Негосударственное образовательное учреждение
высшего образования
Московский технологический институт

Факультет *Техники и современных технологий* Кафедра *Энергетики*

Уровень образования *Бакалавриат*

Направление *Электроэнергетика*

Профиль *Электроэнергетические системы и сети*

Выпускная квалификационная работа

на тему:

«Обеспечение качества электроэнергии объектов»

Выполнил: студент А.С. Зарецкий _____

(И.,О., Фамилия) *(подпись)*

Руководитель:

Заместитель декана факультета Техники и современных технологий

Е.П. Зорькина _____

(должность, ученая степень, ученое звание) *(подпись)*

(И.,О., Фамилия)

Допущен к защите

Зав. кафедрой Энергетики

к.т.н., И.С.Антаненкова _____

(ученая степень, ученое звание) *(подпись)*

(И.,О., Фамилия)

Москва
2015 г.

Оглавление

Введение …… 3

Глава 1. Теоретическая часть …….. 6

1.1 Показатели качества электроэнергии …….. 6

1.2 Определение показателей качества электроэнергии ……. 7

Глава 2. Практическая часть …… 18

2.1 Влияние качества электроэнергии на электрооборудование …. 18

2.2 Расчет качества электроэнергии …… 28

Глава 3. Экономические расчеты и методы улучшения КЭ …… 49

3.1 Расчеты потерь от снижения качества электроэнергии …… 49

3.2 Методы улучшения качества электроэнергии …… 53

Заключение …… 62

Список литературы ……... 64

Приложения ……... 68

Введение.

Электроэнергетика – важнейшая фундаментальная отрасль, обеспечивающая нормальную деятельность всех остальных отраслей экономики, функционирование социальных структур и необходимые условия жизни населения.

Ни одно предприятие, будь то маленькая фабрика или крупный промышленный комплекс, не смогут выполнять свои технологические функции и быть работоспособными без бесперебойного и качественного электроснабжения, надлежащих санитарно-гигиенических условий и обеспечения охраны труда.

Электрохозяйство предприятия – это сложный комплекс, представляющий собой единую совокупность внешних (магистральных) и внутренних (распределительных) электросетей с трансформаторами, коммутационной аппаратурой, приборами учета и контрольно-измерительными информационными системами, устройствами защиты, автоматики и телемеханики, устройствами компенсации реактивной мощности, системой защитного заземления, многообразием электроприемников и т.д.

Весь этот комплекс служит для обеспечения бесперебойного и качественного электроснабжения, надежной, экономичной и безопасной работы электрооборудования, обеспечение охраны труда и окружающей среды.

Электроэнергия – это особый вид товарной продукции. Ее производство, передача, распределение и потребление происходит практически одновременно. На всех этапах возможности ее аккумулирования отсутствуют. Невозможно выработать электроэнергии больше, чем ее требуется для электроприемников. В то же время электроприемники не могут потребить электроэнергии больше, чем ее выработает источник. Диапазон

мощности электроприемников достаточно широк – от тысячных долей до тысяч киловатт и более в единице. Ее потребителями являются различные по режиму работы и характеру потребления токоприемники, имеющие неравномерный график нагрузки, создающие «пики» и «спады» электропотребления в системе электроснабжения.

Возникший на какой-либо стадии брак электроэнергии (например, отклонение напряжения и частоты от допускаемых пределов) ликвидировать сразу невозможно, в результате чего на токоприемники поступает бракованная электроэнергия. Все это приводит к снижению экономичности и надежности работы электроустановок и вызывает нерациональный расход электроэнергии. Практически мгновенное протекание вышеназванных процессов функционирования электроэнергии и их тесная взаимосвязь и взаимозависимость создают вероятность возникновения и развития аварийныхситуаций во всех звеньях системы электроснабжения.

Дополнительным фактором является наличие электроприемников, потребляющих наряду с активной и реактивную мощность. У некоторых из них (например, сварочных трансформаторов) доля потребления реактивной мощности превосходит долю потребления активной мощности. Наличие реактивной мощности вызывает дополнительные потери электроэнергии и напряжения в сети, ухудшает пропускную способность электросетей и требует значительных затрат для ее компенсации.

Качество электроэнергии может быть охарактеризовано как любые изменения в энергоснабжении, приводящие к нарушениям нормального хода производственного процесса или к повреждению оборудования, трансформаторов, электродвигателей.

К электрическим сетям предприятий предъявляются следующие основные требования по обеспечению определённых показателей:

- качества передаваемой электроэнергии, как вида продукции;
- надёжности электроснабжения;
- безопасности электротехнического и другого персонала при

эксплуатации сетей и электроустановок;

- экономичности, то есть снижения затрат при сооружении и эксплуатации сетей и установок;

- изменения конфигурации сетей в связи с изменением технологии производства;

- снижения потерь электроэнергии в сетях;

- экологичности, то есть отсутствия вредного влияния на окружающую среду.

Основой достижения высокого качества электроэнергии, с целью улучшения условий жизни населения и повышения эффективности производства являются три составляющие: производство электроэнергии высокого качества, бесперебойная передача и распределение по надежным сетям.

Расчеты показателей качества электроэнергии производились на предприятии ООО «РЭ Монтаж», которое специализируется на изготовлении печатных плат радиомонтажа в городе Усинск, Республики Коми.

В первой главе описаны показатели качества электроэнергии, приведены их (ПКЭ) краткие характеристики, определения , формулировки и нормы ПКЭ согласно ГОСТ 30804.4.30. [15] .

Во второй главе даны сведения о влиянии ПКЭ на различные электроприемники и электрооборудование. Произведены расчеты ПКЭ. Измерения проводились в двух точках: на отходящей от комплектной трансформаторной подстанции (КТП) линии, питающей несколько потребителей и на вводе радиомонтажного цеха.

В третьей главе произведен расчет потерь от снижения качества электроэнергии. Описаны методы улучшения качества электроэнергии путем регулирования напряжения, использования фильтрующих устройств для снижения несинусоидальности, применения симметрирующих устройств.

Глава 1. Теоретическая часть.

1.1. Показатели качества электроэнергии.

Электрическая энергия есть товар. Как всякий товар она должна быть качественной. Для контроля её качества существует ГОСТ 30804.4.30.

ГОСТ 30804.4.30 вводит ряд понятий:

- точка общего присоединения это точка электрической сети общего назначения, электрически ближайшая к сетям рассматриваемого потребителя электроэнергии, к которой присоединены электрические сети других потребителей;
- потребитель электроэнергии - юридическое или физическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией;
- фликер - субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети;
- доза фликера - мера восприимчивости человека к воздействию фликера за установленный промежуток времени;
- частота повторения изменений напряжения - число одиночных изменений напряжения в единицу времени;
- провал напряжения - внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже 0,9 $U_{ном}$, за которым следует восстановление до первоначального или близкого к нему значения через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд;
- импульс напряжения - резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление до первоначального или близкого к нему уровня за промежуток времени до нескольких миллисекунд.

ГОСТ 30804.4.30 устанавливает нормы для следующих показателей качества электроэнергии:

- установившееся отклонение напряжения;
- колебания напряжения;
- несинусоидальность напряжения;
- несимметрия напряжений;
- отклонение частоты;
- провал напряжения;
- импульс напряжения;
- временное перенапряжение.

Установлены два вида норм качества электроэнергии (КЭ): нормально допустимые и предельно допустимые.

Для определения соответствия значений измеряемых показателей КЭ нормам настоящего стандарта устанавливается минимальный интервал времени измерений, равный 24 часа.

1.2 Определение показателей качества электроэнергии.

Отклонения напряжения (ОН) определяются разностью между действительным U и номинальным $U_{ном}$ значениями напряжения, В:

$$\delta U_у = U - U_{ном},$$

или, %,

$$\delta U_у = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100 . \qquad (1.1)$$

В качестве действительного напряжения U в трехфазных электрических сетях принимается напряжение прямой последовательности основной частоты. Нормально допустимые значения ОН составляют ±5 %, а предельно допустимые значения (ПДЗ) ±10 %.

Нормально допустимые и предельно допустимые значения отклонения напряжения в точке общего присоединения в сетях 0,38 кВ и выше должны

быть установлены в договорах на потребление электроэнергии между потребителем и энергоснабжающей организацией.

Допустимые пределы изменения напряжения соответствуют зонам оптимальных значений напряжения.

Колебания напряжения (КН).

К колебаниям относят быстрые изменения действующего значения напряжения, происходящие со скоростью 1-2% в секунду и более.

Колебания напряжения характеризуются амплитудой (размахом изменения напряжения) δU_t; частотой f и интервалами между следующими друг за другом изменениями напряжения $\Delta t_{i,\ i+1}$ (рис. 1.1); интенсивностью мигания ламп накаливания,

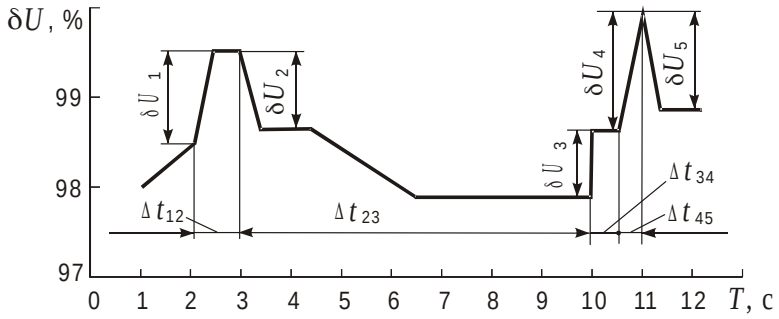


Рис. 1.1. Колебания напряжений
(пять размахов изменений напряжения за 12 с)

оказывающих раздражающее влияние на зрение человека (дозой, т.е. интенсивностью фликера или иначе фликером напряжения (ФН)).

Амплитуда колебаний определяется разностью между следующими друг за другом экстремумами огибающей действующих значений напряжения

$$\delta U_t = U_{\max} - U_{\min} \qquad (1.2)$$

или в относительных единицах

$$\delta U_t = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{ном}} . \qquad (1.3)$$

Частота (или средняя частота) изменений напряжения при числе их *m* за время *T* (1/с, 1/ч):

$$f = m/T . \qquad (1.4)$$

Значение дозы фликера (ДФ) связано с мощностью КН и определяется интегралом

$$P_t = \frac{k}{\theta} \int_{t-\theta}^{t} dt \int_{0}^{35} g^2(f)\ G(f,t)\ df , \qquad (1.5)$$

где *g(f)* - амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) зрительного анализатора; *G(f, t)* - частотный спектр процесса изменения напряжения в момент времени *t*; θ - интервал осреднения, учитывающий эффект памяти восприятия, θ = 300 мс.

Коэффициент *k* в формуле выбирается таким образом, чтобы значение P_t = 1 соответствовало порогу визуальной восприимчивости возникновения неприятных ощущений. Более высокие значения P_t будут означать, что ДФ превосходит порог его восприимчивости и может стать раздражающей или невыносимой.

Доза фликера характеризует мощность КН с учетом характерных особенностей зрительного и мозгового восприятия человеком колебаний светового потока ламп накаливания, полностью подобных КН. Лампы накаливания являются наиболее массовыми нагрузками, чувствительными к КН в большей мере, чем телевизионные приемники, компьютеры, электронные и микроэлектронные устройства управления. Доза фликера выражается в безразмерных единицах; ординаты стандартной кривой допустимых значений КН $\delta U_t(f)$ (рис. 1.2, кривая *2*) соответствуют значению ДФ, определенному в течение 10 мин с вероятностью 99 %:

$$P_{St} = 1,$$

P_{St} называется также *кратковременной дозой фликера*. В основу современных методов нормирования колебаний напряжения положен этот подход.

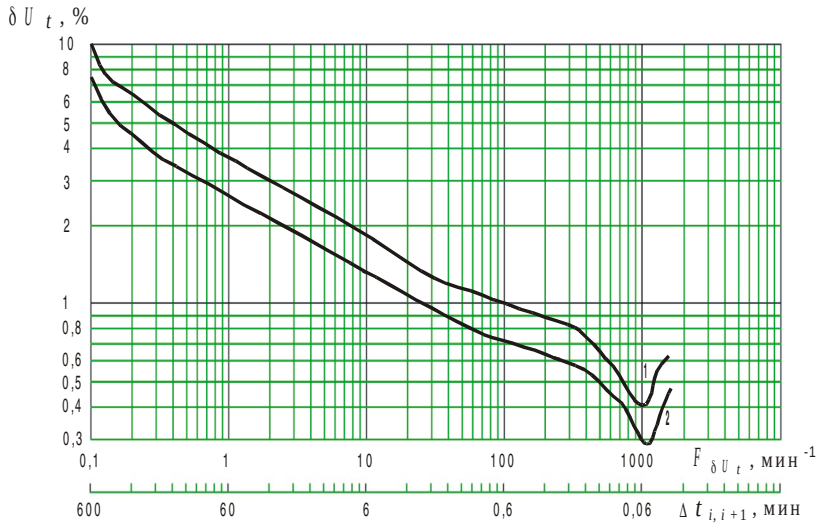


Рис. 1.2. Кривые допустимых значений размахов изменений напряжения в зависимости от частоты их повторения.

Первые нормативы исходили из нормирования значения $\delta U_f(t)$ согласно кривым допустимых значений, которые были представлены для помещений с различными требованиями к освещенности, в частности, оценивалась допустимость среднеквадратичной амплитуды колебаний при их средней частоте, либо оценки энергии колебаний:

$$D = \int_0^T \sum \delta U_f^2(t) g^2(f) dt \quad , \quad (1.6)$$

где $\delta U_f(t)$ - размах колебаний напряжения с частотой f; $g(f)$ - амплитудно-частотная характеристика зрительного анализатора.

Нормирование КН основывается на характерных особенностях зрительного восприятия светового потока ламп накаливания, вызываемых КН.

Процесс зрительного восприятия при КН моделируется на основе теории прохождения сложного сигнала через нелинейную динамическую систему. Ряд многолетних экспериментальных исследований позволил построить АЧХ зрительного анализатора (рис. 1.3), принятую Международной электротехнической комиссией (МЭК).

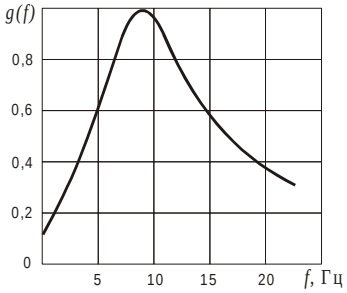


Рис. 1.3. Амплитудно-частотная характеристика зрительного анализатора.

Значение ДФ адекватно отображает реакцию человека на любой вид (форму) изменений светового потока, независимо от источника возмущения.

Важным является определение времени наблюдения. Его можно было бы выбрать по длительности рабочего цикла оборудования, создавшего КН. Однако желательно его принять одинаковым независимо от типа источника колебаний. Наиболее подходящим промежутком времени является интервал 10 мин. Доза фликера на 10-минутном интервале обозначается P_{St}.

Исследования, проведенные в рамках МЭК, показали, что для оценки P_{St} достаточно использовать пять точек (уровней):

$P_{0,1s}$ - уровень, который превышался в течение 0,1% времени наблюдения;

P_{1s} - уровень, который превышался в течение 1,0% времени наблюдения;

P_{3s} - уровень, который превышался в течение 3,0 % времени наблюдения;

P_{10s} - уровень, который превышался в течение 10% времени наблюдения.

Для расчета сглаженных уровней фликера P_{is} по упорядоченной диаграмме определяют уровни фликера P_i, соответствующие интегральным вероятностям, равным 0,1; 0,7; 1,0; 1,5; 2,2; 3.0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 17,0; 30,0; 50,0; 80,0, %:

$$P_{0,1s} = P_{0,1};$$

$$P_{1s} = \frac{P_{0,7} + P_{1,0} + P_{1,5}}{3};$$

$$P_{3s} = \frac{P_{2,2} + P_{3,0} + P_{4,0}}{3};$$

$$P_{10s} = \frac{P_{6,0} + P_{8,0} + P_{10,0} + P_{13,0} + P_{17,0}}{5};$$

$$P_{50s} = \frac{P_{30,0} + P_{50,0} + P_{80,0}}{3}.$$

Исходная точка P_{50s} соответствует уровню фликера, который превышался в течение половины времени наблюдения, и поэтому характеризует средний уровень фликера.

Коэффициенты K_i имеют следующие значения:

K_1 = 0,0314 - для 0,1 %-ного уровня;

K_2 = 0,0525 - для 1,0 %-ного уровня;

K_3 = 0,0657 - для 3,0 %-ного уровня;

K_4 = 0,28 - для 10,0 %-ного уровня;

K_5 = 0,08 - для 50,0 %-ного уровня.

Все выбранные коэффициенты положительны, что обеспечивает устойчивость полученных значений ДФ.

Для принятого периода наблюдения (10 мин) ДФ определяется следующим образом:

$$P_{St} = \sqrt{0,0314P_{0,1s} + 0,0525P_{1s} + 0,0657P_{3s} + 0,28P_{10s} + 0,08P_{50s}}.$$

Предложенный 10-минутный интервал может быть использован для оценки ДФ, вызываемого прокатными станами, насосами, бытовым оборудованием. Если общий эффект КН обусловлен рядом резкопеременных нагрузок, характеризующихся случайным характером работы (сварка, электродвигатели и др.), длительную дозу фликера P_{Lt} за промежуток времени,

равный 2 ч, определяют, исходя из совокупности 10-минутных значений:

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12}\sum_{i=1}^{12} P_{Sti}^3}. \quad (1.7)$$

Допустимость амплитуд КН прямоугольной формы (так называемая форма меандра) определяется по кривым допустимых значений амплитуд в зависимости от частоты или интервала между соседними амплитудами (рис. 1.2). Кривые представлены для обычных помещений (*1*) и помещений, оборудованных лампами накаливания, где требуется значительное зрительное напряжение (*2*).

