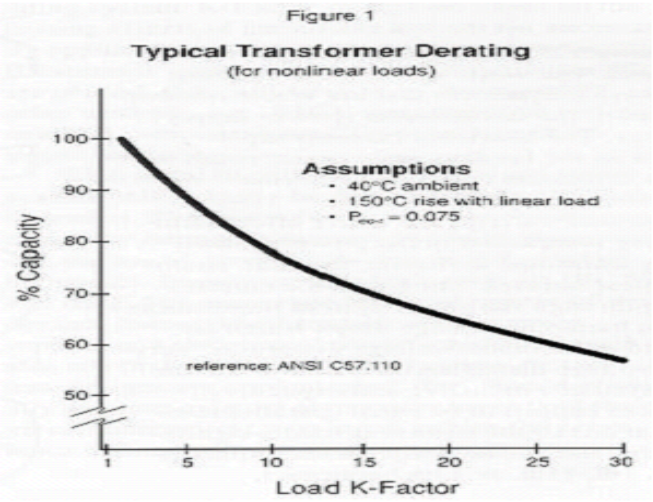
$$P_{потерь} = P_{меди} + P_{вихр.} \qquad P_{меди} = P_{меди.1г.} \cdot \left(1 + THD_I^2\right)$$

$$P_{вихр} = P_{вихр.1г.} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2 \cdot n^2 = P_{вихр.1г.} \cdot K_{фактор}$$

$$P_{доп.потерь} = P_{меди.1г.} THD_I^2 + P_{вихр.1г.} \cdot (K_{фактор} - 1)$$

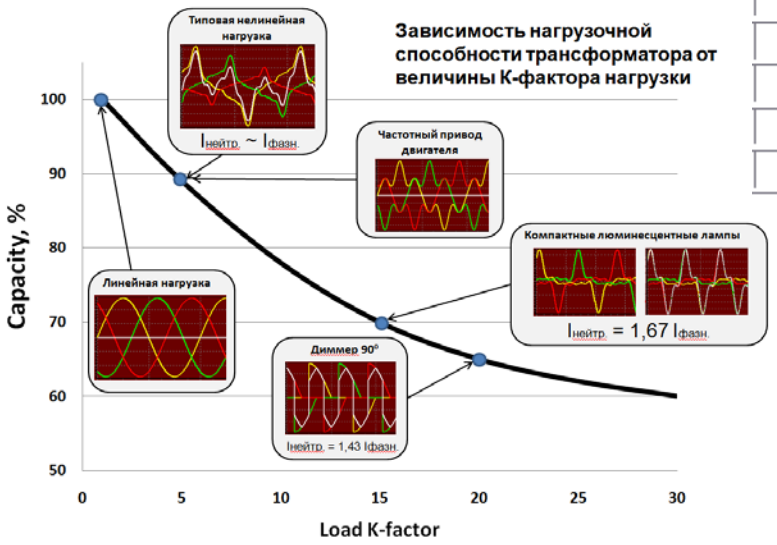
$$THD_i = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \ldots}}{I_1}$$

Стандарт США ANSI/IEEE C57.110
Дополнительные потери в трансформаторе при несинусоидальном токе.



$$K\text{-Factor} = \Sigma (I_h)^2 h^2$$

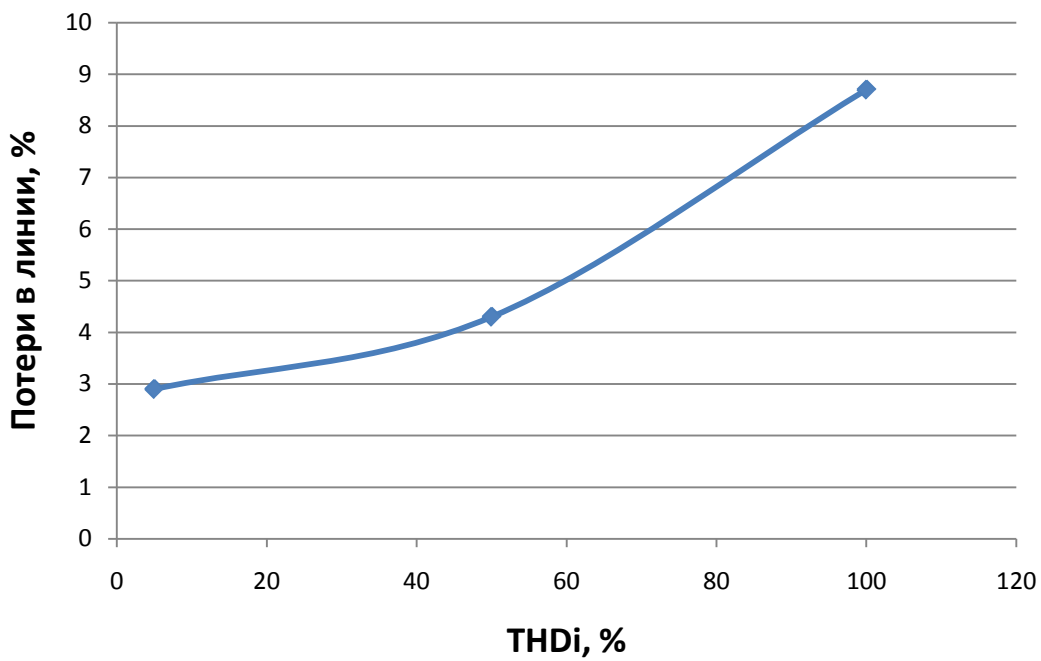
K-Factor Calculation for a Typical Nonlinear Load					
h (harmonic number)	I_h (nonlinear load current)	$(I_h)^2$	$i_h = (I_h)/(\Sigma(I_h)^2)^{1/2}$	$(i_h)^2$	$(i_h)^2 h^2$
1	100.0%	1.000	0.792	0.626	0.626
3	65.7	0.432	0.520	0.270	2.434
5	37.7	0.142	0.298	0.089	2.226
7	12.7	0.016	0.101	0.010	0.495
9	4.4	0.002	0.035	0.001	0.098
11	5.3	0.003	0.042	0.002	0.213
13	2.5	0.001	0.020	0.000	0.066
15	1.9	0.000	0.015	0.000	0.051
17	1.8	0.000	0.014	0.000	0.059
19	1.1	0.000	0.009	0.000	0.027
21	0.6	0.000	0.005	0.000	0.010
23	0.8	0.000	0.006	0.000	0.021
25	0.4	0.000	0.003	0.000	0.006
Total		**1.596**		**1.00**	**6.33**



К1 – тепловая нагрузка
К4 – UPS с встроенным фильтром
К13 – UPS без фильтра
К20 – частотный привод
К30 – лабораторное оборудование

Пример из литературы: оценка дополнительных потерь в кабельной линии.

Load=20kW/phase, 120V, 40 branches of #12 cable at 200 feet			
THD (%)	5	50	100
Current (pu)	1.00	1.12	1.41
Current (amps)	166.9	186.3	235.7
Line loss per phase = I^2R (W)	442.2	551.4	882.3
Cost for 3-phase/year	$581.09	$724.55	$1059.29
Penalty w.r.t. 5% THD	$0.00	$143.46	$578.19



Оценка дополнительных потерь в питающей сети на примере Медиацентра Сочи.

Нагрузки медиацентра:
главный зал (500 рабочих мест с компьютерами, медиа-панель)
Конференц-залы (компьютерное оборудование)
Серверные (компьютерное оборудование)
Вентиляция
Освещение

По результатам непрерывного мониторинга во время Олимпийских Игр, среднесуточная нагрузка медиацентра составляла около 120кВт.

Для расчёта дополнительных потерь принимаем эквивалентное сечение питающего кабеля 50мм^2 (нейтраль 100мм^2), эквивалентная длина 100 метров (от питающего трансформатора до нагрузки).

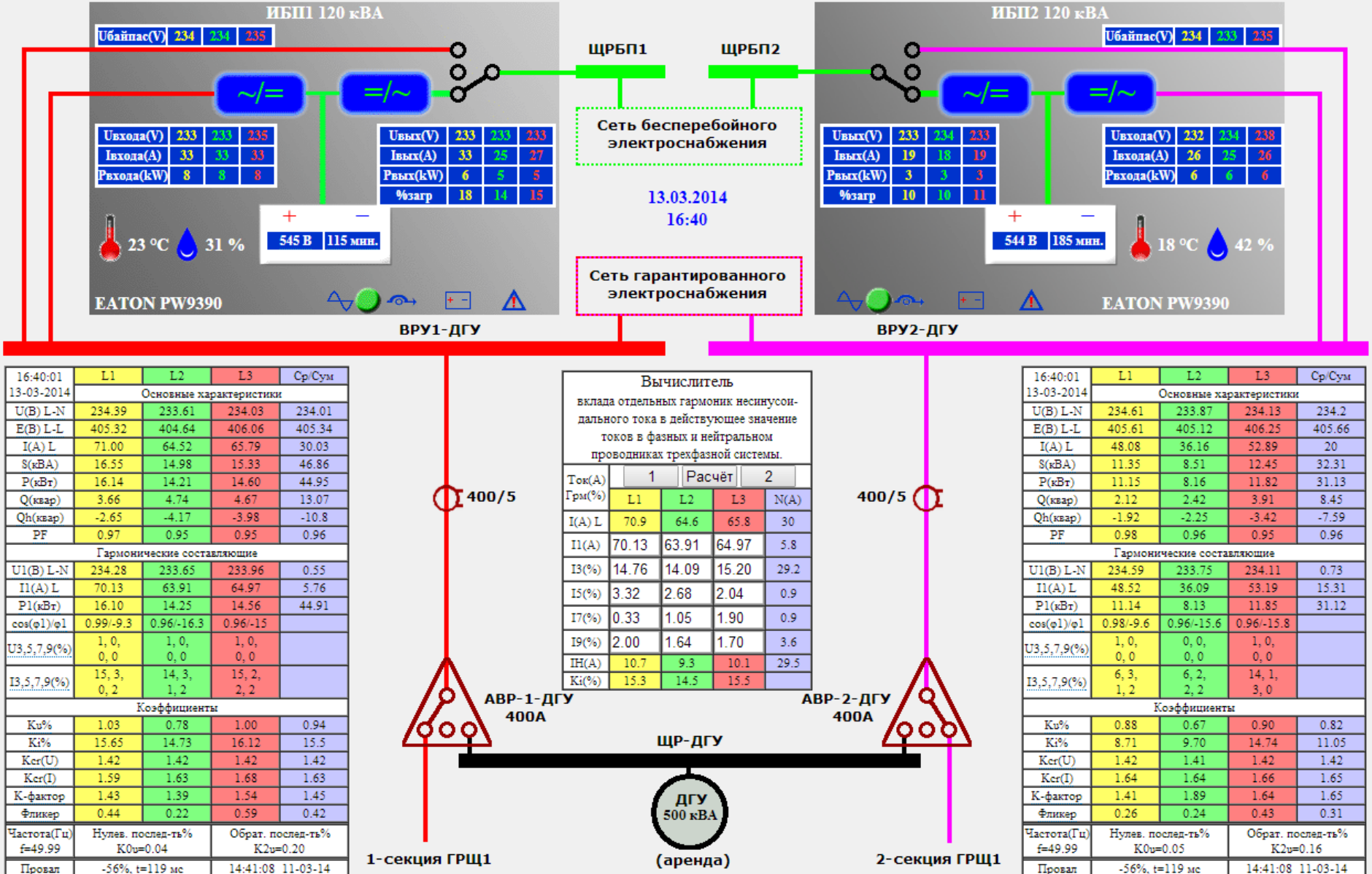
$$R_{фаз} = 0.37\frac{мОм}{м}\cdot 100м = 37мОм \qquad R_{нейтр} = 18.5мОм$$

Нагрузка=40кВт/фазу, 220В, кабель 50мм^2, длина 100 метров.			
THD (%)	5	50	100
Ток (отн. ед.)	1.00	1.11	1.41
Ток в фазе (А)	182	202	256,6
Потери на фазу, I^2R, Вт	1225	1509	2424
Ток в нейтрали (А)	22,5	225	450
Потери в нейтрали, Вт	9,4	936	3746
Стоимость потерь в год, руб.	127609	189213	382828
Потери в линии, %	2,9 %	4,3 %	8,7%

Онлайн-мониторинг | Графики | Журнал | Отчеты | Фотографии | Справка

XXII Зимние Олимпийские Игры 2014. Электроснабжение Медиацентра Сочи.

Текущие Параметры Качества Электрической Энергии (ТПКЭ).



16:40:01 13-03-2014	L1	L2	L3	Ср/Сум
	Основные характеристики			
U(B) L-N	234.39	233.61	234.03	234.01
E(B) L-L	405.32	404.64	406.06	405.34
I(A) L	71.00	64.52	65.79	30.03
S(кВА)	16.55	14.98	15.33	46.86
P(кВт)	16.14	14.21	14.60	44.95
Q(квар)	3.66	4.74	4.67	13.07
Qh(квар)	-2.65	-4.17	-3.98	-10.8
PF	0.97	0.95	0.95	0.96
	Гармонические составляющие			
U1(B) L-N	234.28	233.65	233.96	0.55
I1(A) L	70.13	63.91	64.97	5.76
P1(кВт)	16.10	14.25	14.56	44.91
cos(φ1)/φ1	0.99/-9.3	0.96/-16.3	0.96/-15	
U3,5,7,9(%)	1, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	
I3,5,7,9(%)	15, 3, 0, 2	14, 3, 1, 2	15, 2, 2, 2	
	Коэффициенты			
Ku%	1.03	0.78	1.00	0.94
Ki%	15.65	14.73	16.12	15.5
Kcr(U)	1.42	1.42	1.42	1.42
Kcr(I)	1.59	1.63	1.68	1.63
K-фактор	1.43	1.39	1.54	1.45
Фликер	0.44	0.22	0.59	0.42
Частота(Гц) f=49.99	Нулев. послед-ть% K0u=0.04		Обрат. послед-ть% K2u=0.20	
Провал	-56%, t=119 мс		14:41:08 11-03-14	
Перенапр.	1.13, t=994 мс		14:13:21 04-03-14	

Вычислитель вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

Ток(A) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I(A) L	70.9	64.6	65.8	30
I1(A)	70.13	63.91	64.97	5.8
I3(%)	14.76	14.09	15.20	29.2
I5(%)	3.32	2.68	2.04	0.9
I7(%)	0.33	1.05	1.90	0.9
I9(%)	2.00	1.64	1.70	3.6
IH(A)	10.7	9.3	10.1	29.5
Ki(%)	15.3	14.5	15.5	

16:40:01 13-03-2014	L1	L2	L3	Ср/Сум
	Основные характеристики			
U(B) L-N	234.61	233.87	234.13	234.2
E(B) L-L	405.61	405.12	406.25	405.66
I(A) L	48.08	36.16	52.89	20
S(кВА)	11.35	8.51	12.45	32.31
P(кВт)	11.15	8.16	11.82	31.13
Q(квар)	2.12	2.42	3.91	8.45
Qh(квар)	-1.92	-2.25	-3.42	-7.59
PF	0.98	0.96	0.95	0.96
	Гармонические составляющие			
U1(B) L-N	234.59	233.75	234.11	0.73
I1(A) L	48.52	36.09	53.19	15.31
P1(кВт)	11.14	8.13	11.85	31.12
cos(φ1)/φ1	0.98/-9.6	0.96/-15.6	0.96/-15.8	
U3,5,7,9(%)	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	
I3,5,7,9(%)	6, 3, 1, 2	6, 2, 2, 2	14, 1, 3, 0	
	Коэффициенты			
Ku%	0.88	0.67	0.90	0.82
Ki%	8.71	9.70	14.74	11.05
Kcr(U)	1.42	1.41	1.42	1.42
Kcr(I)	1.64	1.64	1.66	1.65
K-фактор	1.41	1.89	1.64	1.65
Фликер	0.26	0.24	0.43	0.31
Частота(Гц) f=49.99	Нулев. послед-ть% K0u=0.05		Обрат. послед-ть% K2u=0.16	
Провал	-56%, t=119 мс		14:41:08 11-03-14	
Перенапр.	1.10, t=339 мс		19:57:59 07-03-14	

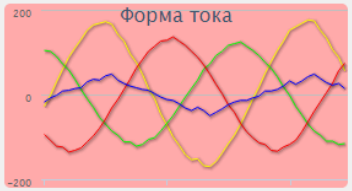
Таким образом, несинусоидальность тока в современных сетях 0,4кВ в основном определяется несовершенством вторичных источников питания для всех технических средств.

Уровень высших гармоник может быть уменьшен встроенным или внешним **активным фильтром**. Угол сдвига между первыми гармониками тока и напряжения может не измениться.

Эффективность активного фильтра на примере РТП-34.

Current Transformer CT-1

THDi,%	3.55	3.27	3.34	
pf	1.00	1.00	1.00	
I L, A	114.20	81.30	90.97	26.75
I1, A	114.13	81.25	88.99	29.77



OPQP. LV-side trans. 2.

12:09:26 06-10-2014	L1	L2	L3	Avg/Sum
Basic characteristics				
U(V) L-N	234.30	235.20	235.70	235.07
E(V) L-L	406.60	407.81	407.03	407.15
I L(A)	114.20	81.30	90.97	26.75
S(kVA)	26.95	19.27	21.56	67.78
P(kW)	26.53	18.91	21.26	66.7
Q(kVAR)	4.74	3.71	3.58	12.03
PF	1.00	1.00	1.00	1
Harmonic components				
U1(V) L-N	234.28	234.99	235.68	1.21
I1(A) L	114.13	81.25	88.99	29.77
P1(kW)	26.68	19.09	20.96	66.73
cos(φ1)/φ1	1.00/-3.1	1.00/-0.6	1.00/3.3	
U3,5,7,9(%)	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	
I3,5,7,9(%)	2, 1, 1, 1	0, 1, 1, 0	1, 1, 1, 1	
Coefficients				
THDu%	1.19	1.06	1.05	1.1
THDi%	3.55	3.27	3.34	3.39
Kcr(U)	1.42	1.42	1.42	1.42
Kcr(I)	1.49	1.51	1.51	1.5
Freq(Hz) f=50.02	Zero Sequence% K0u=0.01		Neg Sequence% K2u=0.17	

Calculator

the contribution of the harmonic components in TRMS currents in 3-phases system.

I L(A) Harm(%)	1	Calculate!	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I L(A)				
I1(A)				
I3(%)				
I5(%)				
I7(%)				
I9(%)				
IH(A)				
THDi %				

$$pf = \frac{P}{U \cdot I_L} \qquad THD_i = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + \ldots}}{I_1}$$

$$IL = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + \ldots}$$

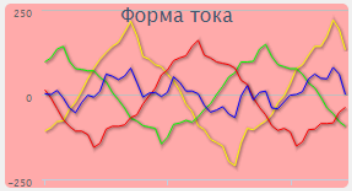
$$pf_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1} = \cos\varphi_1 = pf\sqrt{1 + THD_i^2}$$

OPQP. LV-panel 2.

12:09:26 06-10-2014	L1	L2	L3	Avg/Sum
Basic characteristics				
U(V) L-N	235.10	236.20	236.90	236.07
E(V) L-L	408.16	409.72	408.76	408.88
I L(A)	114.20	79.36	90.97	36.94
S(kVA)	27.07	18.89	21.65	67.61
P(kW)	26.34	18.54	21.04	65.92
Q(kVAR)	6.24	3.62	5.1	14.96
PF	0.99	0.99	0.98	0.99
Harmonic components				
U1(V) L-N	235.08	236.19	236.88	1.57
I1(A) L	112.58	78.37	86.27	31.02
P1(kW)	26.46	18.47	20.29	65.22
cos(φ1)/φ1	1.00/-0.9	1.00/3.1	0.99/-353	
U3,5,7,9(%)	0, 0, 0, 0	0, 1, 0, 0	1, 0, 0, 0	
I3,5,7,9(%)	9, 10, 7, 5	7, 9, 7, 5	7, 7, 7, 4	
Coefficients				
THDu%	1.21	1.10	1.17	1.16
THDi%	17.00	15.97	13.86	15.61
Kcr(U)	1.42	1.42	1.42	1.42
Kcr(I)	1.90	1.87	1.76	1.84
Freq(Hz) f=49.99	Zero Sequence% K0u=0.01		Neg Sequence% K2u=0.22	

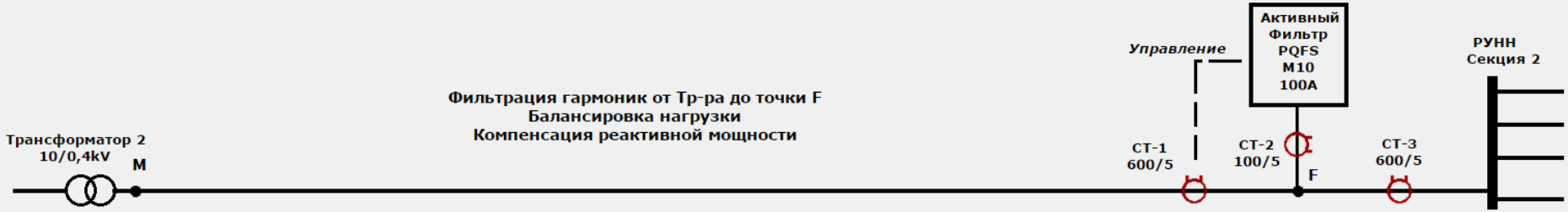
Current Transformer CT-3

THDi,%	17.00	15.97	13.86	
pf	0.99	0.99	0.98	
I L, A	114.20	79.36	90.97	36.94
I1, A	112.58	78.37	86.27	31.02



МЭИ(ТУ) РТП-34 РУНН Секция 2. Активный фильтр АВВ. Текущие параметры качества электроэнергии

Фильтрация гармоник от Тр-ра до точки F
Балансировка нагрузки
Компенсация реактивной мощности



ТПКЭ Тр-ра Т2 для питания РУНН секция 2 (до фильтра)

1

16:10:17 24-11-2014	L1	L2	L3	Ср/Сум
Основные характеристики				
U(В) L-N	224.90	225.00	224.90	224.93
E(В) L-L	389.62	389.62	389.54	389.59
I L(A)	75.49	81.30	73.55	12.53
S(кВА)	17.06	18.45	16.62	52.13
P(кВт)	17.01	18.36	16.55	51.92
Q(квар)	1.31	1.82	1.52	4.65
PF	1.00	0.99	1.00	1
Гармонические составляющие				
U1(В) L-N	224.88	224.89	224.99	0.11
I1(A) L	75.42	81.23	73.51	6.96
P1(кВт)	16.93	18.14	16.49	51.56
cos(φ1)/φ1	1.00/3.2	0.99/6.5	1.00/2.7	
U3,5,7,9(%)	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	
I3,5,7,9(%)	2, 2, 1, 1	3, 1, 0, 1	0, 0, 1, 1	
Коэффициенты				
THDu%	1.11	1.04	1.03	1.06
THDi%	4.33	4.15	3.34	3.94
Kcr(U)	1.42	1.42	1.42	1.42
Kcr(I)	1.54	1.52	1.49	1.52
Частота(Гц) f=50.00	Нулев. послед-ть% K0u=0.00		Обрат. послед-ть% K2u=0.01	

Вычислитель
вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

Ток(A) Грм(%)	1	2	3	Расчёт
	L1	L2	L3	N(A)
I L(A)				
I1(A)				
I3(%)				
I5(%)				
I7(%)				
I9(%)				
IH(A)				
Ki(%)				

ТПКЭ активного фильтра АВВ

2

16:10:18 24-11-2014	L1	L2	L3	Ср/Сум
Основные характеристики				
U(В) L-N	225.30	225.00	225.00	225.1
E(В) L-L	389.97	389.71	389.97	389.88
I L(A)	15.81	15.16	12.58	24.65
S(кВА)	3.59	3.44	2.86	9.89
P(кВт)	0.21	0.38	0.20	0.79
Q(квар)	3.58	3.42	2.85	9.85
PF	0.08	0.11	0.06	0.08
Гармонические составляющие				
U1(В) L-N	225.39	225.09	225.09	0.3
I1(A) L	9.08	8.11	7.18	1.65
P1(кВт)	0.50	0.58	0.25	1.33
cos(φ1)/φ1	0.24/-76	0.32/-73.2	0.15/-81.4	
U3,5,7,9(%)	0, 0, 1, 0	0, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	
I3,5,7,9(%)	90, 100, 70, 56	92, 100, 81, 63	100, 80, 68, 56	
Коэффициенты				
THDu%	1.12	1.06	1.08	1.09
THDi%	298.58	275.57	232.34	268.83
Kcr(U)	1.42	1.41	1.41	1.41
Kcr(I)	2.68	2.35	2.00	2.34
Частота(Гц) f=50.00	Нулев. послед-ть% K0u=0.00		Обрат. послед-ть% K2u=0.05	