Для сетей напряжением 0,38 кВ сумма установившихся значений ОН и амплитуды КН не должны превышать 0,1 $U_{ном}$.

При формах КН, отличных от меандра, ДФ ограничивается значениями $P_{St} \leq 1{,}38$; $P_{Lt} \leq 1{,}0$. Кратковременное значение ДФ определяется на интервале, равном 10 мин, длительное - равном 2 ч. Отдельно лимитировано значение ДФ в точках общего присоединения потребителей, располагающих лампами накаливания: $P_{St} \leq 1{,}0$; $P_{Lt} \leq 0{,}74$.

Несимметрия напряжений трехфазной сети характеризуется коэффициентом обратной последовательности напряжений K_{2U}, %, определяемым отношением напряжения обратной последовательности U_2 к номинальному напряжению:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{ном}} 100. \quad (1.8)$$

Значение K_{2U} в пределах до 2 % нормально допустимо на зажимах любого трехфазного симметричного приемника электроэнергии (ЭЭ). Предельно-допустимое значение (ПДЗ) составляет 4%.

Коэффициент нулевой последовательности напряжений, K_{0U}, определяется отношением напряжения нулевой последовательности основной частоты к номинальному фазному

напряжению $U_{\text{ном.ф}}$, %:

$$K_{0U} = \frac{U_0}{U_{\text{ном.ф}}} 100 \quad . \qquad (1.9)$$

В распределительных сетях с однофазными осветительными и бытовыми приемниками ЭЭ нормально допустимое значение K_{0U} соответствует 2 %, а ПДЗ - 4 %.

Несинусоидальность напряжения характеризуется значением коэффициента искажения кривой напряжения K_U, %, который определяется отношением действующего значения ВГ напряжения U_ν к напряжению основной частоты U_1 или номинальному напряжению:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{\infty} U_\nu^2}}{U_1} \cdot 100 \approx \frac{\sqrt{\sum_{\nu=2}^{n} U_\nu^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 \quad , \qquad (1.10)$$

где U_ν - действующее значение напряжения ν-й гармоники, В (кВ); n - номер последней из учитываемых гармоник.

Допустимые значения K_U приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Коэффициент несинусоидальности напряжения, %

Напряжение $U_{\text{ном}}$,, кВ	Нормально допустимое значение	Предельно допустимое значение
0,38	8,0	12,0
6-20	5,0	8,0
35	4,0	6,0
110-330	2,0	3,0

Кроме коэффициента несинусоидальности нормируется также значения коэффициента ν-й гармонической составляющей напряжения, %

$$K_{U(\nu)} = \frac{U_\nu}{U_1} \cdot 100$$

.

Значения $K_{U(\nu)}$ представлены в соответствующей таблице стандарта.

Предельно допустимое значение коэффициента ν-й высшей гармоники (ВГ) принимается в 1,5 раза большим нормально допустимого.

Отклонение частоты переменного тока в электрических сетях характеризуется показателем отклонения частоты

$$\Delta f = f - f_{\text{ном}},$$

где f и $f_{\text{ном}}$ - соответственно текущее и номинальное значения частоты.

ГОСТ устанавливает следующие нормы: нормально допустимое значение $\Delta f = \pm 0{,}2$ Гц, предельно допустимое значение $\Delta f = \pm 0{,}4$ Гц. Для определения отклонения частоты Δf вычисляется среднее значение частоты на интервале времени $\Delta t = 20$ с

$$f_c = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f_i, \quad (1.11)$$

где $n \geq 15$ - число измерений частоты на интервале $\Delta t = 20$ с.

Отклонение частоты определяется по выражению

$$\Delta f = f_c - f_{\text{ном}}.$$

Провал напряжения характеризуется длительностью провала. В электрических сетях напряжением до 20 кВ включительно предельно допустимое значение длительности провала составляет 30 с.

При определении длительности провала напряжения фиксируется начальный момент времени $t_{\text{н}}$ резкого снижения огибающей среднеквадратических значений напряжения (длительностью менее 10 мс), определенных на каждом полупериоде основной частоты, ниже уровня $0{,}9U_{\text{ном}}$ (рис. 1.4).

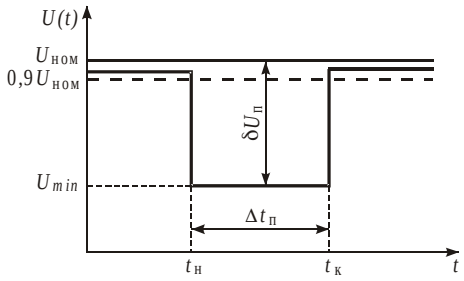


Рис. 1.4. Провал напряжения

В момент восстановления напряжения до значения $U \geq 0{,}9U_{ном}$ фиксируется конечный момент времени $t_к$ провала напряжения. Длительность провала напряжения определяется по выражению

$$\Delta t_п = t_к - t_н .$$

Глубина провала напряжения $\delta U_п$, %, (рис. 1.5) определяется по выражению

$$\delta U_п = \frac{U_{ном} - U_{min}}{U_{ном}} 100 .$$

Импульс напряжения - это резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого значения за промежуток времени до нескольких миллисекунд. Значение импульсного напряжения $U_{имп}$ (рис. 1.5) определяется максимальным значением мгновенного напряжения при резком его изменении (длительность фронта не более 5 мс).

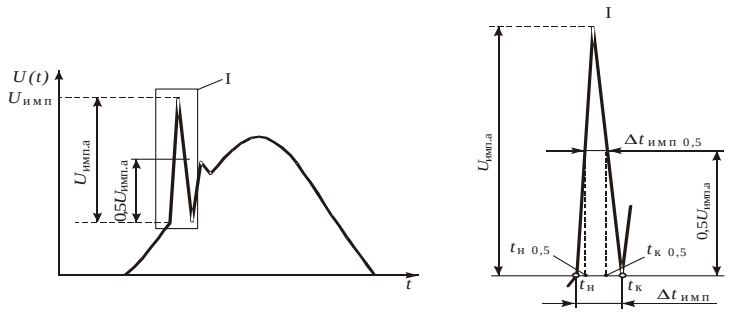


Рис. 1.5. Импульс напряжения

Для определения длительности импульса напряжения по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{\text{имп}0,5}$ из кривой напряжения выделяют импульс напряжения с амплитудой $U_{\text{имп.а}}$ (рис. 1.6). Начальный $t_{\text{н}0,5}$ и конечный $t_{\text{к}0,5}$ моменты времени соответствуют пересечению кривой импульса напряжения горизонтальной линией, проведенной на половине амплитуды импульса $0,5U_{\text{имп.а}}$. Длительность $\Delta t_{\text{имп}0,5}$ определяется по выражению

$$\Delta t_{\text{имп}0,5} = t_{\text{к}0,5} - t_{\text{н}0,5}.$$

Временное перенапряжение характеризуется коэффициентом временного перенапряжения $K_{\text{пер}U}$

$$K_{\text{пер}U} = \frac{U_{\text{а.max}}}{\sqrt{2}U_{\text{ном}}}, \quad (1.12)$$

где $U_{\text{а.max}}$ - максимальное амплитудное значение напряжения, превышающее уровень $1,1\sqrt{2}U_{\text{ном}}$.

Амплитудное значение напряжения измеряют на каждом полупериоде основной частоты при резком (с длительностью фронта до 5 мс) превышении уровня напряжения $1,1\sqrt{2}U_{\text{ном}}$. Для исключения влияния коммутационных импульсов на значение $K_{\text{пер}U}$ определение $U_{\text{а.max}}$ осуществляется через 0,04 с от момента превышения напряжением уровня $1,1\sqrt{2}U_{\text{ном}}$.

Длительность перенапряжения определяют по выражению

$$\Delta t_{\text{пер}U} = t_{\text{к.пер}} - t_{\text{н.пер}},$$

где $t_{\text{н.пер}}$ и $t_{\text{к.пер}}$ - соответственно время превышения и время спада напряжения относительно уровня $1,1U_{\text{ном}}$.

Предельно допустимое значение длительности провала напряжения в СЭС напряжением до 20 кВ составляет 30 с. Предельно допустимые значения для импульсов напряжения и временных перенапряжений не установлены.

Глава 2. Практическая часть.

2.1. Влияние качества электроэнергии на электрооборудование.

Отклонения напряжения от номинальных значений, колебания напряжения и частоты, искажение симметрии и несинусоидальности напряжений приводят к ряду нежелательных явлений. В частности:

- увеличиваются потери электроэнергии в сетях и в электрооборудовании;
- увеличение потерь электроэнергии в оборудовании вызывает дополнительный его нагрев, что приводит к сокращению сроков службы оборудования или необходимости увеличения его мощности;
- увеличиваются погрешности приборов учета электроэнергии;
- при работе электроприемников (ЭП) с пониженным качеством электроэнергии (КЭ) наблюдается снижение их производительности (недоотпуск продукции), снижение ее качества, а нередко и брак.

Параметры электроэнергии воздействуют на технико-экономические показатели работы сетей и электрооборудования совместно с другими факторами, и выделить их последствия другим путем, кроме расчетного, практически невозможно.

Видимые последствия низкого КЭ – выход из строя оборудования, брак продукции – часто неправомерно относят к качеству оборудования. Так, повышенный выход из строя ламп накаливания практически повсеместно вызывает нарекания в адрес их изготовителей, хотя измерения напряжения в вечерние часы в ряде городских сетей выявили значительное его превышение по сравнению с номинальными значениями. Отсюда напрашивается вывод, что необходимо проводить контроль параметров электроэнергии и анализ степени возможного их воздействия на режимы работы оборудования.

Влияние отклонения частоты.

Различают электромагнитное и технологическое влияние отклонения частоты на работу электроприемников. Электромагнитная составляющая обусловливается увеличением потерь активной мощности и ростом потребления активной и реактивной мощностей. Можно считать, что снижение частоты на 1 % увеличивает потери в сетях на 2%.

Технологическая составляющая вызвана в основном недовыпуском промышленными предприятиями продукции. Согласно экспертным оценкам, значение технологического ущерба на порядок выше электромагнитного.

Анализ работы предприятий с непрерывным технологическим процессом показал, что большинство технологических линий оборудовано механизмами с постоянным и вентиляторным моментами сопротивлений, а их приводами служат асинхронные двигатели. Частота вращения двигателей пропорциональна изменению частоты сети, а производительность технологических линий зависит от частоты вращения двигателя. При значительном повышении частоты в энергосистеме, что может быть, например, в случае уменьшения (сброса) нагрузки, возможно повреждение оборудования.

Кроме того, пониженная частота в электрической сети влияет на срок службы оборудования, содержащего элементы со сталью (электродвигатели, трансформаторы), за счет увеличения тока намагничивания в таких аппаратах и дополнительного нагрева стальных элементов.

Влияние изменения нагрузки потребителей при изменении частоты можно проанализировать с помощью статических характеристик обобщенного узла нагрузки от частоты, приведенных на рис.2.1.

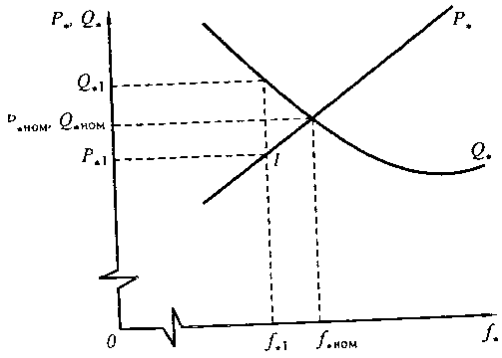


Рис. 2.1. Статические характеристики по частоте обобщенного узла нагрузки.

Как видно из рис. 2.1, снижение частоты до значения f_1 приводит к увеличению потребляемой нагрузкой реактивной мощности Q, до значения Q_{*1}, что влечет за собой понижение напряжения в узле присоединения нагрузки. При этом потребляемая активная мощность снижается до P_{*1}. Обычно увеличение потребляемой реактивной мощности выше, чем снижение активной мощности, что приводит к увеличению перетоков полной мощности по элементам сети и, следовательно, к увеличению потерь мощности и энергии в сети.

Изменение нагрузки потребителей в сети может быть различным по характеру. При малых изменениях нагрузки в системе требуется небольшой резерв мощности. В этих случаях автоматическое регулирование частоты в системе может производится на одной, так называемой частотно-регулирующей станции. При больших изменениях нагрузки увеличение мощности должно быть предусмотрено на значительном числе станций. В связи с этим в соответствии с предполагаемыми изменениями нагрузок потребителей заранее составляются графики соответствующего изменения нагрузки электростанций. При этом предусматривается экономическое распределение нагрузок между станциями.

В послеаварийных режимах, например при отключении мощных линий электропередач, система может оказаться разделенной на отдельные

несинхронно работающие части. В некоторых из них мощность электростанций может оказаться недостаточной для поддержания частоты и будут наблюдаться большие изменения частоты. Для предотвращения общесистемных аварий в подобных случаях предусматривают специальные автоматические устройства частотной разгрузки (АЧР), отключающие в таких случаях часть менее ответственных потребителей. После ликвидации дефицита мощности, например после включения резервных источников, специальные устройства частотного автоматического повторного включения (АПВЧ) включают отключенных потребителей, и нормальная работа системы восстанавливается.

Влияние отклонения напряжения.

Каждый приемник электроэнергии спроектирован для работы при номинальном напряжении и должен обеспечивать нормальное функционирование при отклонениях напряжения от номинального на заданную ГОСТ величину. При изменении напряжения в пределах этого рабочего диапазона могут изменяться значения выходного параметра приемника электроэнергии, например температура в электротермической установке, освещенность у электроосветительной установки, полезная мощность на валу электродвигателя и т.д.

Одновременно с изменением выходных параметров, а в ряде случае даже когда выходные параметры не изменяются, изменение напряжения приводит к изменению потребляемой приемником электроэнергии мощности.

Вентильные преобразователи обычно имеют систему автоматического регулирования постоянного тока путем фазового управления. При повышении напряжения в сети угол регулирования автоматически увеличивается, что приводит к увеличению потребления мощности преобразователем. Регулирующие эффекты нагрузки для ртутно-выпрямительного агрегата с электролизером для активной мощности 3,5; для реактивной мощности 7,6.

Установки электрического освещения с лампами накаливания, люминесцентными, дуговыми, ртутными, натриевыми, ксеноновыми лампами

применяются на всех предприятиях для внутреннего и наружного освещения. В производственных цехах в настоящее время применяются преимущественно дуговые ртутные лампы высокого давления типов ДРЛ и ДРИ 220 В. Аварийное освещение, составляющее 10% от общего, выполняется лампами накаливания. Коэффициент мощности светильников с индивидуальными конденсаторами 0,9...0,95, а без них - 0,6. Лишь лампы накаливания имеют коэффициент мощности 1,0. В цехах, лабораториях, административных помещениях, требующих повышенной освещенности и правильной цветопередачи, устанавливают люминесцентные лампы. Для наружного освещения рекомендуются лампы типа ДРЛ. Регулирующий эффект у ламп накаливания в области номинального напряжения равен 1,6.

Необходимо отметить, что при изменении напряжения изменяется освещенность, световой поток и срок службы лампы. На каждый процент понижения напряжения световой поток уменьшается приблизительно на 3,6 %. Срок службы увеличивается приблизительно на 1,3%.

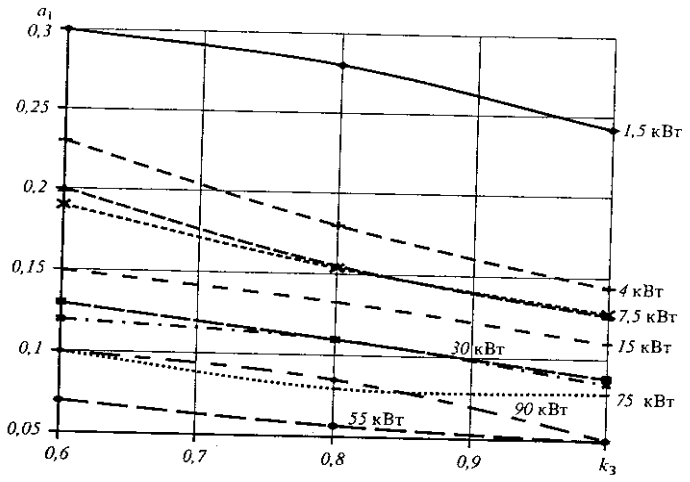
Люминесцентные лампы также изменяют свое потребление с изменением напряжения.

Наибольшее влияние на характер статических характеристик асинхронного двигателя оказывают номинальная мощность двигателя, его коэффициент загрузки и коэффициент, учитывающий изменение момента сопротивления производственного механизма при изменении скорости вращения ротора двигателя.

На рис. 2.2 и 2.3 показаны зависимости регулирующих эффектов нагрузки АД по активной a_1 и по реактивной $б_{1л}$ мощности от его коэффициента нагрузки k_3 при коэффициенте сопротивления механизма a = 0.