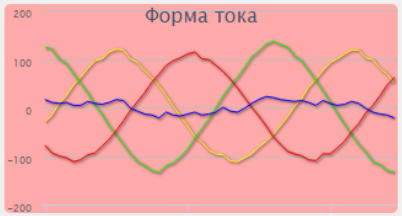
ТПКЭ нагрузок секции 2 РУНН (после фильтра)

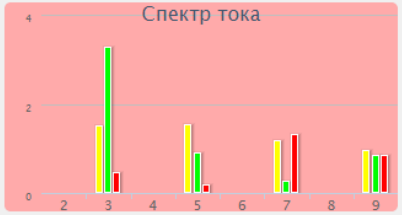
3

16:10:18 24-11-2014	L1	L2	L3	Ср/Сум
Основные характеристики				
U(В) L-N	225.90	225.80	225.80	225.83
E(В) L-L	391.18	391.10	391.18	391.15
I L(A)	77.42	87.10	73.55	29.88
S(кВА)	17.58	19.77	16.70	54.05
P(кВт)	16.85	19.18	16.32	52.35
Q(квар)	5.01	4.79	3.54	13.34
PF	0.97	0.96	0.98	0.97
Гармонические составляющие				
U1(В) L-N	225.89	225.79	225.68	0.18
I1(A) L	73.73	79.84	72.44	6.85
P1(кВт)	16.54	17.67	16.24	50.45
cos(φ1)/φ1	0.99/6.3	0.98/11.3	0.99/-353	
U3,5,7,9(%)	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	
I3,5,7,9(%)	12, 13, 9, 7	10, 11, 9, 6	10, 8, 8, 6	
Коэффициенты				
THDu%	0.99	1.10	1.17	1.09
THDi%	21.96	19.19	17.53	19.56
Kcr(U)	1.43	1.42	1.43	1.43
Kcr(I)	1.99	1.95	1.80	1.91
Частота(Гц) f=50.00	Нулев. послед-ть% K0u=0.00		Обрат. послед-ть% K2u=0.01	

Ki,% (THDi)

4.33
4.15
3.34





$$THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \cdots}}{I_1}$$

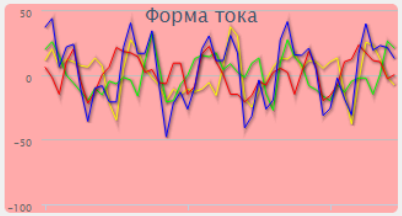
$$PF = \frac{P}{S}$$

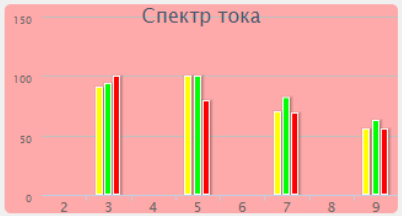
$$\frac{I_L}{I_1} = \sqrt{1 + THD_I^2}$$

$$\cos\varphi_1 = PF \cdot \sqrt{1 + THD_I^2}$$

Ki,% (THDi)

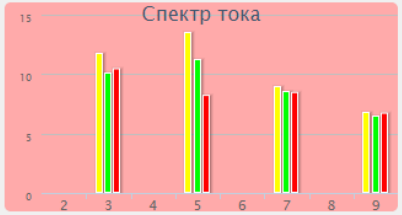
298.58
275.57
232.34





Ki,% (THDi)

21.96
19.19
17.53



В 2007 году на действующей распределительной трансформаторной подстанции МЭИ 10/0.4 7000кВА (РТП-34) создана комплексная система непрерывного контроля текущих параметров (ТПКЭ) и показателей (ПКЭ) качества электрической энергии с использованием этих параметров в учебном процессе через сеть **интернет**.

Прямое непрерывное измерение и архивация ТПКЭ соответствуют современной тенденции сплошного мониторинга основных параметров электрической энергии, аналогично **системам мониторинга ведущих телерадиокомплексов России**.

ИННОВАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА МЭИ(ТУ)

ПРОИЗВОДСТВЕННО-УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС МЭИ (ТУ) РТП-34.

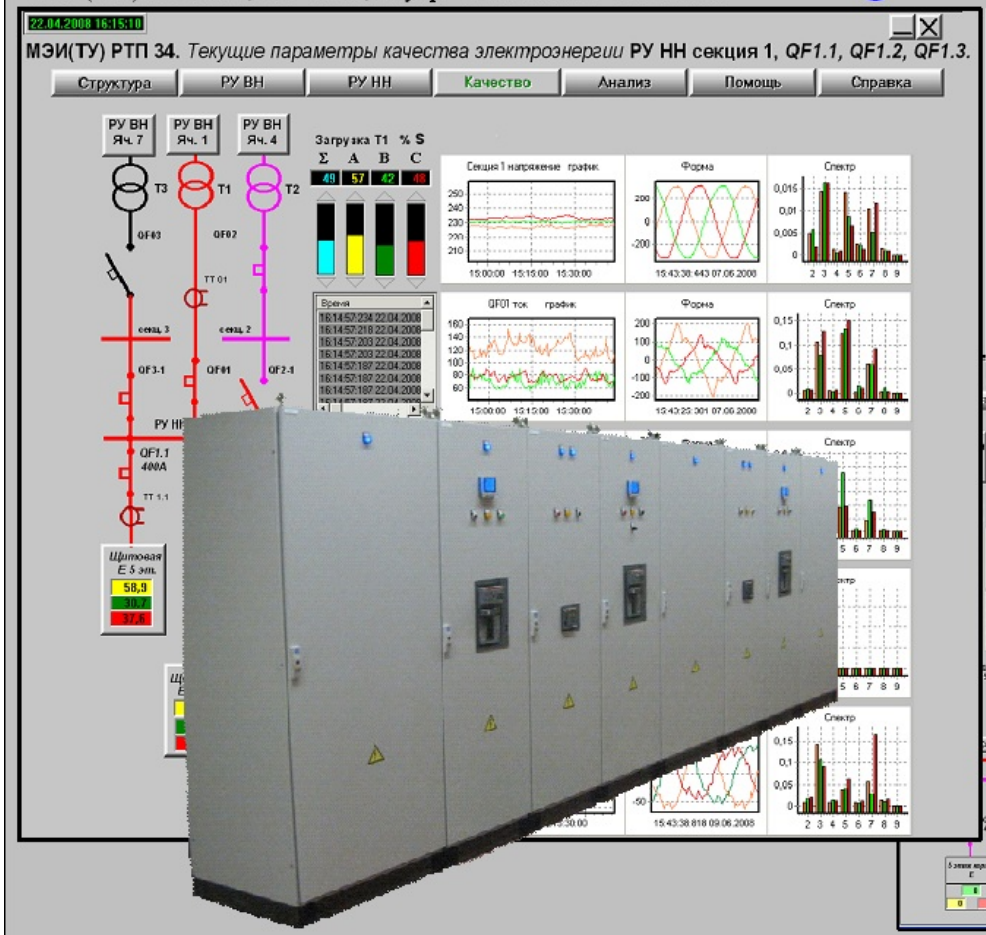
НЕПРЕРЫВНЫЙ ИНТЕРНЕТ-КОНТРОЛЬ ТЕКУЩИХ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (ТПКЭ) ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 10/0,4 ; 7000 кВА

Направление подготовки: Электротехника, электромеханика, промышленная электроника, электротехнология, электроснабжение.

Руководитель авторского коллектива: Хруслов Лев Леонтьевич.

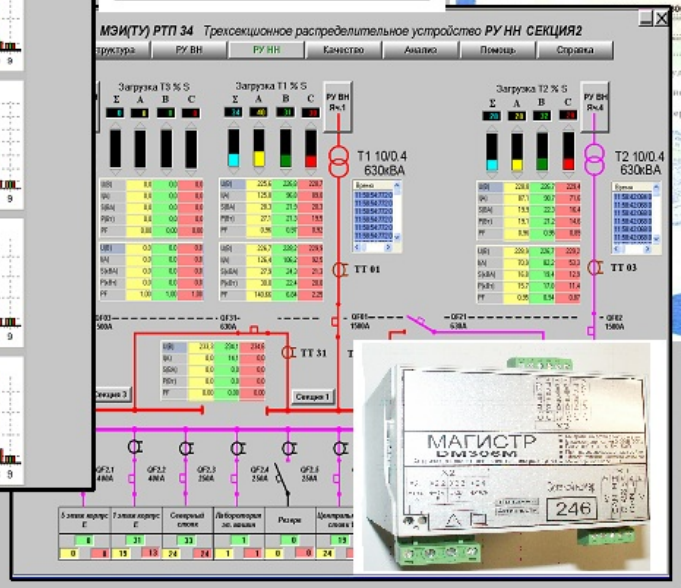
Контактная информация: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14 МЭИ(ТУ) Кафедра Электрических и Электронных Аппаратов,

тел.: (495)362-7162, 673-0889, внутр. тел. МЭИ 63-53: e-mail: **0226mof@rambler.ru** **shish16@mail.ru**



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СЕРТИФИКАТ
об утверждении типа средств измерений
PATTERN APPROVAL CERTIFICATE
OF MEASURING INSTRUMENTS
RU.C.34.004.A № 30083



Производственно-учебный комплекс РТП-34 предназначен для учебно-исследовательских целей. Интернет-доступ к текущим параметрам качества электроэнергии предоставляется без оплаты и оформляется актом об использовании с указанием конкретных форм применения в учебном процессе.

«Умная» подстанция (Smart Substation).

Фрагмент распределительного щита РУНН РТП-34 с анализаторами качества электроэнергии DM-306M.

Распределительное устройство низкого напряжения РТП-34

МЭИ РТП 34

Прямая трансляция интернет контроля текущих параметров качества электрической энергии, распределяемой трансформаторной подстанцией Московского Энергетического Института РТП-34

10/0,4; 7000 кВА

www.magistr.tv/demo

Предложения по сообщению Хруслова Л.Л., с учётом опыта непрерывного мониторинга на объектах города Москвы.

1. Следует быть осторожным при применении традиционных (емкостных) компенсирующих устройств после фильтрации высших гармоник, имея в виду, что первая гармоника тока может быть как емкостной, так и индуктивной.
2. В документах (паспорте) на измерительный прибор, предназначенный для учета электрической энергии, одновременно с параметрами точности (класса) прибора, должны быть указаны уровни искажения синусоидальности напряжения и тока в виде предельно допустимых значений коэффициента искажения синусоидальности напряжения KU (THD-U) и коэффициента искажения синусоидальности тока KI (THD-I), в пределах которых обеспечивается заявленный класс точности.
3. В паспортных данных на Технические Средства (ТС), предназначенные для бытового сектора, обязательно указывать уровень искажения синусоидальности тока.
4. В нормативных документах применять термин-понятие «коэффициент мощности» Kp (Power Factor, PF). Термин cos(φ) допустим при значениях коэффициентов искажения синусоидальности тока и напряжения k_I,k_U менее 5%.
5. Исключить из ГОСТ Р 51317.3.2-2006 (МЭК 61000-3-2:2005) пункт 7.3 (требования на световое оборудование в виде компактных люминесцентных ламп, не превышающее 25 Вт).

Спасибо за внимание.

ООО «МАГИСТР-3М»
Генеральный директор
Хруслов Лев Леонтьевич
8 (495) 362-71-92
0226mof@rambler.ru
shish16@mail.ru
www.magistr.tv/demo

Дополнительная информация по материалу презентации.

Основные показатели качества при гармонических искажениях.