Изменение напряжения на зажимах двигателя на 1 % от номинального приводит к изменению в ту же сторону потребляемой активной мощности на 0,05...0,35%, а реактивной мощности - на 0,8...3,2% при изменении k_3 от 1 до 0.

Рис. *2.2.* Регулирующие эффекты нагрузки АД по активной мощности



при коэффициенте сопротивления механизма α = О

Таким образом, снижение напряжения, подводимого к АД, в допустимых пределах может привести к снижению потребления мощности. При этом эффективность снижения потребления реактивной мощности увеличивается с уменьшением номинальной мощности и коэффициента загрузки двигателя.

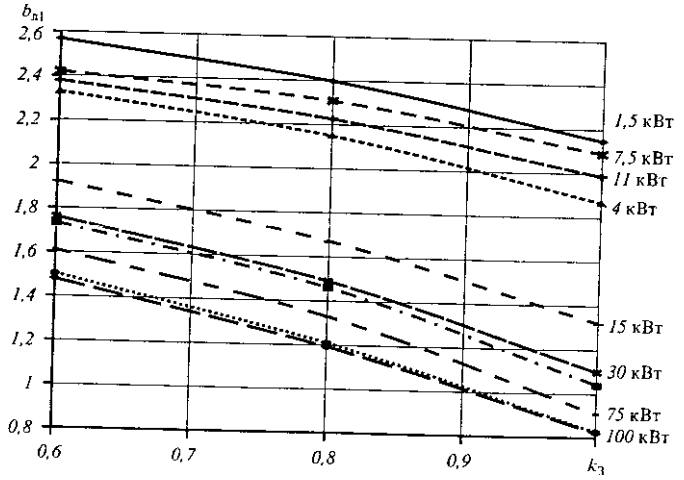


Рис. 2.3. Регулирующие эффекты нагрузки АД по реактивной мощности при коэффициенте сопротивления механизма α= 0.

Влияние колебаний напряжения .

ГОСТ определяет воздействие колебаний напряжения на осветительные установки, влияющие на зрение человека. Мигание ламп освещения (фликер - эффект) вызывает неприятный психологический эффект, утомление зрения и организма в целом. Степень раздражения органов зрения зависит от величины и частоты мигания. Наиболее сильное воздействие на глаз человека оказывают мигания света с частотой 3... 10 Гц, поэтому допустимые колебания напряжения в этом диапазоне минимальны - менее 0,5%. Причем степень воздействия зависит от типа источника света. Например, при одинаковых колебаниях напряжения лампы накаливания оказывают значительно большее воздействие, чем газоразрядные лампы.

Колебания напряжения более 10% могут привести к погасанию газоразрядных ламп. Зажигание их в зависимости от типа ламп происходит через несколько секунд или даже минут. При глубоких колебаниях напряжения (более 15%) могут отпасть контакты магнитных пускателей, вызвав нарушения технологии производства.

Колебания напряжения с размахом 10...15% могут привести к выходу из строя конденсаторов, а также вентильных выпрямительных агрегатов.

При колебаниях напряжения возникают качания турбогенераторов. Для самих турбогенераторов такие качания не опасны, однако, передаваясь на лопатки турбины, они могут привести в действие регуляторы скорости.

Заметное влияние оказывают колебания напряжения на асинхронные двигатели небольшой мощности. Колебания недопустимы для текстильного, бумагоделательного и других производств, предъявляющих особенно высокие требования к точности поддержания частоты вращения приводов, в качестве которых используют асинхронные двигатели.

Колебания напряжения отрицательно влияют на работу радиоприборов, нарушая их нормальную работу и снижая срок службы. Помехи в телевизионных изображениях проявляются при частотах 0,5...3 Гц и заметны, главным образом, при неподвижных изображениях.

К электроприемникам, чувствительным к колебаниям напряжения,

относятся также вычислительные машины, рентгеновские установки и т.д. При работе ЭВМ в режиме управления иногда оказывается достаточным одного-двух колебаний с размахом 1... 1,5 %, чтобы возник сбой в какой-либо ячейке машины и, как следствие, возникли ошибки в командах управления или при производстве расчетов.

Влияние несимметрии напряжения .

На рис. 2.4 приведены векторные диаграммы прямой, обратной последовательностей и результирующих напряжений. Как видно из векторной диаграммы результирующего напряжения, при появлении в трехфазной сети напряжения обратной последовательности ухудшается режим напряжений как трехфазных, так и однофазных электроприемников.

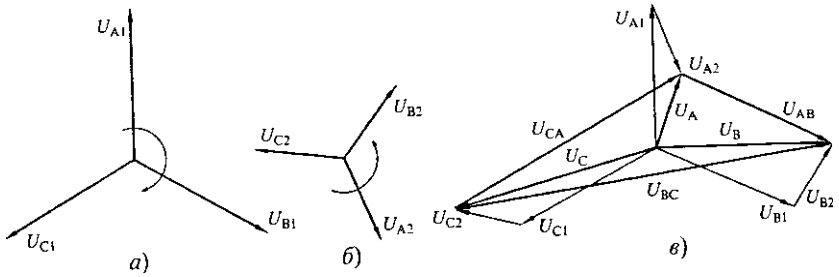


Рис. 2.4. Влияние появления напряжения обратной последовательности на величину результирующих напряжений сети:

а - векторная диаграмма напряжений прямой последовательности;

б - векторная диаграмма напряжений обратной последовательности;

в - векторная диаграмма результирующих напряжений.

Особенно неблагоприятно влияет напряжение обратной последовательности на работу вращающихся электрических машин.

В асинхронных двигателях несимметрия напряжения вызывает дополнительный нагрев, а также противодействующий вращающий момент, Поскольку сопротивление обратной последовательности асинхронных двигателей в 5...7 раз меньше сопротивления прямой последовательности, то при наличии даже небольшой составляющей обратной последовательности

возникает значительный ток. Этот ток накладывается на ток прямой последовательности и вызывает перегрев двигателя, в результате чего уменьшается его располагаемая мощность. Быстро стареет изоляция и т.д. Так, срок службы полностью загруженного двигателя, работающего при коэффициенте несимметрии 4%, сокращается в два раза.

При появлении в трехфазной сети напряжения нулевой последовательности ухудшаются режимы напряжений для однофазных приемников. Токи нулевой последовательности постоянно протекают через заземлители и значительно высушивают грунт, увеличивая сопротивление заземляющих устройств.

Несимметрия напряжения значительно ухудшает режимы работы многофазных вентильных выпрямителей. В результате различия напряжения по фазам значительно увеличивается пульсация выпрямленного напряжения. Значительное отрицательное влияние несимметрия напряжения может оказывать на систему импульсно-фазового управления тиристорных преобразователей.

Несимметрия напряжения значительно влияет и на однофазные потребители. Если фазные напряжения неодинаковы, то, например, лампы накаливания, подключенные к фазе с более высоким напряжением, имеют больший световой поток, но значительно меньший срок службы по сравнению с лампами, подключенными к фазе с меньшим напряжением. Несимметрия усложняет работу релейной защиты, ведет к ошибкам при работе счетчиков электроэнергии и т.д.

*Влияние несинусоидальности напряжения***.**

Для оценки влияния напряжения высших гармоник на напряжение в сети рассмотрим, как меняется мгновенное (или действующее) значение напряжения на зажимах электроприемника в этом случае (рис. 2.5).

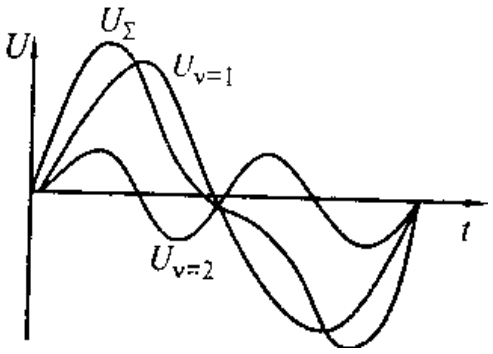


Рис. 2.5. Влияние напряжения высшей гармоники на результирующее напряжение сети

Допустим, что в сети появляется напряжение высшей гармоники с порядковым номером 2 (вторая гармоника), очевидно, что возрастает амплитудное значение напряжения, а также его действующее значение.

Воздействие тока второй гармоники (f= 100 Гц) аналогично воздействию об ратной последовательности, тока третьей гармоники (F= 150 Гц) - появлению нулевой последовательности. При появлении тока гармоники с большим порядковым номером проявляется поверхностный эффект (вытеснение тока к поверхности проводника), что приводит к дополнительным потерям тепла, нагреву изоляции электрооборудования и снижению срока его службы.

В целом несинусоидальные режимы обладают теми же недостатками, что и несимметричные. Однако несинусоидальные токи приводят к большему дополнительному нагреву вращающихся машин, а также к большему дополнительному нагреву и увеличению диэлектрических потерь в конденсаторах, кабелях.

Проникновение высших гармоник в сеть приводит к нарушениям работы устройств телемеханики, автоматики, релейной защиты. В сети возможно возникновение резонансных режимов на высших гармониках, при этом резко возрастают токи и напряжения на отдельных участках сети.

2.2 Расчет качества электроэнергии.

Для определения качества электрической энергии на предприятии «ООО «РЭ Монтаж» в цехах радиомонтажа применялся измеритель качества электроэнергии PMAC770. Область применения прибора и его характеристики приведены в *Приложении 1*.

Измерения проводились в двух точках: на отходящей от комплектной трансформаторной подстанции (КТП) линии, питающей несколько потребителей и на вводе радиомонтажного цеха (рис. 2.6).

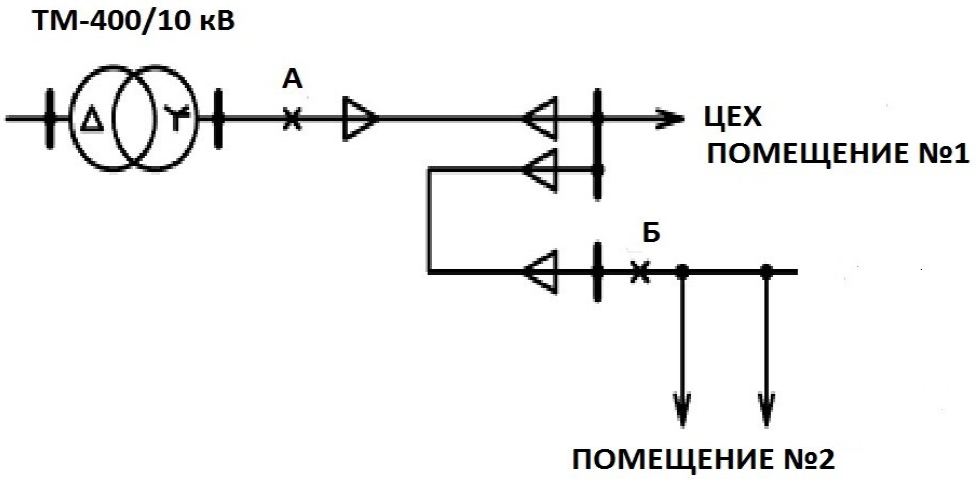


Рис. 2.6 - Место проведения измерений

Отклонение напряжения.

Исследование состояния качества электроэнергии проведено при помощи как аналитических методов, используемых для построения графиков и гистограмм, так и готовых табличных данных, рассчитанных прибором PMAC770.

Для того чтобы получить гистограмму распределения, определим количество интервалов разбиения по формуле:

$$k = 1 + \log_2 n, \quad (2.1)$$

где n - число измерений.

Для суточного графика с интервалом измерения $n = 24 \cdot 60 = 1440$, тогда

$$k = 1 + \log_2 1440 = 12.$$

В рекомендациях [14] также указано, что "оптимальное" значение k зависит не только от объема выборки, но и от вида закона распределения и от способа группирования.

При асимптотически оптимальном группировании относительно скалярного параметра при 10, 11 интервалах в группированной выборке сохраняется около 98% информации, при оптимальном группировании относительно вектора параметров (два параметра) для 15 интервалов - около 95%. Дальнейшее увеличение числа интервалов существенного значения не имеет.

Окончательно принимаем $k = 15$.

График и гистограмма отклонения напряжения в точке Б изображены на рисунках 2.7 и 2.8.

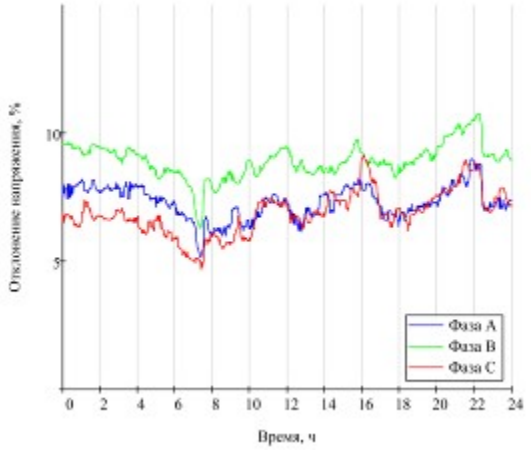


Рис. 2.7 - Отклонение напряжения в фазах в т. Б

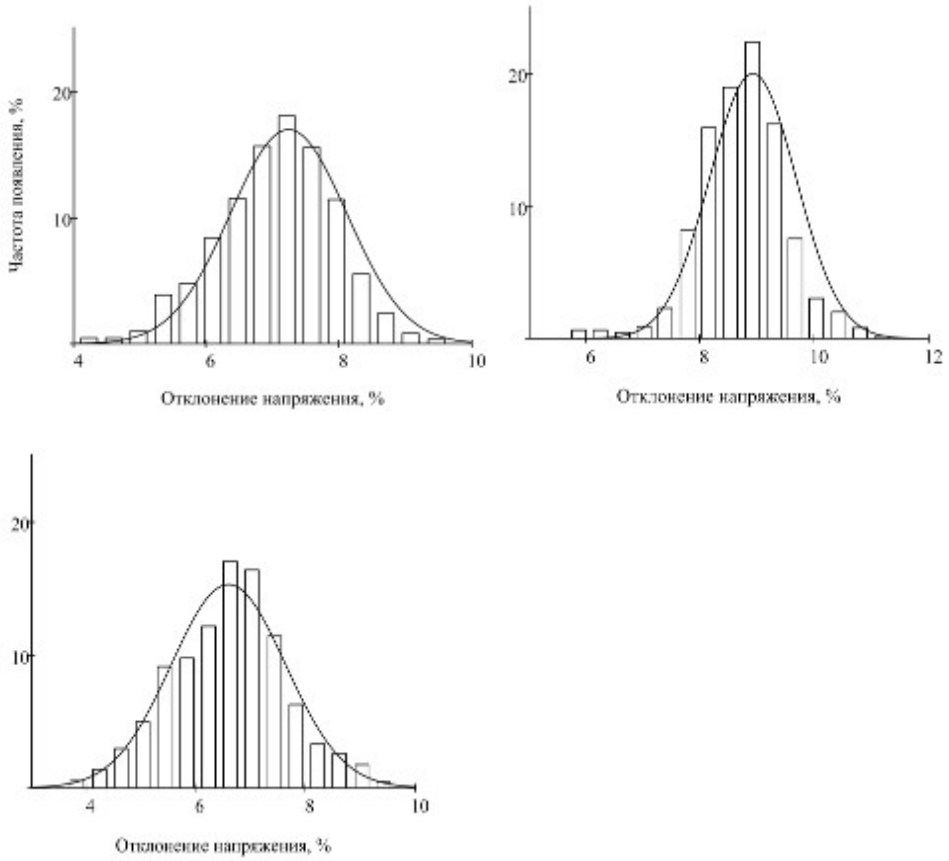


Рис. 2.8 - Гистограммы отклонения напряжения в т. Б

Характеристика отклонения напряжения в т.Б приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Напряжение	Характеристика, %											
	$\delta U_{\text{у нм}}^{\text{II}}$	$\delta U_{\text{у н}}^{\text{II}}$	$\delta U_{\text{у в}}^{\text{II}}$	$\delta U_{\text{у в}}^{\text{II}}$	T_1^{II}	T_2^{II}	$\delta U_{\text{у нм}}^{\text{I}}$	$\delta U_{\text{у н}}^{\text{I}}$	$\delta U_{\text{у в}}^{\text{I}}$	$\delta U_{\text{у в}}^{\text{I}}$	T_1^{I}	T_2^{I}
$U_{\text{А}}$	3,7	3,7	8,5	9,9	99,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$U_{\text{В}}$	5,6	5,6	10,2	11,6	100,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$U_{\text{С}}$	3,6	3,6	8,5	9,7	94,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Норматив	-10	-5,	5,0	10,	5,0	0,0	-10	-5,	5,0	10,	5,0	0,0

ное значение $U_{ф}$	,0	0		0			,0	0		0		
$U_{АВ}$	4,8	4,8	8,7	9,3	99,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$U_{ВС}$	5,0	5,0	8,9	9,5	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$U_{СА}$	4,9	4,9	8,9	9,6	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
U_{1}	4,9	4,9	8,8	9,5	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Нормативное значение $U_{мф}$	-10,0	-5,0	5,0	10,0	5,0	0,0	-10,0	-5,0	5,0	10,0	5,0	0,0

Из результатов измерений на вводе в помещении №1 (в точке Б) следует, что бóльшую часть времени наблюдения, отклонение фазных и линейных напряжений было больше нормально допустимого, а отклонение напряжения фазы В больше предельно допустимого.

График и гистограмма отклонения напряжения в точке А изображены на рисунках 2.9 и 2.10.