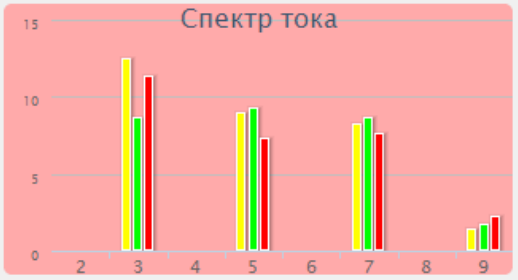
Действующее значение:

$$I_L = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt} \qquad I_L = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + \ldots + I_{50}^2} = \sqrt{I_1^2 + I_H^2}$$

Коэффициент нелинейных Искажений (КНИ):

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \ldots + I_{50}^2}}{I_1}$$

Гармонический спектр:



Полная мощность: $S = U_L \cdot I_L = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$

S – полная мощность, S_1 – полная мощность первой гармоники,
S_H – полная мощность гармоник

P – активная мощность, Q – реактивная мощность, D – мощность искажения

$$S^2 = S_1^2 + S_H^2$$

$$S_H = S_1 \cdot THD_I$$

$$I_H = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \ldots + I_{50}^2}$$

$$I_H = \frac{I_{RMS}}{\sqrt{1 + \frac{1}{THD_I^2}}}$$

Коэффициент мощности: $PF = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I_L} \cdot \cos\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_I^2}} \cdot \cos\varphi_1$

Суммарный коффициент гармонических искажений (THD_I)

$$THD_I = \sqrt{\left(\frac{I_L}{I_1}\right)^2 - 1}$$

Для эквивалентной синусоиды справедливо выражение:

$$S = U_{RMS} \cdot I_{RMS} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

$$S^2 = (U_1 \cdot I_1)^2 + (U_1 \cdot I_H)^2 + (U_H \cdot I_1)^2 + (U_H \cdot I_H)^2 = S_1^2 + S_H^2$$

$S_1 = U_1 \cdot I_1$ – кажущаяся мощность первой гармоники

S_H – кажущаяся мощность от гармоник

$$\left(\frac{S_H}{S_1}\right)^2 = THD_I^2 + THD_U^2 + \left(THD_I \cdot THD_U\right)^2$$

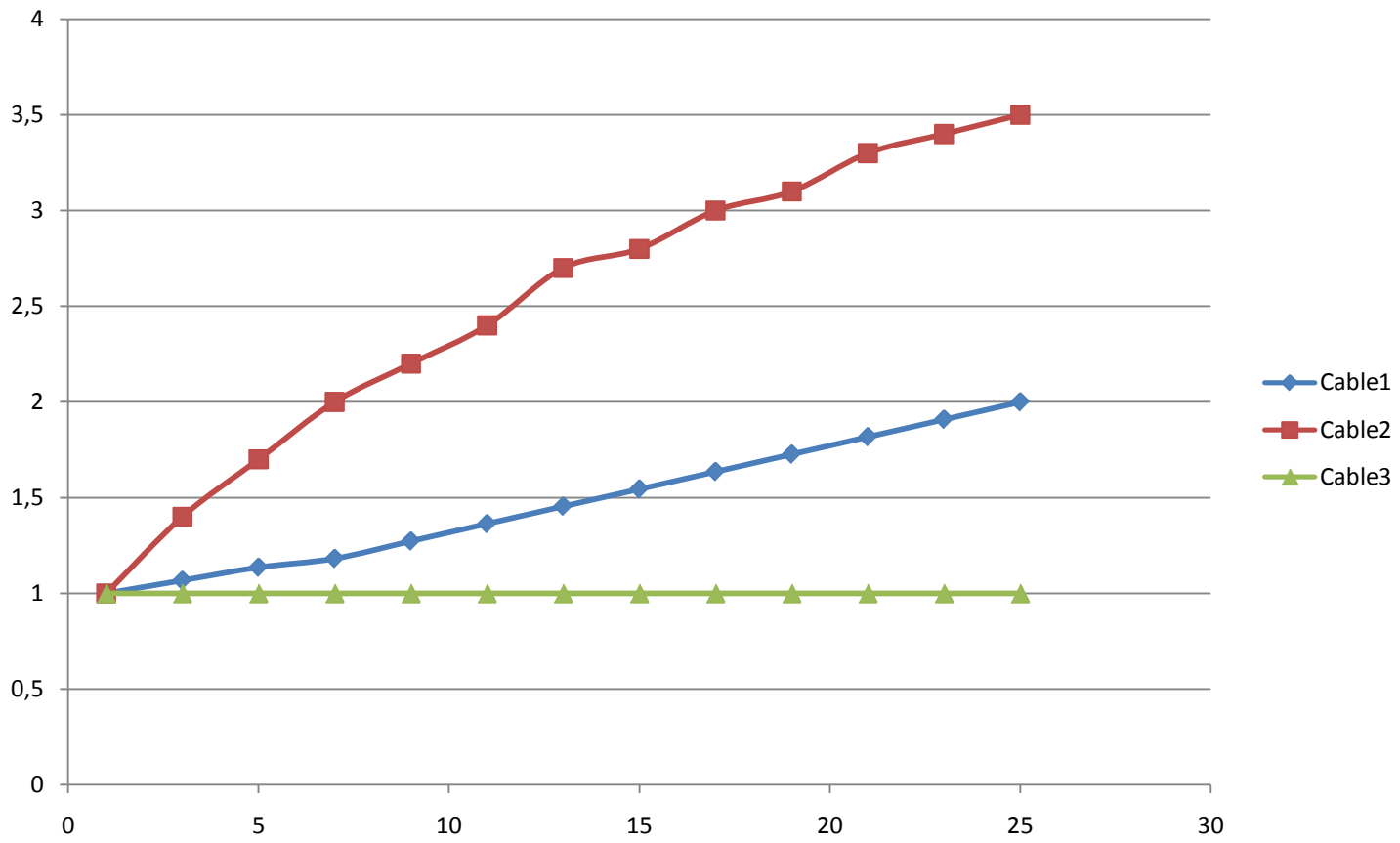
При THDU <5% и THDI>15% можно принять, что $\frac{S_H}{S_1} = THD_I$

(в этом случае погрешность не превышает 1%)

Либо $\frac{S_H}{S_1} = \sqrt{THD_I^2 + THD_U^2}$

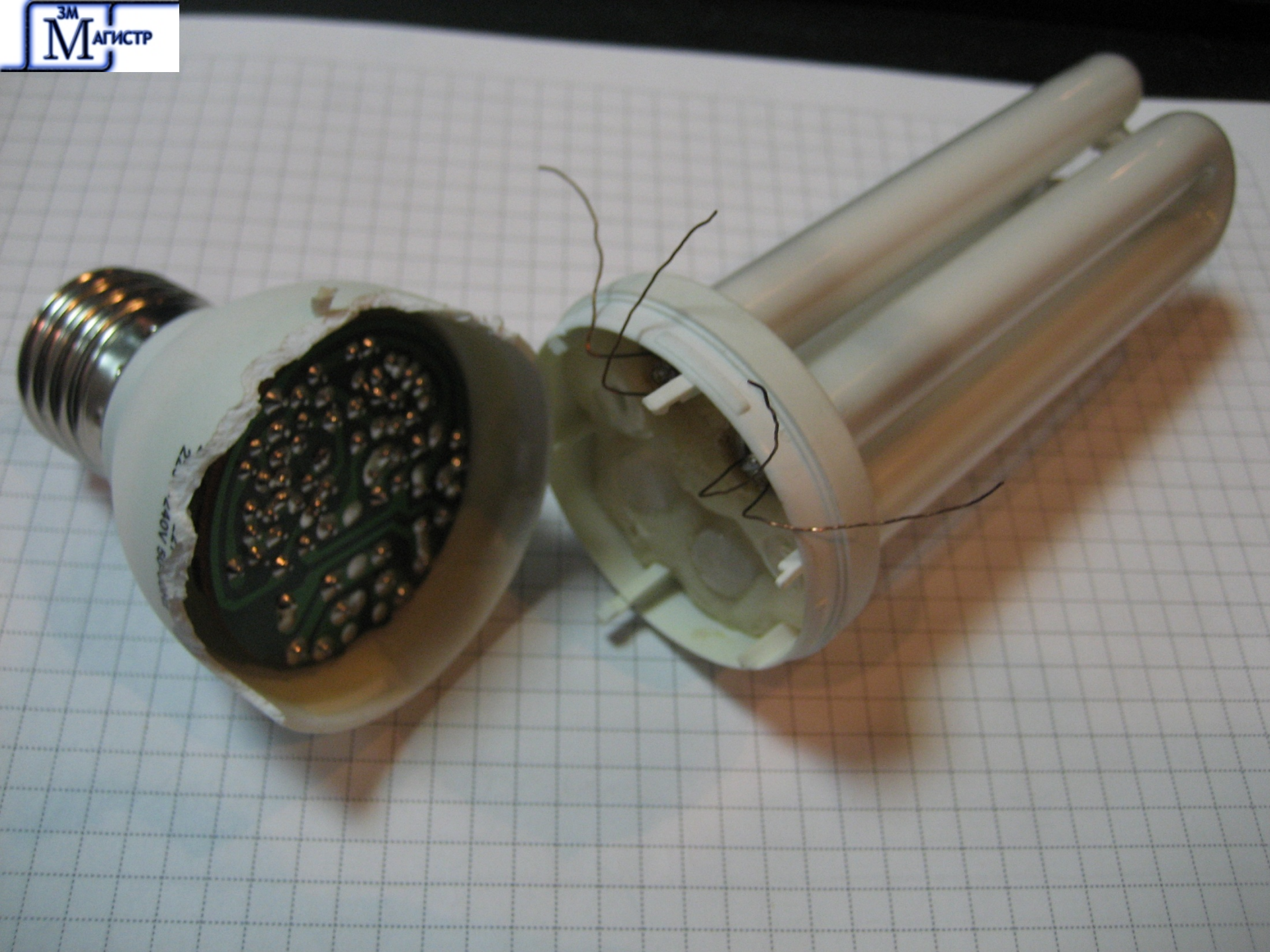
(в этом случае погрешность не превышает 0,15%)

Относительное увеличение сопротивления кабелей в зависимости от номера гармоники тока.



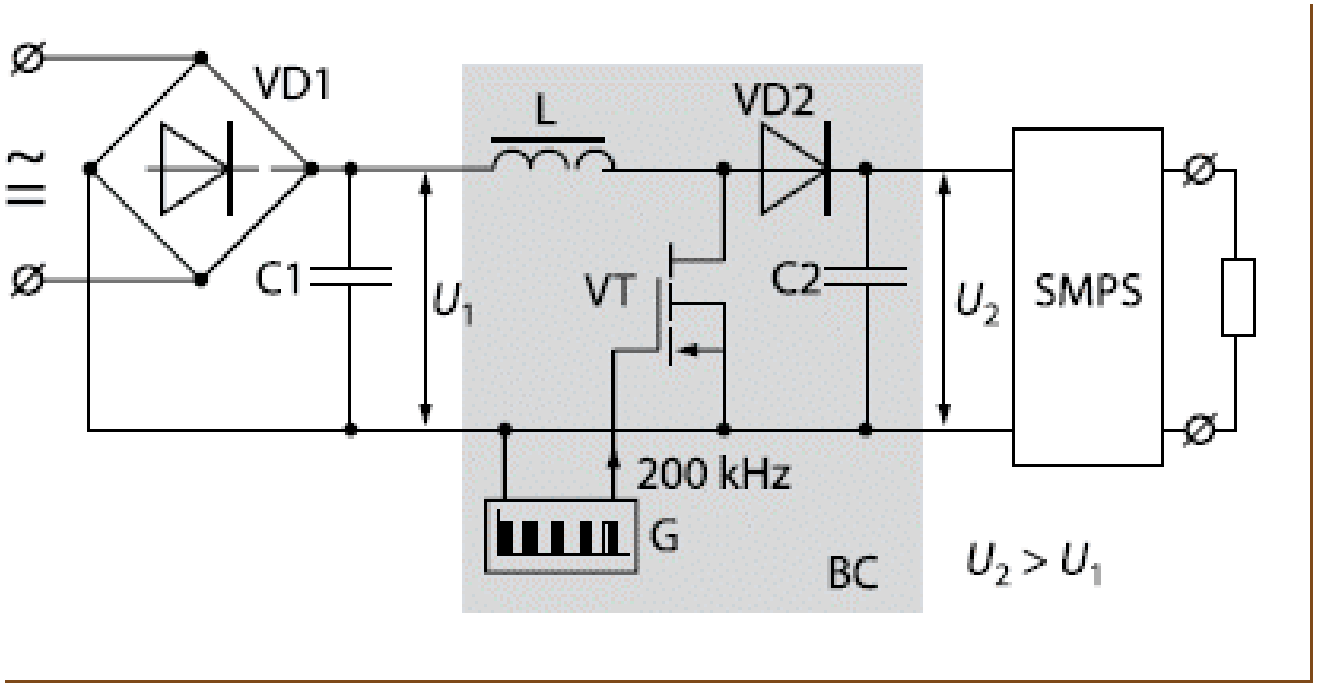
Кабель 1 – 50 мм^2
Кабель 2 – 95 мм^2
Кабель 3 – 2,5 мм^2

ЛН – лампа накаливания,
КЛЛ – компактная люминесцентная лампа,
ЛЛ – люминесцентная лампа,
СД – светодиодные светильники,
МГЛ – металлогалогенная лампа,
ДнАТ – натриевая лампа высокого давления.

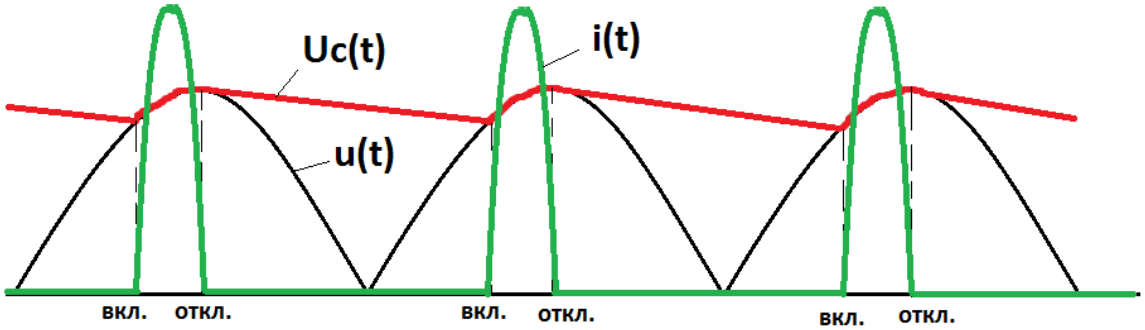

ЗМ
Магистр

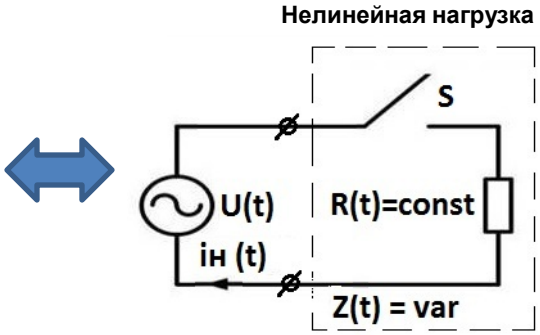
ЗМ
Магистр
400v6.8uF 400v6.8uF
250V

Вторичный источник питания с корректором мощности



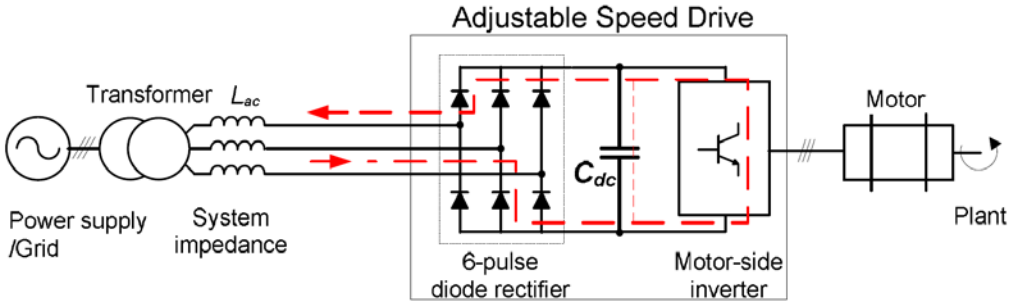
Принцип работы ВИП:

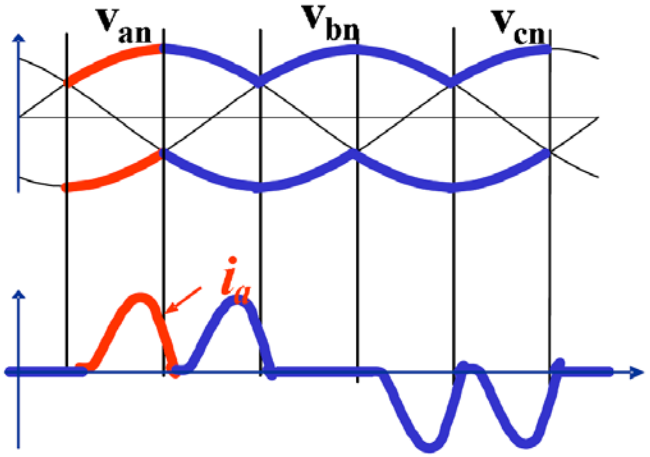


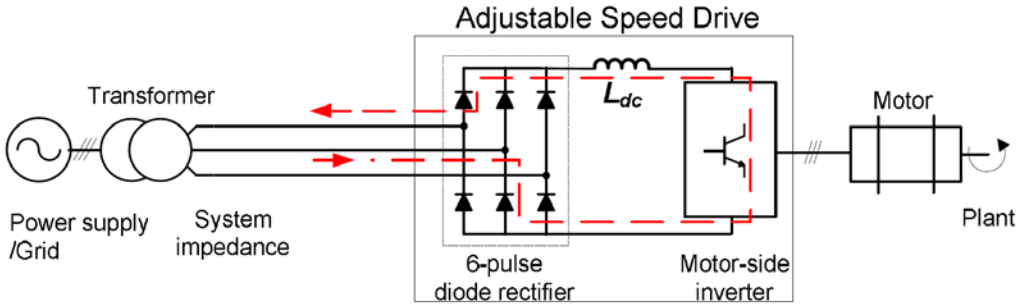


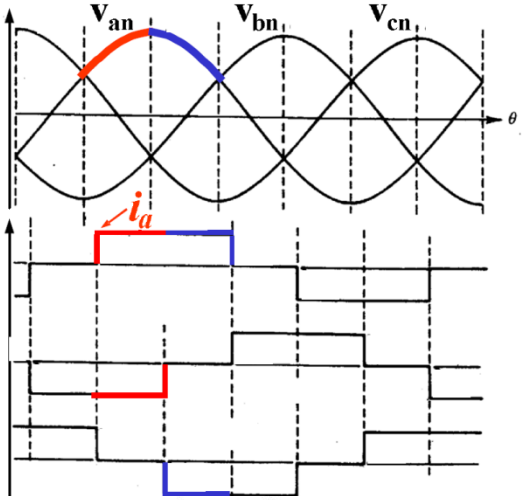
Возникновение гармоник тока в трёхфазной системе.

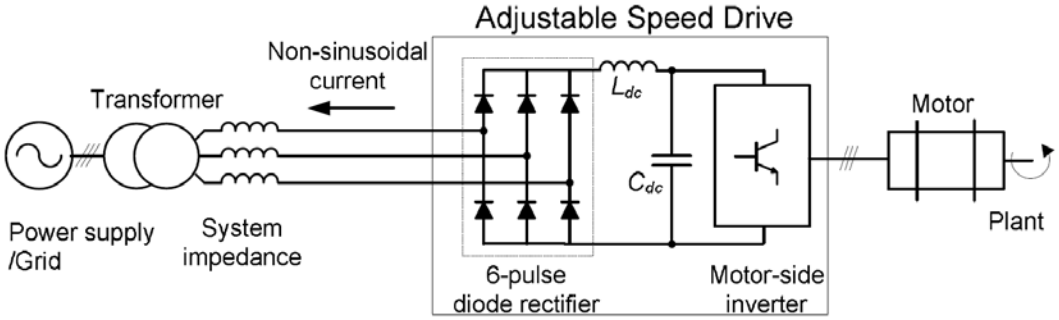
Трёхфазные преобразователи частоты.

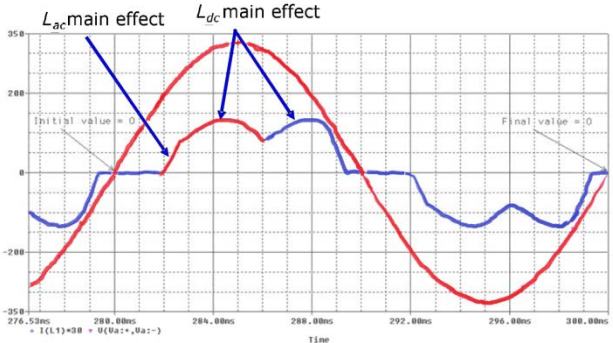












Входной ток вторичного источника питания без корректора и с корректором мощности

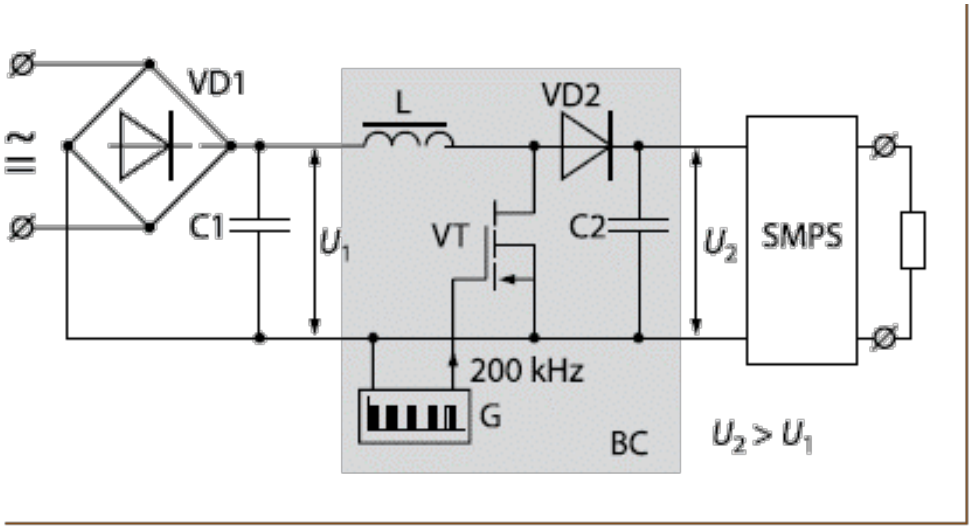
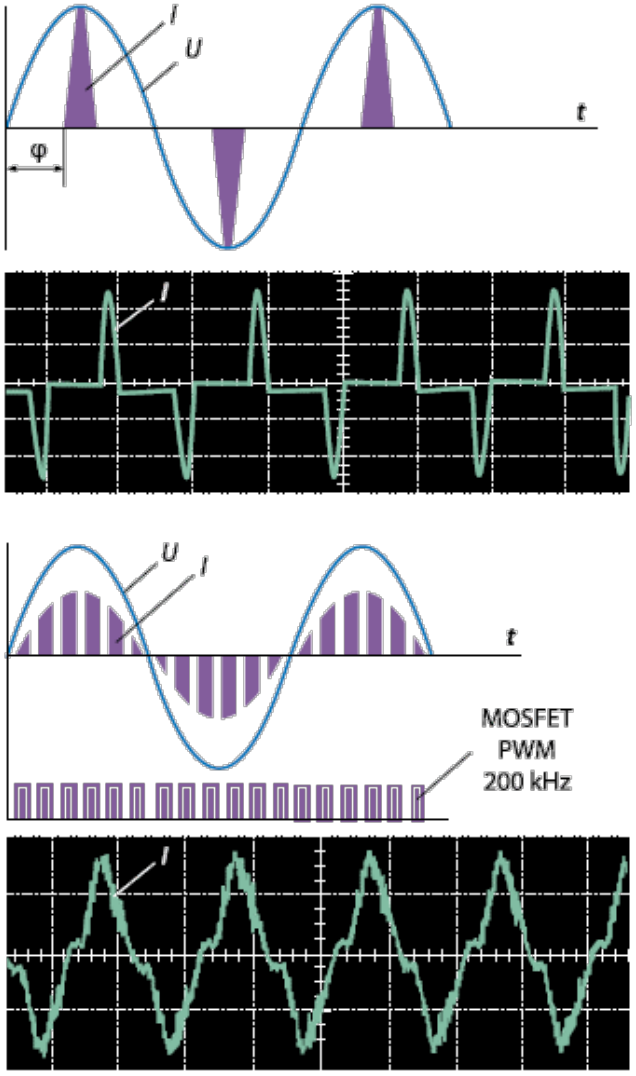


Рис. 1

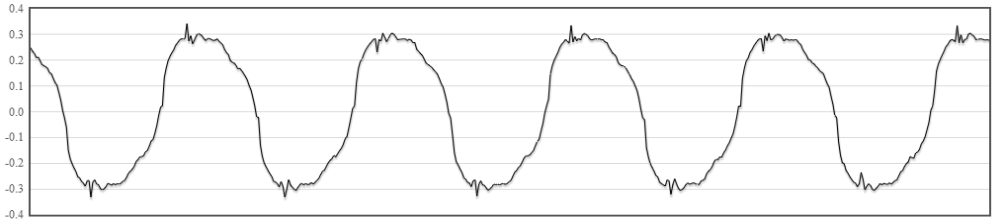
Форма тока и сдвиг фаз между напряжением и током, потребляемым выпрямителем, без ККМ (a) и с ККМ (b)



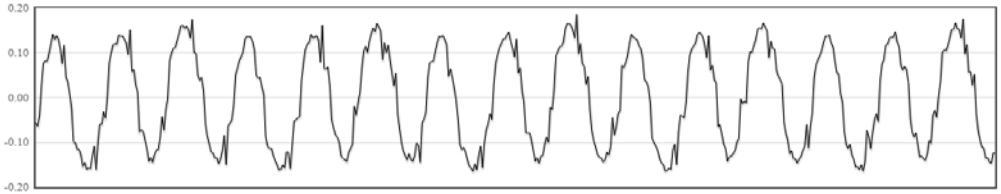
Форма тока в светодиодных светильниках Feron LL-128 50Вт (с корректором мощности и без корректора).