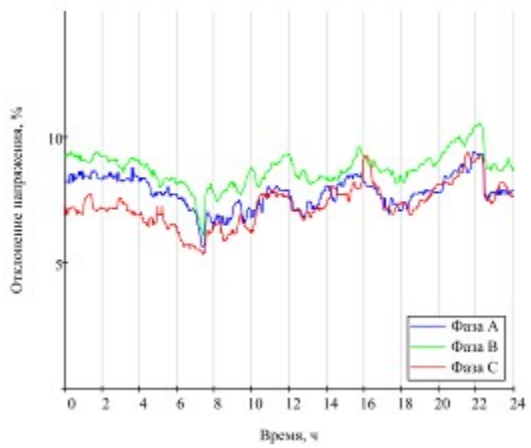


Рис. 2.9 - Отклонение напряжения в фазах в т. А



Рис. 2.10 - Гистограммы отклонения напряжения в т. А

Характеристика отклонения напряжения в т.А приведена в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Напряжение	Характеристика, %											
	$\delta U^{II}_{у\,нм}$	$\delta U^{II}_{у\,н}$	$\delta U^{II}_{у\,в}$	$\delta U^{II}_{у\,нб}$	T_1^{II}	T_2^{II}	$\delta U^{I}_{у\,нм}$	$\delta U^{I}_{у\,н}$	$\delta U^{I}_{у\,в}$	$\delta U^{I}_{у\,нб}$	T_1^{I}	T_2^{I}
U_A	4,58	4,58	9,00	10,30	99,93	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$U_в$	5,54	5,54	9,90	11,31	100,0	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_C	4,47	4,47	8,80	9,87	99,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Нормативное	-10	-5,	5,0	10,	5,0	0,0	-10	-5,	5,0	10,	5,0	0,0

значение $U_{ф}$	,00	00	0	00	0	0	,00	00	0	00	0	0
U_{AB}	5,38	5,38	9,10	9,71	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_{BC}	5,48	5,48	9,30	9,94	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_{CA}	5,07	5,07	8,90	9,51	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U_{1}	5,31	5,31	9,10	9,66	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Нормативное значение $U_{мф}$	-10,00	-5,00	5,00	10,00	5,00	0,00	-10,00	-5,00	5,00	10,00	5,00	0,00

Из результатов измерений на шинах НН трансформатора (в точке А) следует, что бóльшую часть времени наблюдения, отклонение фазных и линейных напряжений было больше нормально допустимого, а отклонение напряжения фаз А и В больше предельно допустимого.

Предположим, что отклонение напряжения является случайной величиной и изменяется по нормальному закону распределения, тогда получим средние значения отклонения для точки А

$$\Delta U_{\text{A ср}} = +7{,}8\ \%,$$
$$\Delta U_{\text{B ср}} = +8{,}9\ \%,$$
$$\Delta U_{\text{C ср}} = +7{,}3\ \%$$

и среднеквадратичные отклонения

$$\delta(\Delta U_{\text{A}}) = 0{,}8\ \%,$$
$$\delta(\Delta U_{\text{B}}) = 0{,}74\ \%,$$
$$\delta(\Delta U_{\text{C}}) = 0{,}9\ \%.$$

Средние значения отклонения для точки Б

$$\Delta U_{\text{A ср}} = +7{,}2\ \%,$$
$$\Delta U_{\text{B ср}} = +8{,}9\ \%,$$
$$\Delta U_{\text{C ср}} = +6{,}8\ \%$$

и среднеквадратичные отклонения

$$\delta(\Delta U_{\text{A}}) = 0{,}88\ \%,$$
$$\delta(\Delta U_{\text{B}}) = 0{,}76\ \%,$$
$$\delta(\Delta U_{\text{C}}) = 1{,}04\ \%.$$

Из результатов расчета следует, что среднее отклонение напряжения в точке Б по сравнению с точкой А уменьшается, но незначительно. При этом разброс (среднеквадратическое отклонение) в точке Б немного выше.

Обратимся теперь к критерию согласия χ^2 Пирсона, при помощи которого проверим, удовлетворяет ли рассматриваемая величина ΔU нормальному закону распределения.

Методика проверки и пример расчета критерия согласия Пирсона приведены в *Приложении 2*.

Для отклонений напряжений в точке А получаем

$$\chi^2_{\text{A}} = 17{,}6,$$
$$\chi^2_{\text{B}} = 19{,}8,$$
$$\chi^2_{\text{C}} = 11{,}2.$$

Для отклонений напряжений в точке Б получаем

$$\chi^2_{\text{A}} = 18{,}3,$$
$$\chi^2_{\text{B}} = 20{,}6,$$
$$\chi^2_{\text{C}} = 12{,}1.$$

Для всех фаз выполняется условие

$$\chi^2_{\text{кр}} > \chi^2, \quad (2.2)$$

следовательно гипотеза о нормальной распределенности отклонения напряжений не противоречит материалу наблюдений.

Несинусоидальность напряжения.

График и гистограмма коэффициентов несинусоидальности

напряжения в точке А изображены на рисунках 2.11 - 2.14.

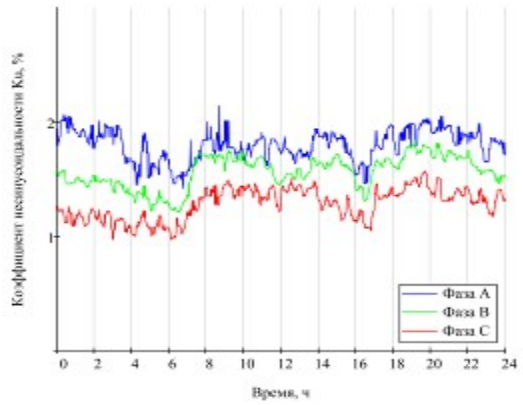


Рис. 2.11 Коэффициенты несинусоидальности напряжения в т. А

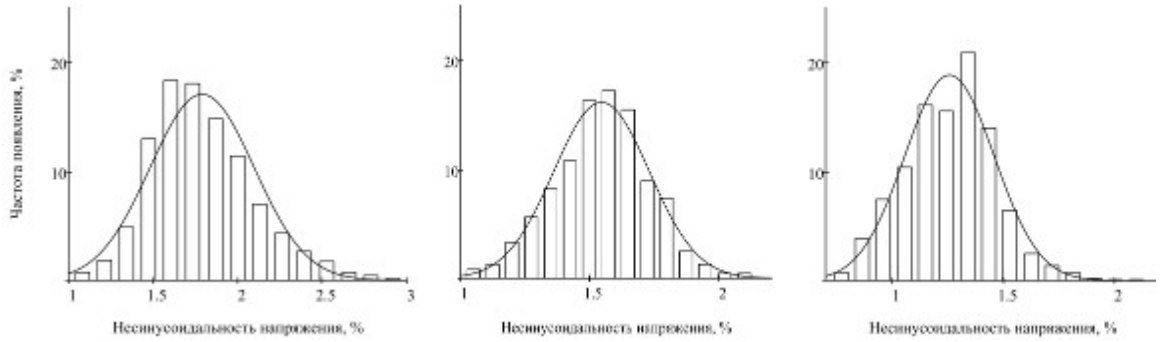


Рис. 2.12 - Гистограммы несинусоидальности напряжения в точке А

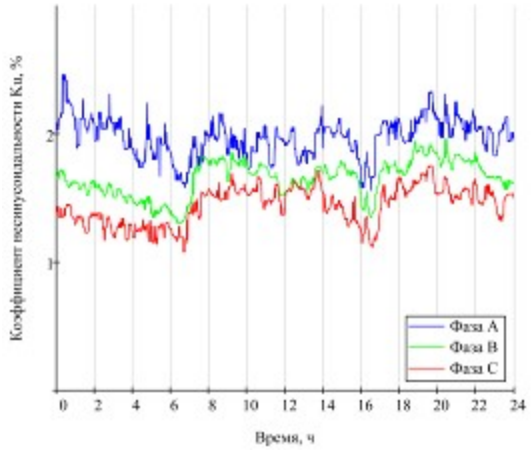


Рис.2.13 - Коэффициенты несинусоидальности напряжения в точке Б

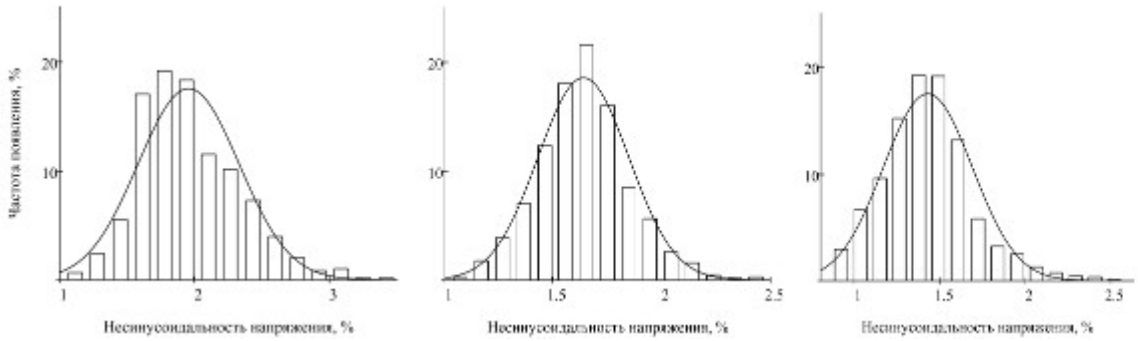


Рис. 2.14 - Гистограммы несинусоидальности напряжения в точке Б

Средние значения коэффициента несинусоидальности напряжения для точки А

$K_{UA} = 1{,}86\ \%,$

$K_{UB} = 1{,}58\ \%,$

$K_{UC} = 1{,}3\ \%$

и среднеквадратичные отклонения

$\delta K_{UA} = 0{,}31\ \%,$

$\delta K_{UB} = 0{,}19\ \%,$

$\delta K_{UC} = 0{,}2\ \%.$

Средние значения отклонения для точки Б

$K_{UA} = 2{,}04\ \%,$

$K_{UB} = 1{,}69\ \%,$

$K_{UC} = 1{,}48\ \%$

и среднеквадратичные отклонения

$\delta K_{UA} = 0{,}37\ \%,$

$\delta K_{UB} = 0{,}21\ \%,$

$\delta K_{UC} = 0{,}26\ \%.$

Спектры гармоник напряжения изображены на рисунках 2.15-2.16.

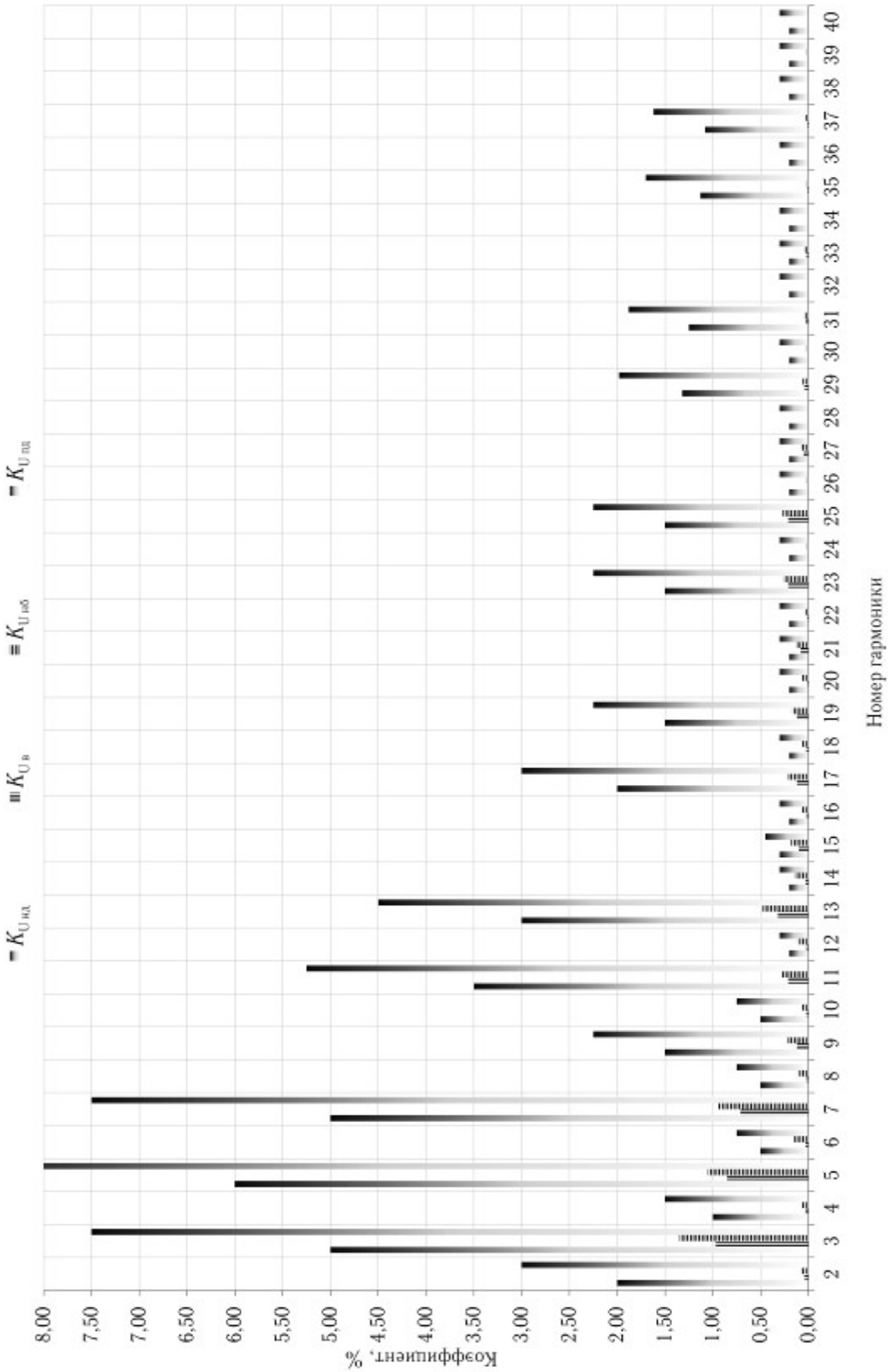


Рис. 2.15 - Коэффициенты *n*-ых гармонических составляющих напряжения в точке А

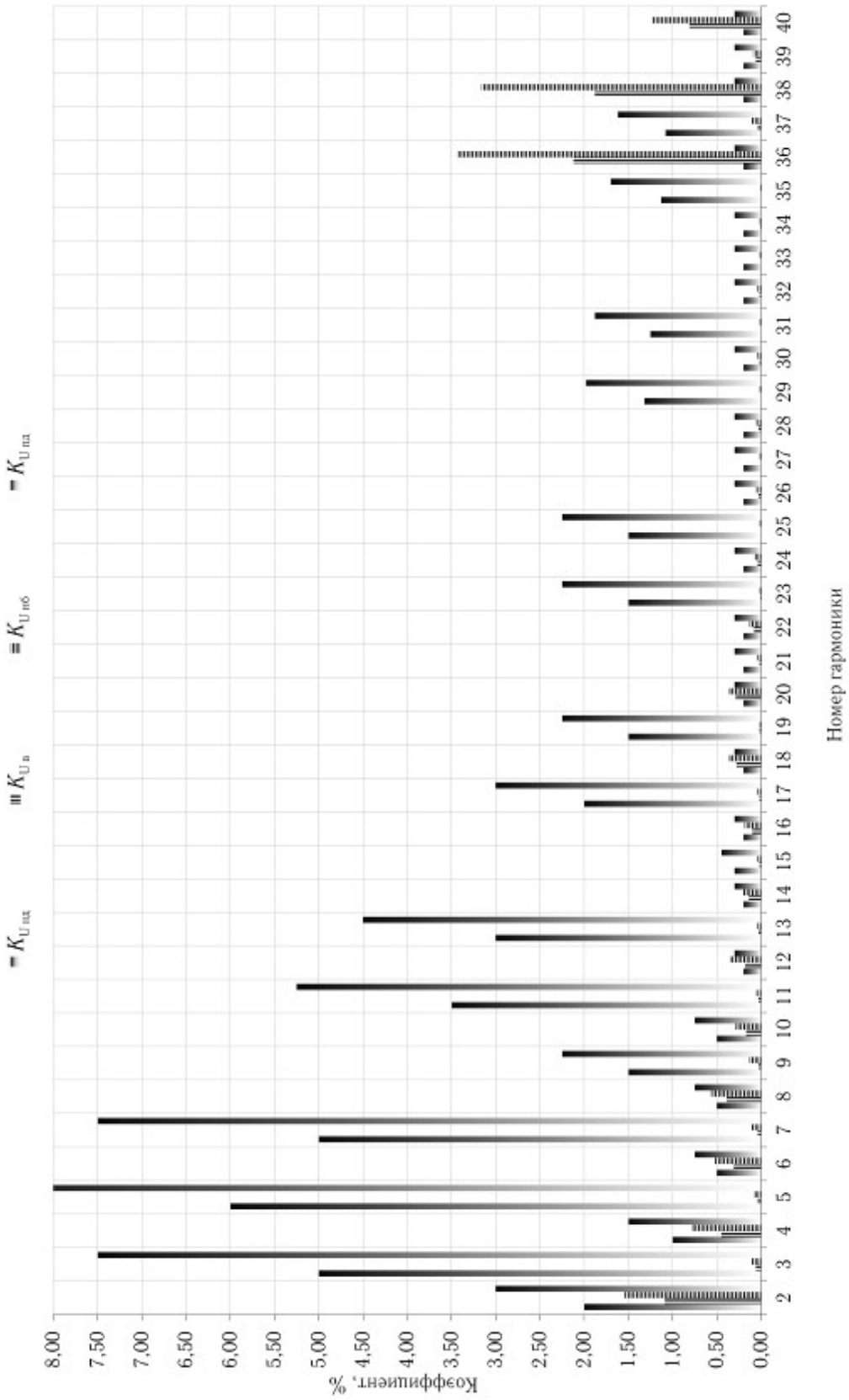


Рис. 2.16 Коэффициенты *n*-ых гармонических составляющих напряжения в точке Б

Спектры гармоник напряжения находятся в пределах, установленных ГОСТ. [15]

Коэффициенты несинусоидальности напряжения в т. А (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Несинусоидальность	Характеристика, %			
	$K_{U\,в}$	$K_{U\,нб}$	T_1	T_2
K_{U_A}	1,96	3,13	0,00	0,00
K_{U_B}	1,76	3,10	0,00	0,00
K_{U_C}	2,68	4,59	0,00	0,00
$K_{U_{AB}}$	0,97	1,17	0,00	0,00
$K_{U_{BC}}$	1,30	1,55	0,00	0,00
$K_{U_{CA}}$	1,25	1,51	0,00	0,00
Нормативное значение	8,00	12,00	5,00	0,00

Коэффициенты несинусоидальности напряжения в т. Б (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Несинусоидальность	Характеристика, %			
	$K_{U\,в}$	$K_{U\,нб}$	T_1	T_2
K_{U_A}	2,21	3,05	0,00	0,00
K_{U_B}	2,05	2,37	0,00	0,00
K_{U_C}	1,95	2,50	0,00	0,00
$K_{U_{AB}}$	1,11	1,21	0,00	0,00
$K_{U_{BC}}$	1,15	1,27	0,00	0,00
$K_{U_{CA}}$	1,25	1,41	0,00	0,00
Нормативное значение	8,00	12,00	5,00	0,00

Из результатов измерений следует, что несинусоидальность напряжений в точке А и точке Б различается незначительно, однако уровни

гармоник с номером 36 и выше в точке А гораздо меньше. Таким образом, питающая кабельная линия обладает фильтрующим действием на гармонические составляющие напряжения.