С корректором:

Действующее значение тока в фазе = 0,23А



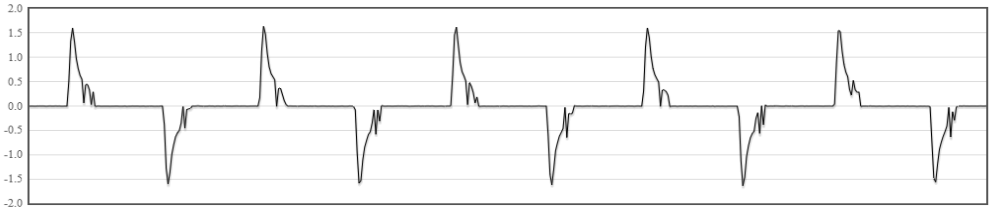
Действующее значение тока в нейтрали = 0,11А



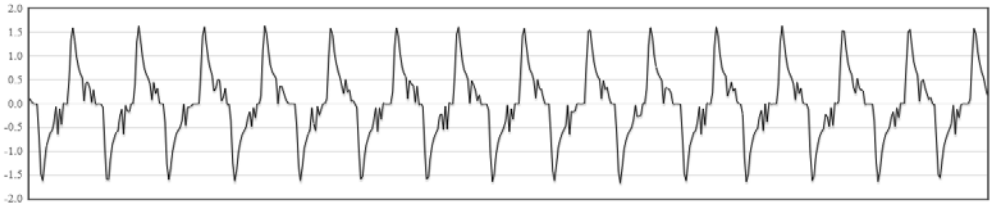
№ гармоники	Значение
1	0,243 А
3	86% (86%)
5	64% (61%)
7	47%
9	40%
11	38%
13	33%
15	24%
17	18%

Без корректора:

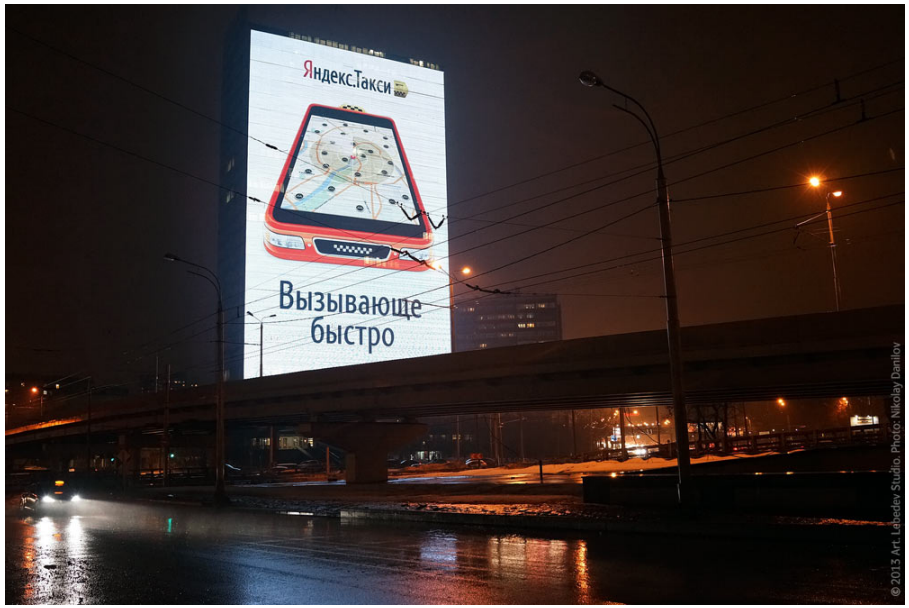
Действующее значение тока в фазе = 0,4А



Действующее значение тока в нейтрали = 0,74А



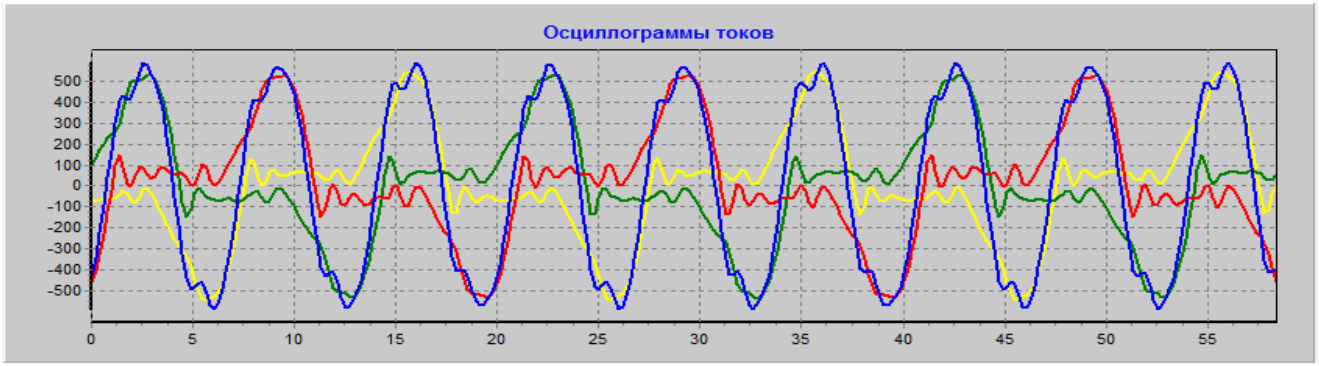
Светодиодные рекламные щиты (мощность до 1500 кВА).



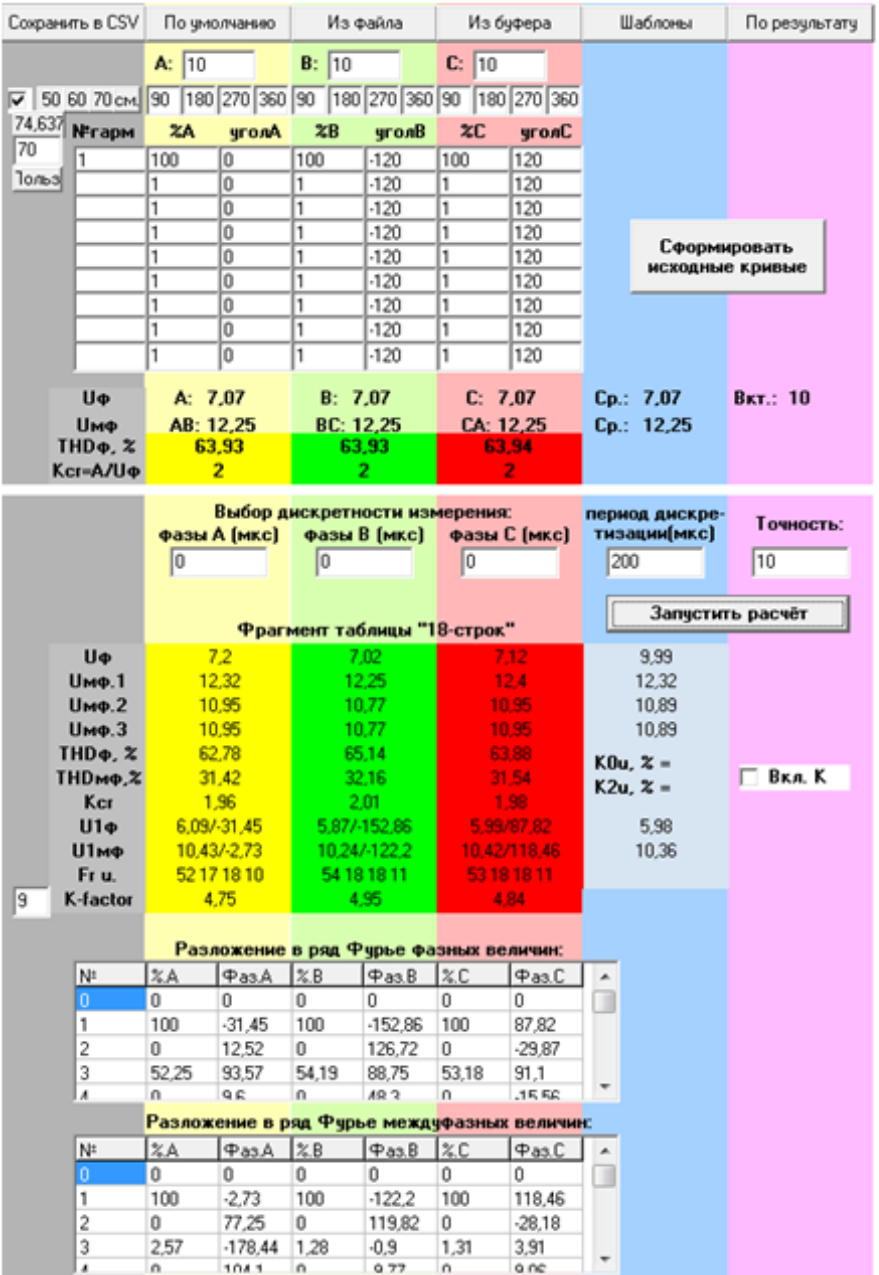
I_A = 250 A; I_B = 251 A; I_C = 254 A; I_N = 417 A

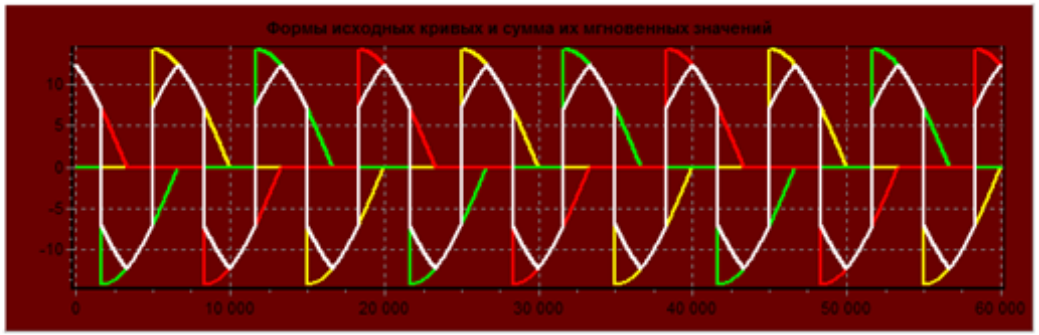
PF = 0,65

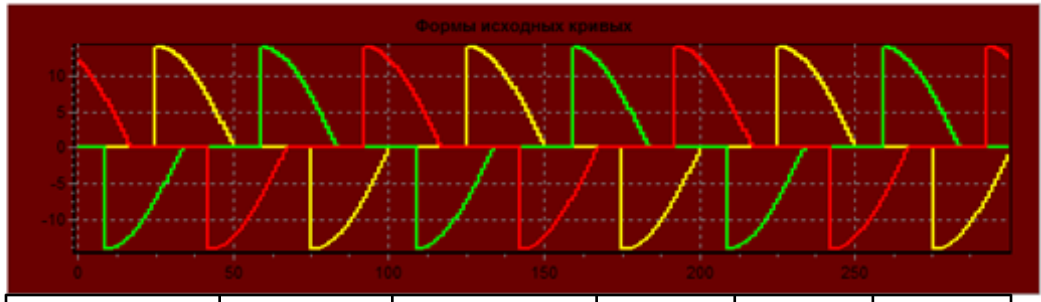
THDI = 110%



Анализ режимов трехфазного диммера

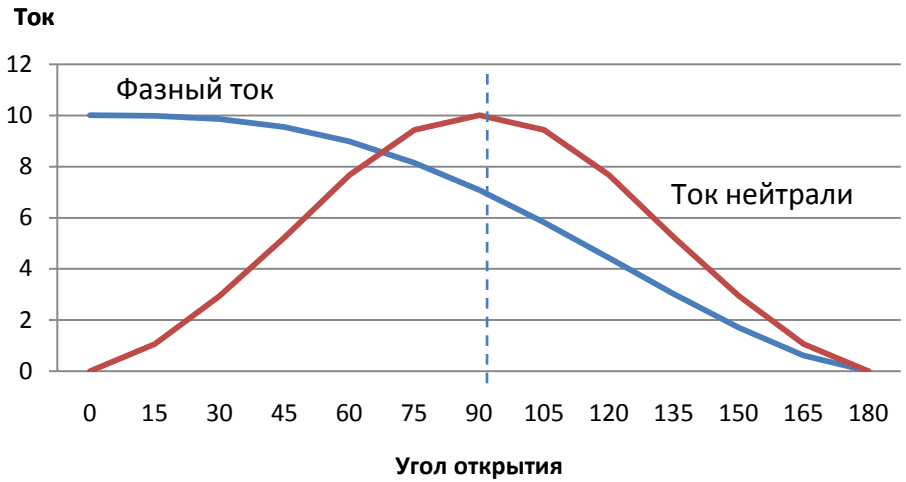






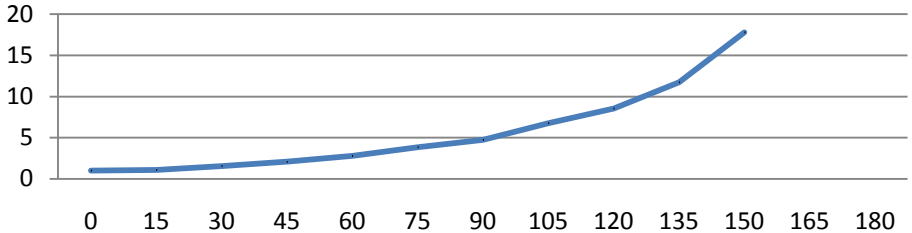
Угол открытия	Фазный ток	Ток нейтрали	THD	K-factor	IN/Iф
0	10	0	0	1	0
15	9,98	1,06	5,44	1,08	0,11
30	9,85	2,94	14,66	1,53	0,3
45	9,54	5,22	25,34	2,07	0,55
60	8,97	7,66	37,02	2,78	0,85
75	8,14	9,43	49,73	3,84	1,16
90	7,07	10	63,93	4,75	1,41
105	5,81	9,43	80,42	6,76	1,62
120	4,42	7,66	100,66	8,56	1,73
135	3,01	5,22	127,64	11,74	1,73
150	1,7	2,94	168,75	17,8	1,73
165	0,61	1,06	250,49	17,55	1,74
180	0	0			

оки в фазных и нейтральном водниках трехфазного диммера



K-factor

$$K\text{-Factor} = \Sigma(I_h)^2 h^2$$



THD

$$K_{Ui} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)i}^2}}{U_{(1)i}} \cdot 100$$

График токов, соответствующий углу открытия 150

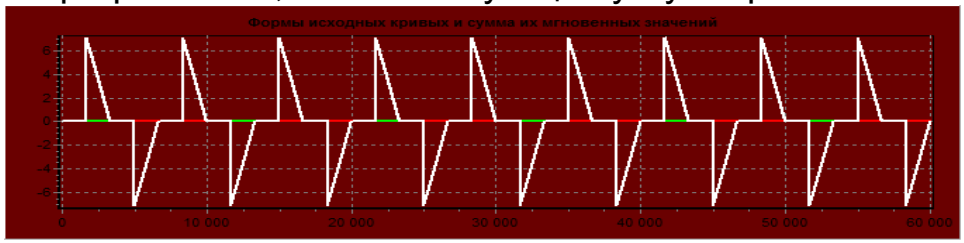
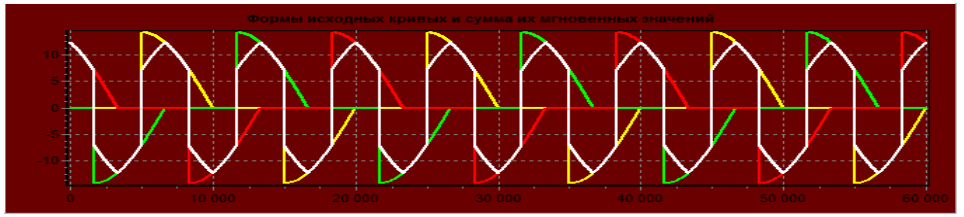


График токов, соответствующий углу открытия 90



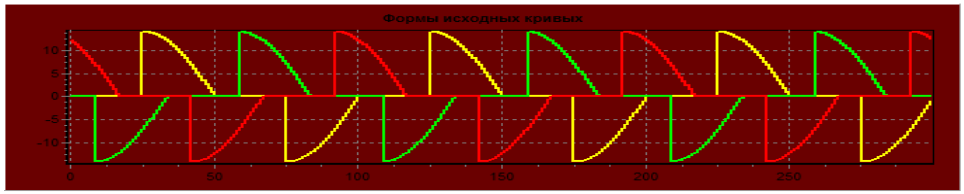
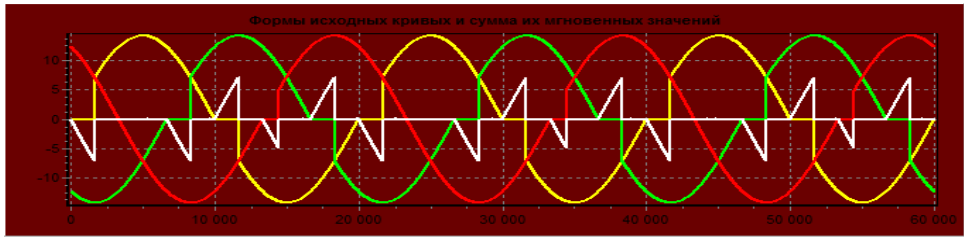
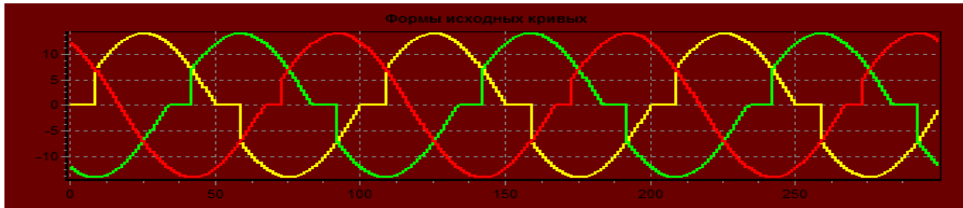


График токов, соответствующий углу открытия 30





Классификация провалов напряжения.

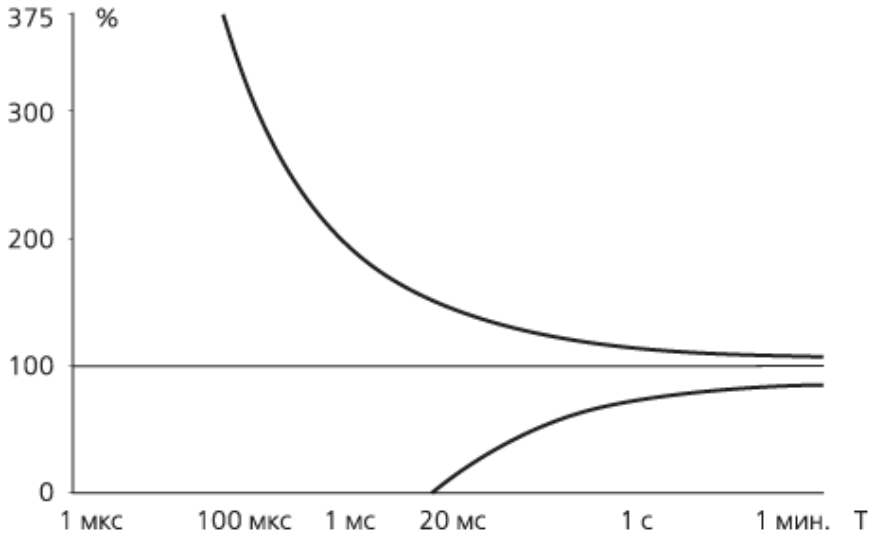


Рис.1 Кривые CBEMA

Под провалом напряжения понимается кратковременное снижение или полная потеря RMS напряжения. Параметрами провала напряжения являются его длительность и значение самой малой величины остаточного напряжения, обычно выражаемое в процентах от номинального RMS напряжения. Провал напряжения означает, что требуемая энергия не поступает к нагрузке, и последствия этого могут быть весьма серьезными в зависимости от назначения и характера такой нагрузки.

Методом проб и ошибок были созданы так называемые кривые CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers Association) (рис. 1), ныне известные как кривые ITIC (Information Technology Industry Council) (рис. 2), а ее варианты включены в стандарты IEEE 446 ANSI (рис. 3).

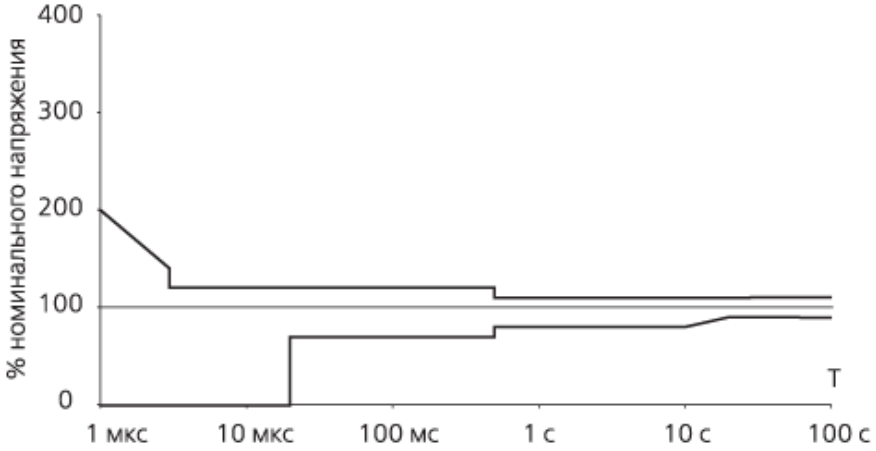


Рис.2 Кривые ITIC

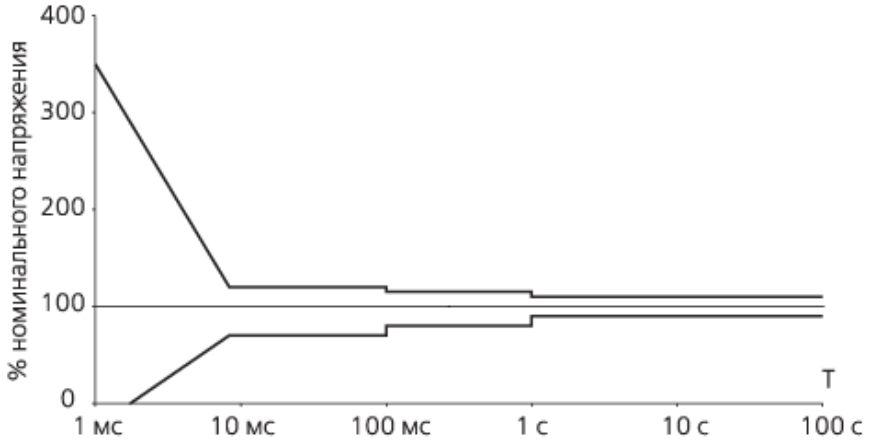


Рис.3 Кривые ANSI

Вычислитель вклада гармоник.

Исходными данными для **вычислителя** являются значения токов (А) Первой гармоники и уровни (%) 3,5,7,9 гармонических составляющих токов трех фаз.

Эти данные находятся и могут быть скопированы из раздела «Гармонический состав» таблицы ТПКЭ онлайн-мониторинга или заданы вручную с клавиатуры.

При нажатии кнопки 1 значения копируются в вычислитель из таблицы ТПКЭ ввода 1.

При нажатии кнопки 2 значения копируются в вычислитель из таблицы ТПКЭ ввода 2.