График и гистограмма коэффициента несинусоидальности по току в точке А изображены на рисунках 2.7 – 2.8.

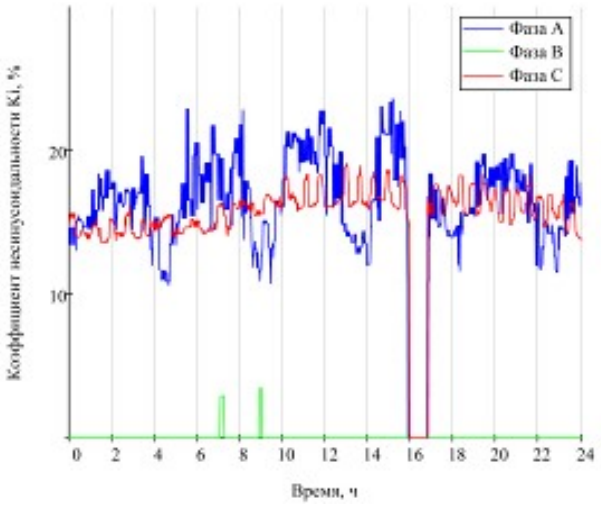


Рис. 2.7 - Коэффициенты несинусоидальности тока (т. А)

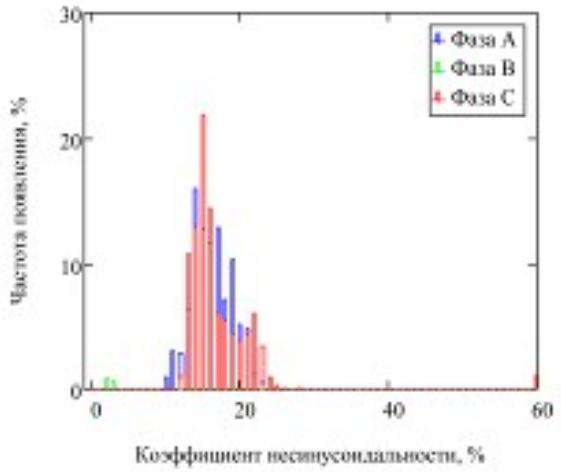


Рис. 2.8 - Гистограмма коэффициентов несинусоидальности тока (т. А)

График и гистограмма коэффициента несинусоидальности по току в точке Б изображены на рисунках 2.9-2.10.

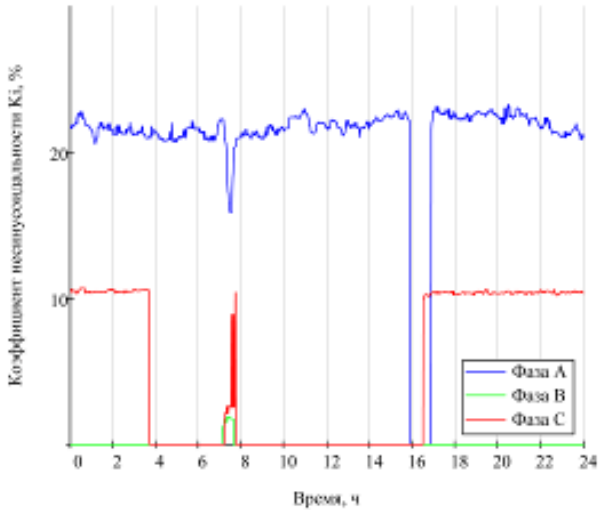


Рис.2.9 - Коэффициенты несинусоидальности тока (т. Б)

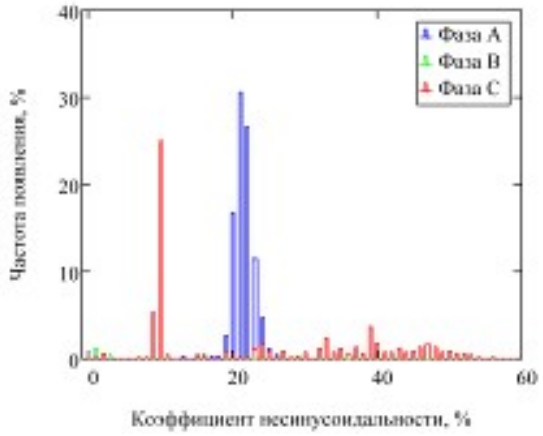


Рис. 2.10 - Гистограмма коэффициентов несинусоидальности тока (т. Б)

Из графиков следует, что в точке А средние значения коэффициентов несинусоидальности несколько меньше, чем в точке Б.

На гистограмме распределения в точке Б видны пики значений коэффициентов несинусоидальности, характерные для отдельных однотипных потребителей.

На гистограмме распределения в точке А виден значительно меньший диапазон изменения значений коэффициентов несинусоидальности, по сравнению с точкой Б. Отсюда следует, что при наложении токов высших гармоник нескольких приемников, результирующий спектр получается с

меньшей несимметрией гармоник по фазам.

Анализируя полученные данные, находим значение коэффициентов несинусоидальности для характерных потребителей.

Получаем для рабочего освещения среднее значение несинусоидальности

$$K_{\text{I, р.о ср}} = 21{,}7\ \%,$$

и среднеквадратичное отклонение

$$\delta K_{\text{I, р.о}} = 1{,}5\ \%.$$

Для дежурного освещения среднее значение несинусоидальности

$$K_{\text{I, д.о ср}} = 10{,}5\ \%,$$

и среднеквадратичное отклонение

$$\delta K_{\text{I, д.о}} = 0{,}11\ \%.$$

Для вентиляции среднее значение несинусоидальности

$$K_{\text{I, в}} = 22{,}2\ \%,$$

и среднеквадратичное отклонение

$$\delta K_{\text{I, в}} = 13{,}3\ \%.$$

Прочие потребители оказывают незначительное влияние на несинусоидальность.

Несимметрия напряжения.

График и гистограмма коэффициентов несимметрии по нулевой и обратной последовательностям в точке А изображены на рисунках 2.11 – 2.12.

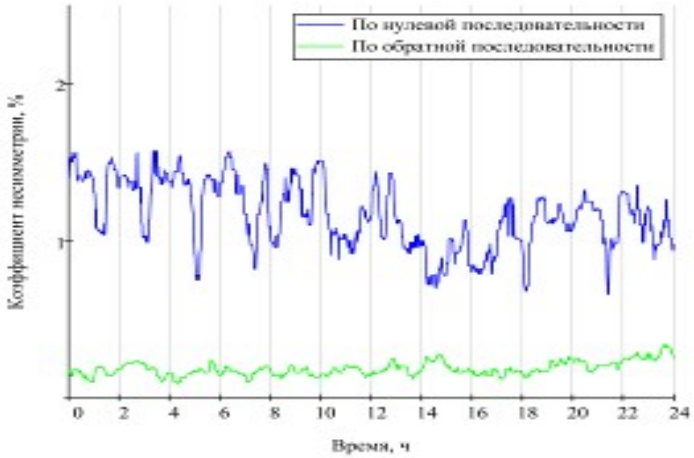
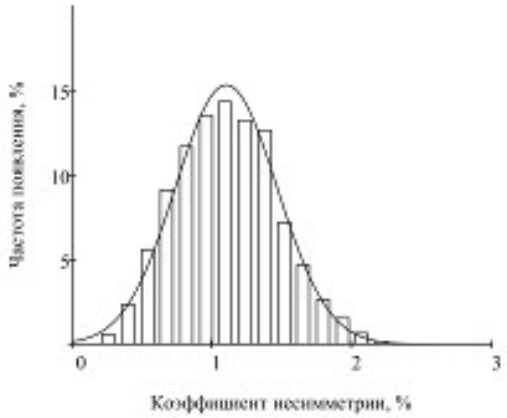
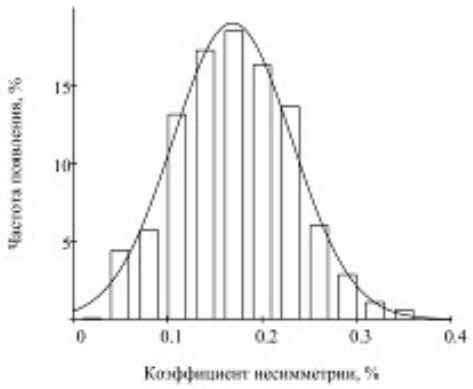


Рис. 2.11 - Коэффициенты несимметрии



по нулевой последовательности



по обратной последовательности

Рис. 2.12 - Гистограмма коэффициентов несимметрии

График и гистограмма коэффициентов несимметрии по нулевой и обратной последовательностям в точке Б изображены на рисунках 2.13 – 2.14.

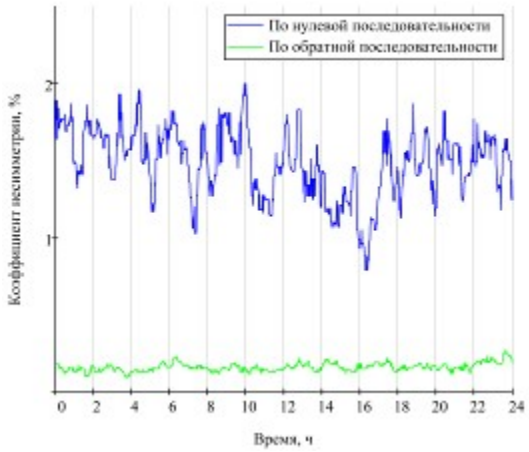
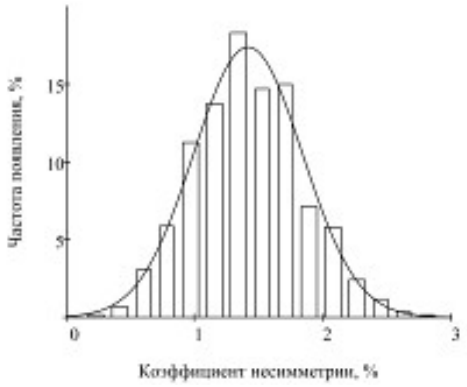
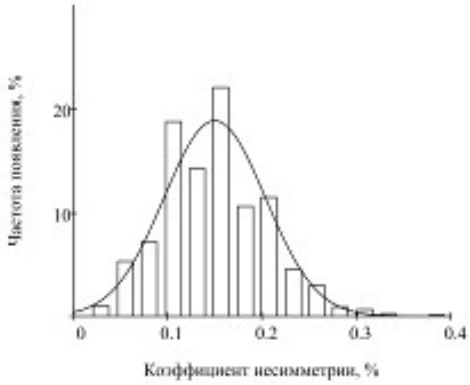


Рис. 2.13 - Коэффициенты несимметрии



по нулевой последовательности



по обратной последовательности

Рис. 2.14 - Гистограмма коэффициентов несимметрии

Предположим, что коэффициенты несимметрии можно считать случайными величинами с нормальным распределением.

Получаем среднее значение коэффициентов несимметрии в точке А

$K_{0\,ср} = 1{,}17\ \%,$

$K_{2\,ср} = 0{,}18\ \%$

и их среднеквадратичное отклонение

$\delta K_{0\,ср} = 0{,}36\ \%,$

$\delta K_{2\,ср} = 0{,}06\ \%.$

Среднее значение коэффициентов несимметрии в точке Б

$K_{0\,ср} = 1{,}51\ \%,$

$K_{2\,ср} = 0{,}16\ \%$

и их среднеквадратичное отклонение

$\delta K_{0\,ср} = 0{,}42\ \%,$

$\delta K_{2\,ср} = 0{,}05\ \%.$

Проверим при помощи критерия согласия χ^2, удовлетворяет ли рассматриваемая величина нормальному закону распределения .

Для точки А получаем:

$\chi^2_{K_0} = 14{,}2,$

$\chi^2_{K_2} = 19{,}8.$

Для точки Б получаем:

$\chi^2_{K_0} = 15{,}6,$

$\chi^2_{K_2} = 20{,}8.$

Выполняется условие (2.2), следовательно гипотеза о нормальной распределенности коэффициентов несимметрии не противоречит материалу наблюдений.

Показания прибора по статистической обработке занесены в таблицы 2.5 – 2.6.

Характеристика несимметрии напряжения в т. А.

Таблица 2.5

Несимметрия напряжения	Характеристика, %							
	по нулевой последовательности				по обратной последовательности			
	$K_{0\,в}$	$K_{0\,нб}$	T_1	T_2	$K_{2\,в}$	$K_{2\,нб}$	T_1	T_2
K	1,87	2,86	2,89	0,00	0,31	0,52	0,00	0,00
Нормативное значение K	2,00	4,00	5,00	0,00	2,00	4,00	5,00	0,00

Характеристика несимметрии напряжения в т. Б.

Таблица 2.6

Несимметрия напряжения	Характеристика, %							
	по нулевой последовательности				по обратной последовательности			
	$K_{0\,в}$	$K_{0\,нб}$	T_1	T_2	$K_{2\,в}$	$K_{2\,нб}$	T_1	T_2
K	2,34	3,52	12,48	0,00	0,28	0,50	0,00	0,00
Нормативное значение K	2,00	4,00	5,00	0,00	2,00	4,00	5,00	0,00

Из результатов измерений следует, что коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности повышался более нормально допустимого уровня, но оставался в границах предельно допустимых значений.

Таким образом, коэффициент несимметрии по нулевой последовательности в точке Б выше, чем в точке А, а коэффициент несимметрии по обратной последовательности - ниже.

Выводы по соответствию качества напряжения нормативам:

- бóльшую часть времени наблюдения, отклонение фазных и линейных напряжений было больше нормально допустимого значения +5%, а отклонение напряжения фаз А иВ больше предельно допустимого значения +10% (время превышения - 1-1,75 ч);
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности повышался более нормально допустимого уровня, но оставался в границах предельно допустимых значений (время превышения в т. А - 40 мин, в т. Б - 3 ч);
- спектр гармоник напряжения в т. Б содержал гармоники от 36-ой и выше с уровнями, превышающими предельно допустимые значения;
- отклонение частоты, несинусоидальность напряжения соответствуют нормам ГОСТ. [15]

Таким образом, качество электрической энергии, получаемой потребителем, не соответствует нормативным требованиям.

Наиболее вероятными виновниками ухудшения качества электрической энергии являются энергоснабжающая организация (отклонение напряжения) и потребитель с несимметричной нагрузкой (коэффициент несимметрии).

Выводы по результатам расчетов:

- отклонение фазных напряжений, коэффициенты несимметрии и несинусоидальности можно представить как нормально распределенные величины, следовательно в расчетах можно использовать вероятностные методы;
- основной вклад в несинусоидальность вносят группы однотипных потребителей со слабо меняющейся нагрузкой и фиксированным технологическим циклом;
- питающая КЛ обладает фильтрующим действием, ослабляя несинусоидальность тока и напряжения, источниками которых

являются потребители, особенно это касается гармоник выше 36-ой (1,8 кГц).

Глава 3. Экономическое обоснование исследования.

3.1 Расчет потерь от снижения качества электроэнергии.

Ежегодный экономический ущерб от снижения качества электроэнергии определяется как сумма ущерба от несимметрии и несинусоидальности напряжений и ущерба от отклонений напряжения [21]:

$$У = У_{отк} + У_{н}, \quad (3.1)$$

где $У_{отк}$ - ущерб от отклонений напряжения, руб. /год, $У_{н}$ - ущерб от несимметрии и несинусоидальности напряжений, руб. /год;

Основываясь на результатах расчета потерь мощности (Приложение 3), оценим годовые экономические потери от отклонения напряжения как разность стоимостей электроэнергии при разных уровнях отклонения (+8% и +2,5%).

Перерасход электроэнергии равен

$$W_{пер} = W_{потр\,\Sigma\,год} - W'_{потр\,\Sigma\,год}, \quad (3.2)$$

где $W_{потр.\,\Sigma\,год}, W'_{потр.\,\Sigma\,год}$ - суммарные годовые потери электроэнергии при отклонении +8% и +2,5% (по таблице 5, *Приложение 3*), кВт·ч.

$$W_{пер} = 442380 - 398470 = 43910 \text{ кВт·ч.}$$

Убыток от перерасхода электроэнергии равен

$$У_{пер} = Ц \cdot W_{пер}, \quad (3.3)$$

где *Ц* = 4,2 - стоимость электроэнергии, руб. / (кВт·ч).

$$У_{пер} = 4{,}2 \cdot 43910 = 184420 \text{ руб./год.}$$

Дальнейшее понижение напряжения вызовет не снижение убытков, а их увеличение, так как напряжение выйдет за допустимые нормы.
Таким образом, ущерб от отклонения напряжения составляет

$$У_{отк} = У_{пер} = 184420 \text{ руб./год.}$$

Ущерб от несимметрии и несинусоидальности напряжений может быть представлен составляющей, обусловленной дополнительными потерями активной мощности и составляющей, обусловленной снижением срока службы оборудования.

Дополнительные потери активной мощности, обусловленные несимметрией и несинусоидальностью напряжений, вычисляются для трансформатора по формуле (1, *Приложение 4*):

$$\Delta P_{т\,доп} = (2{,}67 \cdot 0{,}19^2 + 1{,}62 \cdot 0{,}065) \cdot \frac{400}{10^4} = 4{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ кВт.}$$

Для асинхронных двигателей транспортировочной ленты по формулам (2-4, *Приложение 4*) находим необходимые коэффициенты:

$$k_д = 3 + 0{,}3 \cdot (5 - 0{,}95) = 4{,}2,$$
$$k_2 = 2{,}41 \cdot 4{,}2 = 10{,}2,$$
$$k_г = 2 \cdot 4{,}2 = 8{,}4.$$

Дополнительные потери для асинхронных двигателей по формуле (5, *Приложение 4*):

$$\Delta P_{\text{АД доп}} = (10{,}3 \cdot 0{,}16^2 + 8{,}4 \cdot 0{,}43) \cdot \frac{0{,}95}{10^4} = 0{,}37 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}.$$

Рассмотрим влияние несимметрии и высших гармоник с точки зрения снижения срока службы оборудования. Для этого необходимо установить значения коэффициента искажения по формуле (6, *П.4*).

Коэффициент искажения для трансформатора:

$$k_{\text{иск}} = 207 \cdot 0{,}0019^2 + 610 \cdot \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{1 + 0{,}05\nu^2 + \frac{1{,}7}{\sqrt{\nu}}}{\nu\sqrt{\nu}} U_\nu^2 = 0{,}0057.$$

Первое слагаемое показывает влияние несимметрии, второе - высших гармоник. Второе слагаемое равно

$$610 \cdot \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{1 + 0{,}05\nu^2 + \frac{1{,}7}{\sqrt{\nu}}}{\nu\sqrt{\nu}} U_\nu^2 = 0{,}005,$$

что означает незначительное влияние высших гармоник и на сокращение срока службы трансформатора.

Кратность снижения срока службы трансформатора по формуле (7, *П.4*) составляет:

$$\gamma = e^{0{,}0057} = 1{,}0007 \ (0{,}7\%).$$

Аналогично, значения коэффициента искажения для асинхронных двигателей по формуле (8, *П.4*):

$$k_{\text{иск}} = 389 \cdot 0{,}0016^2 + 434 \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{v\sqrt{v}} = 0{,}008.$$

Второе слагаемое равно

$$434 \cdot \sum_{v=2}^{\infty} \frac{1 + 0{,}05v^2 + \frac{1{,}7}{\sqrt{v}}}{v\sqrt{v}} U_v^2 = 0{,}007,$$

что также означает незначительное влияние высших гармоник на сокращение срока службы АД.

Кратность снижения срока службы АД по формуле (7, *П.4*) составляет:

$$\gamma = \mathrm{e}^{0{,}008} = 1{,}008 \ (0{,}8\%).$$

Температурное воздействие обратной последовательности и высших гармоник, определяемое по формуле (9, *П.4*), равно

$$A_{2,v} = 120 \cdot \sqrt{0{,}0016^2 + \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{\sqrt{v}}} = 0{,}52.$$

По таблицам 7 и 8 (*Приложение 3)* для загрузки двигателя $\beta_{\text{м}} = 100\%$ и отклонения напряжения $\delta U = +8\%$ определяем запас температурного воздействия:

$$A_{\delta U} = 7{,}1 > A_{2,v} = 0{,}52.$$

Условие запаса температурного воздействия для асинхронных

двигателей выполняется.

На основе результата расчетов делаем вывод о незначительном влиянии несимметрии и несинусоидальности на дополнительные потери активной мощности и срок службы трансформаторов и асинхронных двигателей на предприятии ООО «РЭ Монтаж».

В основном, убыток от снижения качества электроэнергии вызван чрезмерным отклонением напряжения и для улучшения качества электроэнергии и снижения убытков целесообразно снизить уровень напряжения на 5%.

3.2 Методы улучшения качества электроэнергии.

Для поддержания отклонений и колебаний напряжения в пределах значений, соответствующих нормам, необходимо *регулирование напряжения*.

Регулированием напряжения называют процесс изменения уровней напряжения в характерных точках системы электроснабжения с помощью специальных технических средств, который осуществляется автоматически по заранее заданному закону. Закон регулирования напряжения в центрах питания (ЦП) определяет энергоснабжающая организация, по возможности учитывая интересы большинства потребителей, присоединенных к данному ЦП.

Для обеспечения требуемого режима напряжений на зажимах приемников электроэнергии используют следующие способы регулирования напряжения: на шинах электростанций и подстанций (ЦП), на отходящих линиях, совместное и дополнительное.

При регулировании напряжения на шинах ЦП обеспечивают так называемое встречное регулирование напряжения. Под встречным регулированием напряжения понимают повышение напряжения до 5 - 8 % номинального в режиме наибольших нагрузок и понижение напряжения до номинального (или ниже) в режиме наименьших нагрузок при линейном

изменении в зависимости от нагрузки.

Регулирование производят с помощью изменения коэффициента трансформации питающего трансформатора. Для этого трансформаторы оснащают средствами регулирования напряжения под нагрузкой (РПН). Трансформаторы с РПН позволяют регулировать напряжение в диапазоне от ±10 до ±16 % с дискретностью 1,25 - 2,5 %. Силовые трансформаторы 6 - 20/0,4 кВ оснащают устройствами регулирования ПБВ (переключение без возбуждения) с диапазоном ±5 % и шагом регулирования ±2,5 %(табл. 3.1).

Добавки напряжения трансформаторов 6 - 20/0,4 кВ с ПБВ

Таблица 3.1

Регулировочное ответвление обмотки первичного напряжения		Добавка напряжения трансформатора, %		Ширина зоны регулировочного ответвления, %
Порядковый номер	%	Точно	Округленно	
1	+5	0,25	0	2,45
2	+2,5	2,7	2,5	2,56
3	0	5,26	5	2,7
4	–2,5	7,96	7,5	2,84
5	–5	10,8	10	2,84

Правильный выбор коэффициента трансформации трансформатора с ПБВ (например, при сезонном регулировании) обеспечивает по возможности наилучший режим напряжений при изменении нагрузки.

Целесообразность применения того или иного способа регулирования напряжения определяется местными условиями в зависимости от протяженности сети и ее схемы, резерва реактивной мощности и т.п.

Показатель отклонения напряжения зависит от потерь напряжения в сети зависит от сопротивления сети и нагрузки. Практически изменение сопротивлений сети связывают с изменением напряжений в ней при выборе сечений проводов и жил кабелей с учетом отклонений напряжения у приемников электроэнергии (по допустимой потере напряжения), а также при применении последовательного включения конденсаторов в воздушных линиях *(установки продольной компенсации — УПК).*

Последовательно включенные конденсаторы компенсируют часть индуктивного сопротивления линии, тем самым уменьшается реактивная слагающая в линии и создается как бы некоторая добавка напряжения в сети, зависящая от нагрузки.

Последовательное включение конденсаторов целесообразно лишь при значительной реактивной мощности нагрузки (tgφ > 0,75-1,0). Если коэффициент реактивной мощности близок к нулю, потери напряжения в линии определяются в основном активным сопротивлением и активной мощностью. В этих случаях компенсация индуктивного сопротивления нецелесообразна.

Применение УПК очень эффективно при резких колебаниях нагрузки, так как регулирующий эффект конденсаторов (значение добавки напряжения) пропорционален току нагрузки и автоматически изменяется практически без инерции. Поэтому последовательное включение конденсаторов следует применять в воздушных линиях напряжением 35 кВ и ниже, питающих резкопеременные нагрузки с относительно низким коэффициентом мощности. Их используют также в промышленных сетях с резкопеременными нагрузками.

К уменьшению потерь напряжения, а следовательно, к увеличению напряжения в конце линии помимо выше рассмотренных мер по уменьшению сопротивления сети приводят меры по изменению нагрузок сети, особенно реактивных. Это возможно осуществить, применяя *установки поперечной компенсации* (включение батарей конденсаторов параллельно нагрузке) и быстродействующие источники реактивной мощности (ИРМ), отрабатывающие реальный график изменения реактивной мощности.

Для улучшения режима напряжения сети, снижения отклонений и колебаний напряжения возможно *использование мощных синхронных двигателей с автоматическим регулированием возбуждения.*

Для улучшения таких показателей качества электроэнергии целесообразно подключение искажающих КЭ электроприемников в точках

системы с наибольшими значениями мощности КЗ. А применение средств ограничения токов КЗ в сетях, содержащих специфические нагрузки, следует производить только в пределах, необходимых для обеспечения надежной работы коммутационных аппаратов и электрооборудования.

Основные способы уменьшения влияния несинусоидальности напряжения. Среди технических средств применяют: фильтровые устройства: включение параллельно нагрузке узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ), фильтросимметрирующих устройств (ФСУ), ИРМ, содержащих ФКУ, специальное оборудование, характеризующееся пониженным уровнем генерации высших гармоник, «ненасыщающиеся» трансформаторы, многофазные преобразователи с улучшенными энергетическими показателями.

На рис. 3.1, а показана схема поперечного (параллельного) пассивного фильтра высших гармоник. Звено фильтра представляет собой контур из последовательно соединенных индуктивности и емкости, настроенных на частоту определенной гармоники.

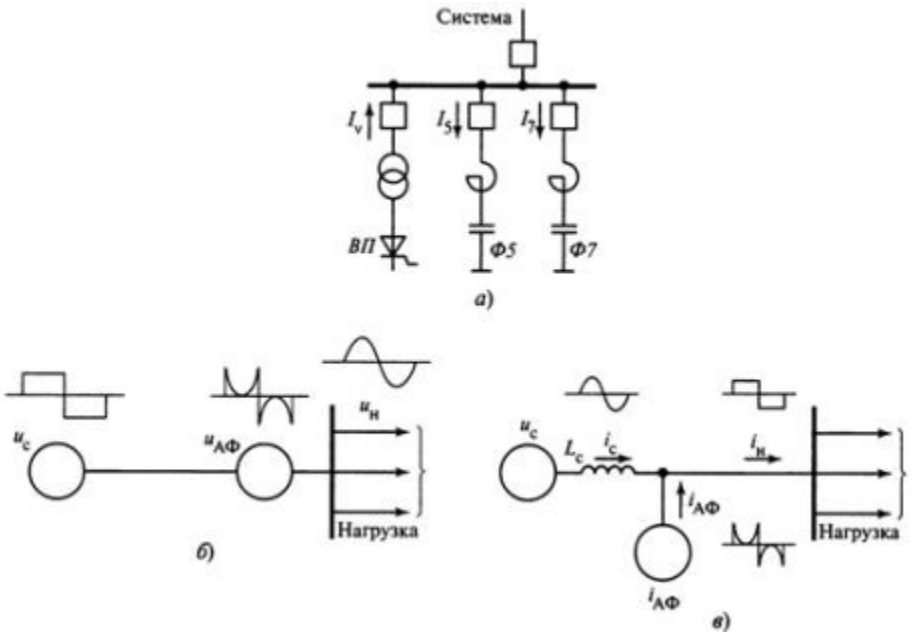


Рис. 3.1. Принципиальные схемы фильтров высших гармоник: а —

пассивного, б — активного фильтра (АФ) как источника напряжения, в — АФ как источника тока, ВП — вентильный преобразователь, Ф5, Ф7 — соответственно звенья фильтра на 5-ю и 7-ю гармоники, uc — напряжение сети, uАФ — напряжение АФ, uн — напряжение на нагрузке, Iс — ток сети, IАф — ток, генерируемый АФ, Iн — ток нагрузки.

Сопротивление звена фильтра токам высших гармоник Xфп=XLn-Xc/n, где XL, Xc — сопротивления соответственно реактора и батареи конденсаторов току промышленной частоты, n — номер гармонической составляющей.

С увеличением частоты индуктивное сопротивление реактора увеличивается пропорционально, а батареи конденсаторов — уменьшается обратно пропорционально номеру гармоники. На частоте одной из гармоник индуктивное сопротивление реактора становится равным емкостному сопротивлению батареи конденсаторов, и в цепи звена фильтра возникает резонанс напряжений. При этом сопротивление звена фильтра n току резонансной частоты равно нулю и оно шунтирует электрическую систему на этой частоте. Номер гармоники яр резонансной частоты вычисляют по формуле

$$n_{\text{р}} = \sqrt{\frac{X_C}{X_L}}$$

Идеальный фильтр полностью отфильтровывает токи гармоник, на частоты которых настроены его звенья. Однако практически наличие активных сопротивлений реакторов и батарей конденсаторов и неточная настройка звеньев фильтра приводят к неполной фильтрации гармоник. Параллельный фильтр представляет собой ряд звеньев, каждое из которых настроено на резонанс для частоты определенной гармоники.

Количество звеньев в фильтре может быть любым. На практике обычно применяют фильтры, состоящие из двух или четырех звеньев,

настроенных на частоты 5, 7, 11, 13, 23 и 25-й гармоник. Поперечные фильтры присоединяют как в местах возникновения высших гармоник, так и в пунктах их усиления. Поперечный фильтр является одновременно и источником реактивной мощности, и средством компенсации реактивных нагрузок.

Параметры фильтров подбирают таким образом, чтобы звенья были настроены в резонанс на частоты фильтруемых гармоник, а их емкости позволяли генерировать необходимую реактивную мощность на промышленной частоте. В ряде случаев для компенсации реактивной мощности параллельно фильтру включают батарею конденсаторов. Такое устройство называют фильтрокомпенсирующим (ФКУ). Фильтрокомпенсирующие устройства выполняют и функцию фильтрации гармоник, и функцию компенсации реактивной мощности.

В настоящее время помимо пассивных узкополосных фильтров применяют и активные фильтры (АФ). Активный фильтр — преобразователь переменно-постоянного тока с емкостным или индуктивным накопителем электрической энергии на стороне постоянного тока, формирующий методом импульсной модуляции определенное значение напряжения или тока. В его составе интегрированные силовые ключи, соединенные по типовым схемам. Подключение АФ в сеть в качестве источника напряжения показано на рис. 3.1, б, в качестве источника тока — на рис. 3.1, в.

Снижение систематической несимметрии в сетях низкого напряжения осуществляется рациональным распределением однофазных нагрузок между фазами с таким расчетом, чтобы сопротивления этих нагрузок были примерно равны между собой. Если несимметрию напряжения не удается уменьшить с помощью схемных решений, то применяют специальные устройства: несимметричное включение конденсаторных батарей (рис. 3.2) или схемы симметрирования (рис. 3.3) однофазных нагрузок.

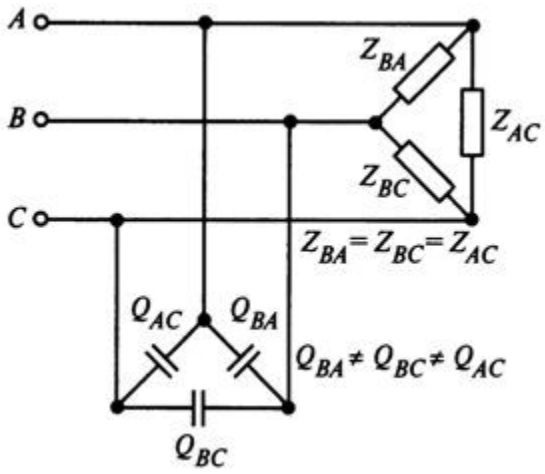


Рис. 3.2. Симметрирующее устройство с конденсаторной батареей

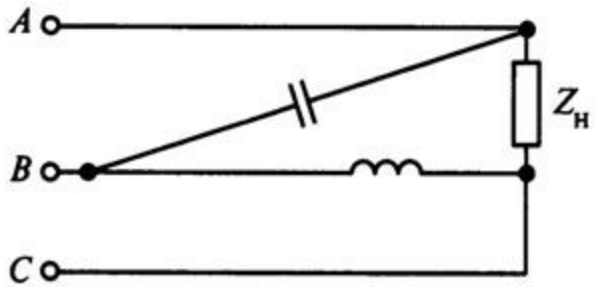


Рис. 3.3. Специальная схема симметрирующего устройства

Если несимметрия меняется по вероятностному закону, то для ее снижения применяют автоматические симметрирующие устройства, схема одного из которых представлена на рис. 3.4. Регулируемые симметричные устройства дороги и сложны, их применение порождает новые проблемы (в частности, несинусоидальность напряжения). Поэтому положительного опыта использования симметрирующих устройств в России нет.