При последующем нажатии кнопки «Расчет» производится вычисление полного действующего значения тока (TRMS) в каждой фазе и нейтральном проводнике, а также отдельных составляющих тока в нейтрали от каждой из гармоник.

Коэффициент нелинейных искажений тока Ki,% (THD I) вычисляется с учетом 3,5,7,9 гармоник (в таблице ТПКЭ Ki учитывает 50 гармоник).

В соответствии с **принципом суперпозиции**, значения, представленные в вычислителе, позволяют определить дополнительные потери от гармоник тока в проводниках,

Вычислитель
вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

Ток(А) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I(A) L				
I1(A)				
I3(%)				
I5(%)				
I7(%)				
I9(%)				
IH(A)				
Ki(%)				

Начальный вид

Вычислитель
вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

Ток(А) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I(A) L				
I1(A)	10.61	10.49	10.00	
I3(%)	74	82	77	
I5(%)	50	58	51	
I7(%)	43	42	38	
I9(%)	30	28	29	
IH(A)				
Ki(%)				

Вид после нажатия кнопки «1» («2»)

Вычислитель
вклада отдельных гармоник несинусоидального тока в действующее значение токов в фазных и нейтральном проводниках трехфазной системы.

Ток(А) Грм(%)	1	Расчёт	2	
	L1	L2	L3	N(A)
I(A) L	15.3	15.8	14.4	25.8
I1(A)	10.61	10.49	10.00	0.6
I3(%)	74	82	77	24.2
I5(%)	50	58	51	0.9
I7(%)	43	42	38	0.7
I9(%)	30	28	29	9
IH(A)	11	11.8	10.4	25.8
Ki(%)	103.6	112.4	104	

Вид после нажатия кнопки «Расчёт»

В данном примере использованы значения, полученные в ходе реальных измерений освещения лекционной аудитории МЭИ (8 люстр, 408 компактных люминесцентных ламп 24 Вт каждая)

ПКЭ. Показатели качества электрической энергии. ГОСТ 13109-97.

Результаты суточных измерений и проверка ПКЭ на соответствие нормам ГОСТ 13109-97.

ТОП: ОЧАКОВО, ТП-1 Тр №1 (MG017) Дата: 17.04.2011

Табл 1. Установившееся отклонение напряжения δU_y,% (п.5.2 ГОСТ 13109-97)

	Нормативное значение (уставка) δU_y,%			Результаты измерений δU_y,%								Соответствие норме
				δU_y,%		T_1,%		T_2,%		$T_{1(\Sigma)}$,%	$T_{2(\Sigma)}$,%	
						$T_{1(+)}$	$T_{1(-)}$	$T_{2(+)}$	$T_{2(-)}$			
Фаза А	Норм. доп.	верхн.	5	95 %	1,89	0,00				0,00		ДА
		нижн.	-5	95 %	-0,01		0,00					
	Пред. доп.	наиб.	10	наиб.	2,15			0,00			0,00	
		наим.	-10	наим.	-0,18				0,00			
Фаза В	Норм. доп.	верхн.	5	95 %	2,28	0,00				0,00		ДА
		нижн.	-5	95 %	0,33		0,00					
	Пред. доп.	наиб.	10	наиб.	2,50			0,00			0,00	
		наим.	-10	наим.	0,18				0,00			
Фаза С	Норм. доп.	верхн.	5	95 %	2,19	0,00				0,00		ДА
		нижн.	-5	95 %	0,33		0,00					
	Пред. доп.	наиб.	10	наиб.	2,46			0,00			0,00	
		наим.	-10	наим.	0,13				0,00			
Скидка (надбавка), %			0%	Усреднение $T_{1(\Sigma)}$ и $T_{2(\Sigma)}$,%						0,00	0,00	

Табл 2. Количество провалов

Фаза А	Фаза В	Фаза С
0	0	0

Таблица 3. Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения Ku, % (п.5.4.1 ГОСТ 13109-97)

Нормативное значение K_U,%		Результаты измерений K_U,%												Соответствие норме
		Фаза А				Фаза В				Фаза С				
		K_U,%		T_1,%	T_2,%	K_U,%		T_1,%	T_2,%	K_U,%		T_1,%	T_2,%	
Норм.	8	95 %	1,08	0,00		95 %	0,90	0,00		95 %	1,17	0,00		ДА
Пред.	12	наиб.	1,17		0,00	наиб.	1,24		0,00	наиб.	1,29		0,00	
Скидка (надбавка) к тарифу, %			0%	Усреднение T_1 и T_2,%						0,00	0,00			

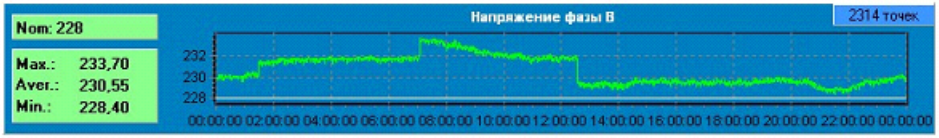
Табл 4. Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U}, %

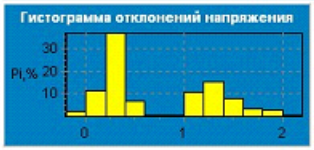
Нормативное значение K_{2U},%		Результаты измерений K_{2U},%				Соответствие норме
		K_{2U},%		T_1,%	T_2,%	
Норм. доп.	2,00	95 %	0,18	0,00		ДА
Пред. доп.	4,00	наиб.	0,35		0,00	
Скидка (надбавка) к тарифу, %	0%	(п.5.5.1 ГОСТ 13109-97)				

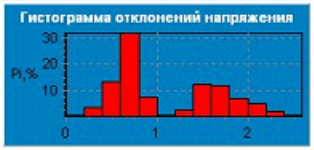
Табл 5. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}, %

Нормативное значение K_{0U},%		Результаты измерений K_{0U},%				Соответствие норме
		K_{0U},%		T_1,%	T_2,%	
Норм. доп.	2,00	95 %	0,00	0,00		ДА
Пред. доп.	4,00	наиб.	0,01		0,00	
Скидка (надбавка) к тарифу, %	0%	(п.5.5.2 ГОСТ 13109-97)				

Графики текущих параметров качества напряжения (ТПКН)

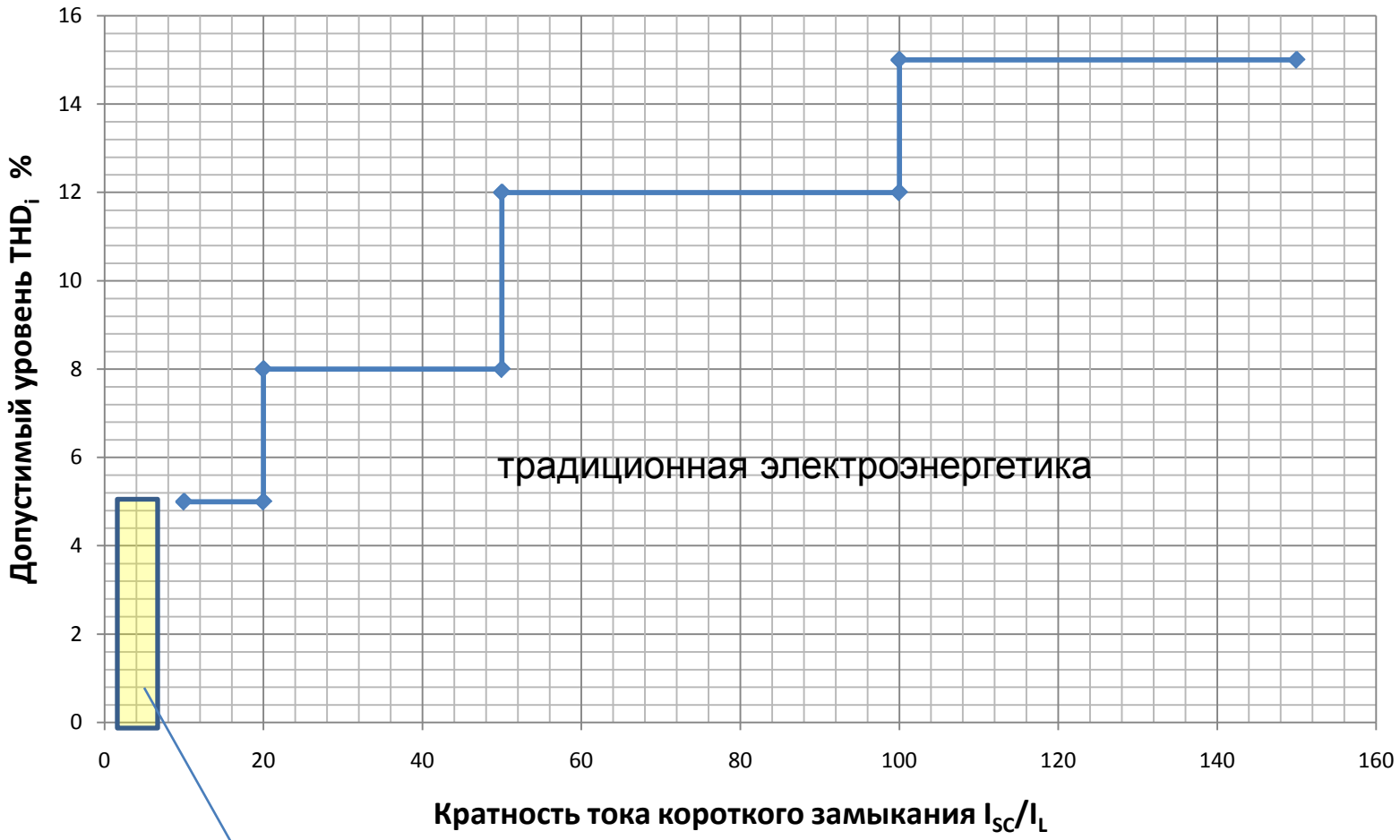




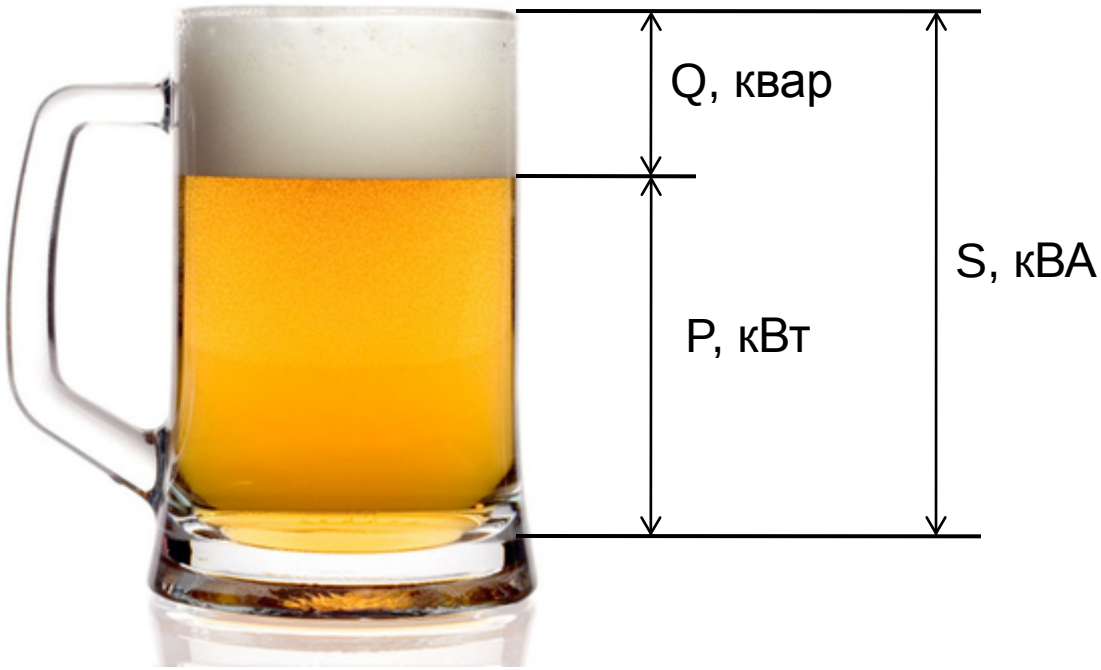


Расчет произведен 18.04.2011 14:44:21

Зависимость допустимого коэффициента искажения THDi от мощности сети В соответствии со стандартом США IEEE 519-1992.



область автономных электрогенераторов малой мощности


Q, квар
S, кВА
P, кВт