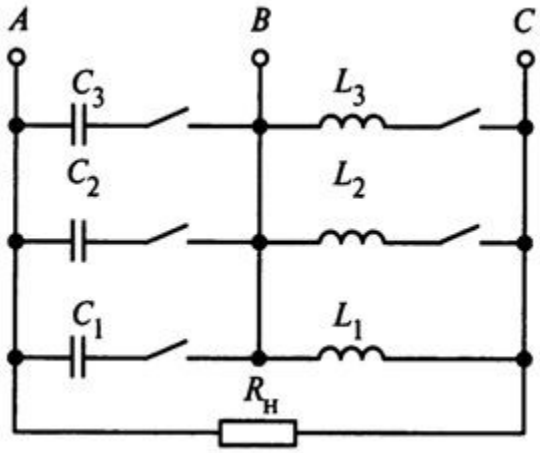


Рис. 3.4. Типовая схема симметрирующего устройства

Для защиты от перенапряжений применяются ограничители перенапряжений. От кратковременного снижения и провалов напряжений могут использоваться динамические компенсаторы искажений напряжения (ДКИН), которые решают многие проблемы качества электроэнергии, включая провалы (в том числе и импульсные) и перенапряжения питающего напряжения.

Основные преимущества ДКИН:

- нет батарей и всех проблем, связанных с ними,
- время реакции на кратковременные нарушения электроснабжения 2 мс,
- эффективность работы устройства ДКИН более 99 % при 50 %-ной нагрузке и более 98,8 % при 100 %-ной нагрузке,
- низкая потребляемая мощность и малые эксплуатационные затраты,
- компенсация гармонических составляющих, фликеров,
- синусоидальная форма выходного напряжения,
- защита от всех видов КЗ,
- высокая надежность.

Снижение уровня негативного влияния на сеть от приемников электроэнергии специфических нагрузок (ударных, с нелинейными вольт-

амперными характеристиками, несимметричных) достигается нормированием их и разделением питания специфических и «спокойных» нагрузок.

Помимо выделения отдельного ввода для специфических нагрузок возможны и другие решения рационального построения схем электроснабжения:

- четырехсекционная схема главной понижающей подстанции на напряжении 6—10 кВ с трансформаторами с расщепленными вторичными обмотками и со сдвоенными реакторами для раздельного питания «спокойной» и специфической нагрузки;
- перевод трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП) на параллельную работу включением секционного выключателя напряжением 6—10 кВ, когда это допустимо по токам КЗ. Это мероприятие можно применять и временно, например в периоды пуска крупных двигателей;
- осуществление в цеховых сетях питания осветительной нагрузки отдельно от силовой резкопеременной (например, от сварочных агрегатов).

Заключение.

В настоящей работе представлены теоретические материалы и практические расчеты по исследованию качества электроэнергии на предприятии ООО «РЭ Монтаж», специализирующегося на изготовлении плат печатного монтажа.

Теоретические материалы включают в себя основные понятия и определения, касающиеся показателей качества электроэнергии. Описаны формулы, определяющие те или иные показатели, построены графики и приведены рисунки для визуального восприятия материала.

Важную часть работы представляют практические материалы. Подробное описание влияния качества электроэнергии на оборудование, описанное во второй главе, необходимо для понимания всей важности практических расчетов качества ЭЭ.

При расчетах использовался прибор PMAC770. Были измерены такие показатели качества электроэнергии, как *отклонение напряжения*, *несинусоидальность и несимметрия напряжения, отклонение частоты.*

В результате расчетов было определено, что качество электроэнергии, получаемой потребителем, не соответствует нормативным требованиям, что привело к потерям ЭЭ и появилась необходимость в улучшении качества электроэнергии. Также выявлено, что наиболее вероятными виновниками ухудшения качества ЭЭ являются электроснабжающая организация (отклонение напряжения) и потребитель с несимметричной нагрузкой (коэффициент несимметрии).

Потери электроэнергии вызваны, в основном, протеканием токов основной частоты и их можно уменьшить путем оптимального регулирования напряжения. Таким образом, рекомендуется снизить напряжение трансформатора на 5% либо заменить существующий трансформатор на аналогичный по мощности с устройством регулирования

под нагрузкой. Полученные формулы потерь позволили рассчитать экономический эффект данного мероприятия.

Измерение показателей качества электроэнергии является важным элементом в производственном процессе. Практическая значимость периодического измерения ПКЭ заключается в своевременном выявлении низкого качества ЭЭ и применении мер по улучшению ПКЭ , что в свою очередь значительно снижает риски выхода из строя электрооборудования и сводит к минимуму проявление иных негативных последствий, связанных с низким качеством электроэнергии.

Список литературы.

1. Т. А. Власова, А. А. Глазунов, И. С. Пономаренко. Методические указания по курсовому проекту: Электроснабжение жилого района города. М.: Издательство МЭИ, 1993.
2. Е. Я. Абрамова, С. К. Алешина. Методические указания по дипломному проектированию: Расчет электрических нагрузок в городских сетях. Оренбург, 2002.
3. В. М. Озерский, С. Я. Маковецкий. Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию: Расчеты электроснабжения городов. Саратов, 1999.
4. Справочник по проектированию электрических сетей, под редакцией Д. Л. Файбисовича. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2006.
5. В. А. Козлов. Электроснабжение городов. Л.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Э. А. Киреева, С. А. Цырук. Электроснабжение жилых и общественных зданий. М.: НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик», 2005.
7. Правила устройства электроустановок. М.: Главгосэнергонадзор России, 1998.
8. Гук Ю.Б. / Проектирование электрической части станций и подстан-ций: Учеб. Пособие для вузов/ Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. – Л.: Энергоатомиздат,1985. – 312 с., ил.
9. Неклепаев Б.Н. / Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. / Б.Н. Неклепаев, К.П. Крючков – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил.
10. Рожкова Л.Д. / Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для техникумов / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1980. – 600 с., ил.
11. Правила устройства электроустановок / Минэнерго РФ. – 6-е изд.,

перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 640 с.

12. Электротехнический справочник. В 3 т. Т. 3. В 2 кн. Кн 1. Производство и распределение электрической энергии / Под общ. Ред. Профессоров МЭИ: И.Н. Орлова (гл. ред.) и др. – 7-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 616 с.: ил.

13. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник: Учеб. пособие. / Г.Н. Ополева. - М.: Форум: Инфра-М, 2006. - 480 с.

14. **(7)** Р 50.1.033-2001 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть I. Критерии типа хи-квадрат. Переиздание 2006 г.

15. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008). Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии- М.: Изд-во стандартов, 2013. - 33 с

16. Арриллага Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Арриллага, Н. Уотсон. - 2-е изд. - Чичестер: Изд-во "Вайли", 2003. - 391 с.

17. Петухов В. Энергосберегающие лампы как источник гармоник тока / В. Петухов // Новости электротехники. - 2009. - №5. - с.50-52.

18. Войнов С.Л. Нормирование показателей качества электроэнергии и их оптимизация / С.Л. Войнов [и др.]. - Гливице - Иркутск, 1988. - 249 с.

19. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Т.1. Основные вопросы теории и конструкции трансформаторов и асинхронных машин: Учебник для вузов. /А.В. Иванов-Смоленский - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство МЭИ, 2004. - 656 с.

20. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.]. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 320 с.

21. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов - Киев: Наук. думка, 1985. - 268 с.

22. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях/ И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко-3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 2000. - 252 с.

23. Церазов Л.А. Исследование влияния несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей /Л.А. Церазов, Н.И. Якименко // Информационные материалы № 70. - М.: Госэнергоиздат, 1963.

24. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко - М.: ЭНАС, 2009. - 456 с.

25. Теоретические основы электротехники. В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. - 4-е изд. / К.С. Демирчян [и др.]. - СПб.: Питер, 2004. - 463 с.

26. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов /И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев - М.: Наука, 1981. - 720 с.

27. Федеральный Закон №261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" // Российская Газета, №5050 (226) от 27.11.09 г.

28. Гайсаров Р.В. Выбор электрической аппаратуры, токоведущих частей и изоляторов: Учебное пособие к курсовому и дипломному проектированию. – Челябинск, 2002

29. Злобина И.Г., Казакова Е.Ю., Шестакова Л.А. – Электрические станции и подстанции: Учебное пособие к выполнению курсового проекта. – ЧГУ, Чебоксары, 2008

30. Иванов А.В., Колчин Т.В. – Методическое пособие по расчету систем оперативного тока, собственных нужд, заземляющих устройств и молниезащиты подстанций 35 кВ и выше. – Н. Новгород. 1991

31. Костин В.Н. – Электропитающие системы и электрические сети. Учебно-методический комплекс: Учебное пособие. – Санкт-Петербург. 2001

32. Кушкова Е.И – Расчет заземляющих устройств в установках с эффективно-заземленной нейтралью.: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. – ВятГТУ, Киров, 2000

33. Небрат И.Л., Полесицкая Т.П. Расчеты токов короткого замыкания для релейной защиты. Учебное пособие. – СПб.: ПЭИПК, 2008. – 56 с. Ч. 1.

34. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. – Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 1989.

35. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: СПО ОРГРЭС, 2003.

36. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003

37. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования:Р248. Учеб. Пособие для студ. высш. учеб. Заведений / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А., Старшинов и др.; под ред. И.П. Крючкова и В.А. Старшинова. – М.; Издательский центр «Академия», 2005. – 416 с.

38. Синягин Н.Н. – Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

Приложение 1.

PMAC770 - Многофункциональный измеритель качества электроэнергии



Трехфазный многофункциональный измеритель качества электроэнергии **PMAC770** предназначен для контроля и отображения всех видов электрических параметров. **PMAC770** широко используется в системах распределения низкого и среднего напряжения.

Измеритель качества электроэнергии **PMAC770** обладает следующими функциями:

- Измерения в реальном времени всех основных параметров электроэнергии;
- Измерение всех видов энергии (включая активную энергию, многотарифную энергию, историю энергии, энергию 1~13-ой гармоники).
- Анализ качества электроэнергии;
- Расчет нагрузки;
- Встроенные часы и журнал событий;
- Сигнализация превышения пределов;
- Проверка последовательности чередования фаз;
- Обмен данными: RS-485 (ModBus) - стандарт, Profibus, BACnet. (опционально);
- Цифровой вход или цифровой выход (DI/DO);
- Аналоговый вход/Аналоговый выход (AI/AO, опционально);

- Два импульсных выхода (опционально).

Функции измерения базового модуля PMAC770 (существует 3 класса)	**Основной класс**	**Средний класс**	**Старший класс**
Напряжение, сила тока, мощность (P, Q, S), коэффициент мощности, энергия (кВтч, кварч в 4 квадрантах), частота, нагрузка, макс./мин. значение (U, I, P, Q), многотарифная энергия, коэффициент нагрузки, один RS485 (Modbus-RTU), часы реального времени	√	√	√
3 входа состояния + 2 релейных выхода, сигнализация превышения пределов, журнал последовательности событий (SOE)	×	√	√
Дисбаланс напряжения, суммарный коэффициент гармоник (THD), 31-я гармоника, среднеквадратичное значение гармоник (0~31-я), энергия гармоник (1~13-я), пик-фактор напряжения, K-фактор тока, отклонение напряжения, отклонение частоты, запись отклонения напряжения/частоты, запись дисбаланса напряжения	×	×	√

Особенности:

Подходит для низковольтной/высоковольтной системы (LV/HV)

Для низковольтной системы, PMAC770 / PMAC770-DR напрямую

подключается до 600 В АС. Для высоковольтной системы, PMAC770 / PMAC770-DR требует подключения через трансформаторы напряжения, программируемый коэффициент трансформации напряжения.

Самодиагностика ошибок чередования фаз

В случае ошибок чередования фаз, PMAC770 будет показывать это на дисплее.

Измерение в реальном времени

К параметрам измерения истинного среднеквадратичного значения относятся: U, I, P, Q, S, PF, F, кВтч, кварч, потребление, максимальные или минимальные значения.

Режим вычисления потребления энергии программируется

2 режима потребления энергии: фиксированный интервал и переменный интервал. Программируемый цикл потребления энергии: 5, 10. 15, 30, 60 мин. Программируемое окно: 1, 2, 3 мин.

Многотарифный подсчет

2 режима настройки: режим временной зоны и режим выходных. Режим временных зон: 2 временных зоны в год. Режим выходных: рабочие дни (пн.- пт.) и выходные (сб.- вс.) Существует два списка тарифов, для каждого списка можно настраивать 8 периодов времени по 24 часа, 4 тарифа.

Анализ качества электроэнергии

Анализ гармоник, пик-фактор и К-фактор, асимметрия и т.д.

Опциональный модуль и обновление

Устанавливается в опциональный модуль, позволяет проводить модернизацию.

Пределы сигнализации

Нижний / верхний предел сигнализации, мониторинг объектов включает в себя: U, I, PF, F, СКГ, асимметрия. Если любые параметры превышают пределы и остаются на этом уровне определенное время, PMAC770/PMAC770-DR будет записывать событие и выходной сигнал

срабатывания реле.

Высокая точность

Активная энергия: согласно IEC62053-22, класс 0,5 с. Реактивная энергия: согласно IEC62053-23, класс 2.

Стандарт IEC62053-22/23, CE. KEMA

Схема подключения изображена на рисунке 1.

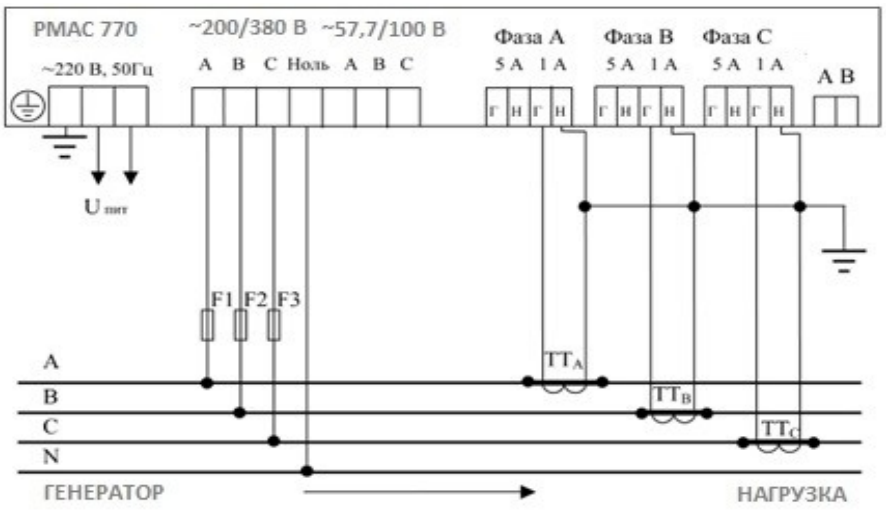


Рис. 1 Трехфазная четырехпроводная схема измерения напряжения (220/380В) и схема измерения тока с тремя ТТ (1А)

Измерения производились в двух точках: на отходящей от КТП линии, питающей несколько помещений и на вводе цеха.

Измеритель производит статистическую обработку результатов измерения показателей качества электрической энергии и определяет на интервале измерения равном одним суткам следующие характеристики:

- наибольшее $U^{I(II)}_{у\,нб}$ и наименьшее $U^{I(II)}_{у\,нм}$ действующие значения установившегося напряжения (отклонения напряжения, $\delta U^{I(II)}_{у\,нб}$, $\delta U^{I(II)}_{у\,нм}$)

в интервале времени наибольших (индекс - I) и наименьших (индекс - II) нагрузок;

- верхнюю $U_{\text{у в}}^{\text{I (II)}}$ ($\delta U_{\text{у в}}^{\text{I (II)}}$) и нижнюю $U_{\text{у н}}^{\text{I (II)}}$ ($\delta U_{\text{у н}}^{\text{I (II)}}$) границы диапазона $U_{\text{у}}$ ($\delta U_{\text{у}}$) в котором находятся 95 % измеренных значений в интервале времени наибольших (наименьших) нагрузок;
- наибольшее $f_{\text{нб}}$ ($\Delta f_{\text{нб}}$) и наименьшее $f_{\text{нм}}$ ($\Delta f_{\text{нм}}$) значения частоты f (отклонения частоты Δf);
- верхнюю $f_{\text{в}}$ ($\Delta f_{\text{в}}$) и нижнюю $f_{\text{н}}$ ($\Delta f_{\text{н}}$) границы диапазона f (Δf), в котором находятся 95 % измеренных значений;
- наибольшее значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения $K_{\text{Uнб}}$;
- наибольшее значение коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения $K_{\text{U (}n\text{) нб}}$;
- наибольшее значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{\text{2Uнб}}$;
- наибольшее значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{\text{0Uнб}}$;
- значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения, которое не превышает 95 % измеренных значений $K_{\text{Uв}}$;
- значение коэффициента n-ой гармонической составляющей напряжения, которое не превышает 95 % измеренных значений $K_{\text{U (}n\text{) в}}$;
- значение коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности, которое не превышает 95 % измеренных значений $K_{\text{2Uв}}$;
- значение коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности, которое не превышает 95 % измеренных значений $K_{\text{0Uв}}$;
- относительное время превышения нормально допустимых значений T_1;
- относительное время превышения предельно допустимых значений T_2.

Приложение 2

Проверка согласия опытного распределения с теоретическим.

Число моделей непрерывных законов распределений, используемых в задачах статистического анализа (при контроле качества, исследованиях надежности и т.д.), немногим превышает 100, а для описания наблюдаемых

случайных величин в прикладных исследованиях в основном применяют порядка 30 параметрических законов и семейств распределений.

Это не покрывает многообразия случайных величин, встречаемых на практике. Корректное применение критериев согласия часто приводит (и должно приводить) к отклонению гипотез о принадлежности выборки удобному и привычному закону распределения, например нормальному, так как законы реальных случайных величин, являющиеся следствием многочисленных причин, сложнее тех моделей, которые обычно используют для их описания. Следовательно, и модели должны быть более сложными.

Целью первичной обработки экспериментальных наблюдений обычно является выбор закона распределения, наиболее хорошо описывающего случайную величину, выборку которой наблюдают. Насколько хорошо наблюдаемая выборка описывается теоретическим законом, проверяют с использованием различных критериев согласия. Целью проверки гипотезы о согласии опытного распределения с теоретическим является стремление удостовериться в том, что данная модель теоретического закона не противоречит наблюдаемым данным и использование ее не приведет к существенным ошибкам при вероятностных расчетах. Некорректное использование критериев согласия может приводить к необоснованному принятию (чаще всего) или необоснованному отклонению проверяемой гипотезы.

Допустим, на основании материала выборки следует проверить гипотезу H_0 о равенстве законов распределения. Для проверки такой гипотезы необходима контрольная величина T, которой является соответствующим образом выбранная н приспособленная к задаче функция выборки. По заданному уровню надежности α (чаще всего выбирается $\alpha = 0{,}05$) определяется область B, так называемая *критическая область*, удовлетворяющая условию

$$P(T \in B \mid H_0 \text{ верна}) \leq \alpha. \quad (1)$$

Область B можно найти практически, если известно распределение (или по меньшей мере асимптотическое распределение) контрольной величины T.

Метод проверки состоит в следующем. Производится выборка, которая дает частное значение t контрольной величины T. Если $t \in B$, т.е. если осуществляется событие, имеющее очень малую вероятность α, то от гипотезы H_0 отказываются. Если t не лежит в B, то можно заключить, что данные наблюдения не противоречат принятой гипотезе.

Ошибочное решение, когда гипотеза H_0 отвергается, хотя она и верна, называют *ошибкой первого рода*. Чем меньше α, тем меньше вероятность того, что совершается ошибка первого рода.

Ошибочное решение, когда гипотеза H_0 не отвергается, хотя она неправильна, называют *ошибкой второго рода*. Если α задано, то, согласно условию (132), критическую область B можно выбрать бесконечно многими способами. Ее выбирают так, чтобы вероятность допустить ошибку второго рода была по возможности наименьшей.

Критерии, при помощи которых проверяют, удовлетворяет ли рассматриваемая случайная величина X заданному закону распределения $F_0(x)$. Они называются критериями согласия. Критерий согласия χ^2 служит для проверки гипотезы H_0 о том, что $F_X(x) = F_0(x)$, где $F_X(x)$ - функция распределения X, а $F_0(x)$ - заданное (гипотетическое) распределение.

Область значений случайной величины X делится на конечное число непересекающихся множеств (так называемых классов) $\Delta_1, \ldots, \Delta_k$. При непрерывном X множества Δ_i являются промежутками, при дискретном X - группами возможных значений X. Пусть p_i, есть "теоретическая вероятность" того, что X попадает в Δ_i, если гипотеза H_0 верна. Если $\Delta_i = [a_i, b_i)$, то

$$p_i = F_0(b_i) - F(a_i). \quad (2)$$

Теперь из X производится выборка (X_1, …,X_n) объема n. Пусть M_i - число значений выборки в Δ_i. Тогда

$$\sum_{i=1}^{k} p_i = 1, \ \sum_{i=1}^{k} M_i = n.$$

Разбиение на классы довольно произвольно. Количество интервалов разбиения определяется по формуле Стерджесса (1):

$$k = 1 + \log_2 n,$$

где n - число измерений.

Для суточного графика с числом измерений $n = 24 \cdot 60 = 1440,$

$$k = 1 + \log_2 1440 = 12.$$

В рекомендациях [14] также указано, что "оптимальное" значение k зависит не только от объема выборки, но и от вида закона распределения и от способа группирования.

При асимптотически оптимальном группировании относительно скалярного параметра при 10, 11 интервалах в группированной выборке сохраняется около 98% информации, при оптимальном группировании относительно вектора параметров (два параметра) для 15 интервалов - около 95%. Дальнейшее увеличение числа интервалов существенного значения не имеет.

Окончательно принимаем $k = 15.$

Контрольная величина равна

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} = \sum_{i=1}^{k} \frac{m_i^2}{np_i} - n. \quad (3)$$

В предположении, что гипотеза H_0 верна, X имеет асимптотическое χ^2-распределение с $m = k - 1$ степенями свободы. Если производится оценка r параметров, то остается только $m = k - r - 1$ степеней свободы. Так как χ^2 есть мера отклонения истинного распределения от гипотетического, то гипотеза отвергается, если значение, вычисленное по конкретной выборке согласно формуле (134), превышает определенное критическое значение. Это критическое значение χ^2_α для заданного уровня значимости α и $m = k - r - 1$ степеней свободы находят из справочных данных (таблица 1.2.2.7 [26]) или вычисляют на ЭВМ как квантиль χ^2 - распределения.

Рассмотрим гипотезу о нормальном распределении несимметрии по нулевой последовательности на шинах НН трансформатора. Следовательно, гипотетическое распределение имеет плотность

$$f(k_{\text{нс}}; a, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)^2}, \quad (4)$$

которая содержит два неизвестных параметра a и σ.

По выборке из 1440 значений были вычислены наиболее правдоподобные оценки для a и σ, т.е. среднее значение и стандартное отклонение соответственно:

$$a = \bar{k}_{\text{нс}} = \frac{\sum_{i=0}^{1439} k_{\text{нс}\,i}}{1440} = 1{,}17\%,$$

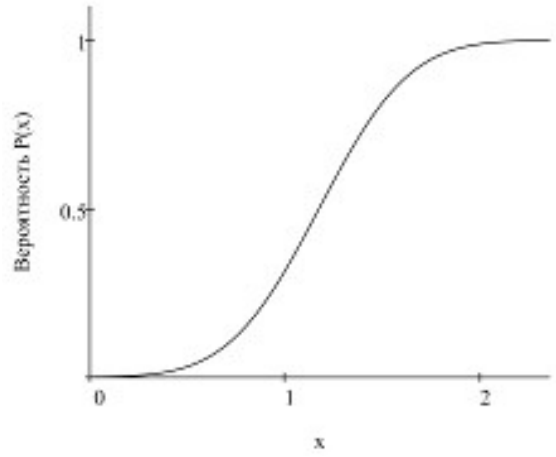
$$\sigma^2 = s^2 = \frac{\sum_{i=0}^{1439} \left(k_{\text{нс}\,i} - \bar{k}_{\text{нс}}\right)^2}{1439} = 0{,}132.$$

Таким образом, функция распределения $F_0(x)$, используемая для проверки, имеет плотность

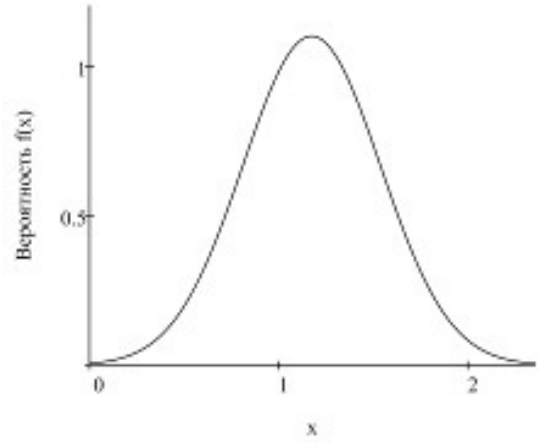
$$f\left(k_{\text{нс}}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot 0{,}132}} \mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\frac{(x-11{,}7)^2}{0{,}132}}. \quad (5)$$

При помощи измерительного прибора было проведено 1440 измерений средних за минуту значений несимметрии. Коэффициент несимметрии по нулевой последовательности изменялся в диапазоне от 0,26% до 2,35%. Этот интервал разделен на 15 промежутков.

Графики функции распределения и плотности вероятности изображены на рисунке 1. Таблица 1 содержит все данные, необходимые для расчета.



а)



б)

Рисунок 1 - Нормальное распределение:

а) функция распределения; б) плотность вероятности.

Расчет величины χ^2

Таблица 1

i	Интервал в %	m_i	p_i	np_i	$\frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$
1 2	< 0,4 0,4 -	8 34 80 131	0,0107	15,4 34,4	3,53 0,01
3 4	0,54 0,54 -	168 195	0,0239	66,7 111,7	2,65 3,33
5 6	0,68 0,68 -	206 191	0,0468	161,7 202,5	0,24 0,28
7 8	0,82 0,82 -	182 104 68	0,0776	219,1 205	0,79 0,96
9 10	0,96 0,96 -	38 22 10 2	0,1133	165,9 116	1,57 1,24
11	1,1 1,1 -		0,1416	70,1 36,7	0,07 0,05
12	1,24 1,24 -		0,1532	16,6 6,5 2,2	1,78 1,92
13	1,37 1,37 -		0,1434		0,02
14	1,51 1,51 -		0,1162		
15	1,65 1,65 -		0,0816		
	1,79 1,79 -		0,0487		
	1,93 1,93 -		0,0255		
	2,07 2,07 -		0,0115		
	2,21 >2,21		0,0045		
			0,0015		
Σ		1440	1,0000	1440	18,4

Итак, $\chi^2 = 18{,}2.$ Для уровня значимости $\alpha = 0{,}05$ и числа степеней свободы $m = 15 - 2 - 1 = 12$ находим квантиль χ^2-распределения:

$$\chi^2_{1-\alpha\,(m)} = \chi^2_{0{,}95\,(12)} = 21{,}0.$$

Так как вычисленное χ^2 меньше, то гипотеза о нормальной распределенности несимметрии по нулевой последовательности не противоречит материалу наблюдений.

Приложение 3

Установленная мощность оборудования

Таблица 1

№ п/п	Наименование операций	Рабочая машина	Количество	$P_{уст}$, кВт	η, %	Суммарная мощность, кВт
1	Вентиляция	Вентилятор 140 R/S ПриводBelimo NM 230A Вентилятор 1680M Привод форточек WM125	8 10 4 2	1,1 0,0025 0,95 0,09	79,5 100 79,5 60,0	11,1 0,03 4,78 0,3
2	Транспортировка плат в ОТК и склад (лента-транспортер)	Мотор-редуктор 0,5 л. с. Мотор-редуктор 1 л. с.	4 1	0,37 0,75	72,0 78,5	2,1 0,96
3	Освещение	Люминесцентные лампы Наружное освещение	96 2	0,011 0,25	100 100	1,06 0,5
Всего:						**20,8**

Расчет потерь и отклонений напряжения ($\delta U = +8\%$)

Таблица 2

День	Потери электроэнергии, кВт·ч			Среднее отклонение напряжения, %		Удельные потери, %	Общее потребление, кВт·ч
	в линиях	в трансформаторе	всего	Цех	Другие потребители		
1	13,2	4,7	17,9	5,8	4,5	4,1	434
12	10,0	3,5	13,5	6,2	5	3,6	372
40	14,5	5,0	19,5	5,7	4,3	4,3	451

Расчет потерь и отклонений напряжения ($\delta U = +5\%$)

Таблица 3

День	Потери электроэнергии, кВт·ч			Среднее отклонение напряжения, %		Удельные потери, %	Общее потребление, кВт·ч
	в линиях	в трансформаторе	всего	цех	Другие потребители		
1	12,5	4,4	16,9	2,9	1,6	4,1	410
12	9,4	3,3	12,7	3,2	2,1	3,6	352
40	13,7	4,8	18,4	2,8	1,4	4,3	426

Расчет потерь и отклонений напряжения ($\delta U = +2{,}5\%$)

Таблица 4

День	Потери электроэнергии, кВт·ч			Среднее отклонение напряжения, %		Удельные потери, %	Общее потребление, кВт·ч
	в линиях	в трансформаторе	всего	Цех	Другие потребители		
1	11,9	4,2	16,1	0,4	-0,83	4,1	391
12	9,0	3,2	12,1	0,8	-0,36	3,6	335
40	13,0	4,5	17,6	0,3	-1,02	4,3	406

Годовое потребление электроэнергии и годовые потери для электроприемников цеха и др.потребителей

Таблица 5

Отклонение напряжения в сети δU, %	Общее потребление, кВт·ч	Потери, кВт·ч	Удельные потери, %
+8	147 620	5 799	3,9
+5	139 530	5 481	3,9
+2,5	132 970	5 223	3,9

Годовое потребление электроэнергии и годовые потери

Таблица 6

Отклонение напряжения в сети δU, %	Общее потребление, кВт·ч	Потери, кВт·ч	Удельные потери, %
+8	442 380	17 370	3,9
+5	418 140	16 420	3,9
+2,5	398 470	15 640	3,9

Запас температурного воздействия по загрузке двигателя

Таблица 7

Загрузка $\beta_м$, %	100	90	80	70	60
Запас A_β, %	0	3,3-5,2	5,9-9,2	7,2-12	8,7-13,6

Запас температурного воздействия по отклонению напряжения

Таблица 8

Отклонение напряжения δU, %	-5	0	+5	+10
Запас $A_{\delta U}$, %	0	5,5-8,5	6,9-10,5	7,2-11,1

Приложение 4

Дополнительные потери активной мощности, обусловленные несимметрией и несинусоидальностью напряжений, вычисляются для трансформаторов по формуле

$$\Delta P_{\text{т доп}} = \left(2{,}67K_{2\text{U}}^2 + 1{,}62\sum_{v=2}^{\infty} \frac{1+0{,}05v^2}{v\sqrt{v}} U_v^2 \right) \frac{S_{\text{н}}}{10^4}, \quad \text{(Приложение 4-1)}$$

где $S_{\text{н}}$ *- номинальная полная мощность трансформатора, кВ·А.*

Для асинхронных двигателей значения коэффициентов определяют по формулам [24]:

$$k_2 = 2{,}41k_{\text{д}}; \quad \text{(П4-2)}$$

$$k_{\text{г}} = 2k_{\text{д}}. \quad \text{(П4-3)}$$

Коэффициент $k_{\text{д}}$ зависит от номинальной мощности двигателя и определяется по формулам:

$$\begin{aligned} &\text{при } P_{\text{н}} \le 5 \text{ кВт}, \ k_{\text{д}} = 3 + 0{,}3(5 - P_{\text{н}}); \\ &\text{при } 5 < P_{\text{н}} \le 100 \text{ кВт}, \ k_{\text{д}} = 1 + 0{,}02(100 - P_{\text{н}}); \\ &\text{при } 100 < P_{\text{н}} \le 1000 \text{ кВт}, \ k_{\text{д}} = 0{,}4 + 0{,}0007(1000 - P_{\text{н}}); \\ &\text{при } P_{\text{н}} > 1000 \text{ кВт}, \ k_{\text{д}} = 0{,}4. \end{aligned} \quad \text{(П4-4)}$$

Для практических расчетов используется следующая формула дополнительных потерь [22]:

$$P_{\text{АД доп}} = \left(k_2 K_{2\text{U}}^2 + k_{\text{г}} \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{U_\nu^2}{\nu\sqrt{\nu}} \right) \frac{P_{\text{н}}}{10^4}, \quad \text{(П4-5)}$$

где $P_{\text{н}}$ - номинальная мощность машины.

Коэффициент искажения для трансформаторов

$$k_{\text{иск}} = 207 K_{2\text{U}}^2 + 610 \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{1 + 0{,}05\nu^2 + \frac{1{,}7}{\sqrt{\nu}}}{\nu\sqrt{\nu}} U_\nu^2. \quad \text{(П4-6)}$$

Величина, обратная *z*, называется кратностью снижения срока службы:

$$\gamma = \frac{1}{z} = \text{e}^{b\Delta\tau} = \text{e}^{k_{\text{иск}}}, \quad \text{(П4-7)}$$

где $k_{\text{иск}}$ - коэффициент искажения.

Для асинхронных двигателей

$$k_{\text{иск}} = 389 K_{2\text{U}}^2 + 434 \sum_{\nu=2}^{\infty} \frac{U_\nu^2}{\nu\sqrt{\nu}}. \quad \text{(П4-8)}$$

Температурное воздействие обратной последовательности и высших гармоник, определяемого по формуле:

$$A_{2,v} = 120\sqrt{K_{2U}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} \frac{U_v^2}{\sqrt{v}}}. \quad \text{(П4-9)}$$