

Электромагнитная совместимость в электротехнических комплексах

К.Т.Н., доцент

Беспалов Александр Владимирович



УТВЕРЖДЕН
Решением Комиссии
Таможенного союза
от 9 декабря 2011г. №879



ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
ТАМОЖЕННОГО СОЮЗА

ТР ТС 020/2011

Электромагнитная совместимость
технических средств

Электромагнитная совместимость - способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

электромагнитная обстановка - совокупность электромагнитных явлений и процессов в заданной области пространства.

электромагнитная помеха - электромагнитное явление или процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства.

Виды электромагнитных помех, создаваемых техническим средством и (или) воздействующих на техническое средство

1. Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи:

- установившиеся отклонения напряжения электропитания;
- искажения синусоидальности напряжения электропитания;
- несимметрия напряжений в трехфазных системах электроснабжения;
- колебания напряжения электропитания;
- провалы, прерывания и выбросы напряжения электропитания;
- отклонения частоты в системах электроснабжения;
- напряжения сигналов, передаваемых в системах электроснабжения;
- постоянные составляющие в сетях электропитания переменного тока;
- наведенные низкочастотные напряжения.

Виды электромагнитных помех, создаваемых техническим средством и (или) воздействующих на техническое средство

2. Низкочастотные излучаемые электромагнитные помехи:

- магнитные поля;
- электрические поля.

3. Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи, включая промышленные радиопомехи:

- напряжения или токи, представляющие собой непрерывные колебания;
- напряжения или токи, представляющие собой переходные процессы (апериодические и колебательные).

4. Высокочастотные излучаемые электромагнитные помехи, включая промышленные радиопомехи:

- магнитные поля;
- электрические поля;
- электромагнитные поля, в том числе вызываемые непрерывными колебаниями и переходными процессами.

5. Электростатические разряды.

1. Провода, шнуры, кабели и кабельные сборки.
2. Технические средства, содержащие только резистивную нагрузку и не имеющие автоматических переключающих устройств, например, бытовые электрические обогреватели без термостатов или вентиляторов.
3. Электрические батареи и аккумуляторы и питаемое от них световое оборудование без активных электронных цепей.
4. Наушники и громкоговорители без функций усиления.
5. Защитное оборудование, создающее переходные электромагнитные помехи малой длительности (много менее 1с) в результате срабатывания при коротком замыкании или ненормальной ситуации в электрической цепи, не содержащее предохранителей (устройств аварийного отключения) с активными электронными частями.
6. Высоковольтное оборудование, в котором возможные источники электромагнитных помех обусловлены только локализованными дефектами изоляции (например, высоковольтные индукторы, высоковольтные трансформаторы), при условии, что указанное оборудование не содержит активных электронных частей.
7. Конденсаторы, например, конденсаторы для коррекции коэффициента мощности.
7. Индукционные электродвигатели.
8. Кварцевые часы (без дополнительных функций, например, радиоприема).
9. Лампы накаливания.
10. Штепселя, розетки, плавкие предохранители, выключатели и автоматические выключатели без активных электронных цепей.
11. Пассивные антенны для приема радио- и телевидения.

ГОСТ Р 51317.2.4-2000 (МЭК 61000-2-4-94)

Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий

Класс 1 Данный класс применяется для электромагнитной обстановки в защищенных системах электроснабжения и характеризуется уровнями электромагнитной совместимости более низкими, чем уровни электромагнитной совместимости в системах электроснабжения общего назначения. Он соответствует применению ТС, восприимчивых к помехам в питающей сети, например, контрольно-измерительного лабораторного оборудования, отдельных средств управления технологическими процессами и защиты, образцов вычислительной техники некоторых видов и т.д.

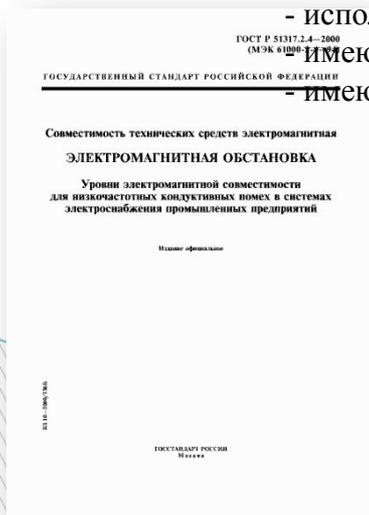
Класс 2 Данный класс обычно применяется для электромагнитной обстановки в Топ и ТВП для промышленных условий эксплуатации ТС. Уровни электромагнитной совместимости данного класса идентичны таковым для систем электроснабжения общего назначения. Поэтому ТС, предназначенные для подключения к электрическим сетям общего назначения, могут применяться в условиях данного класса промышленной электромагнитной обстановки.

Класс 3 Данный класс электромагнитной обстановки применяется только для ТВП в промышленных условиях эксплуатации ТС. Он имеет более высокие уровни электромагнитной совместимости, чем таковые для класса 2 в отношении некоторых электромагнитных явлений, вызывающих помехи. Электромагнитная обстановка должна быть отнесена к классу 3 в случае, если имеет место любое из следующих условий:

- питание большей части нагрузки осуществляется через преобразователи;
- используется электросварочное оборудование;
- имеют место частые пуски электродвигателей большой мощности;
- имеют место резкие изменения нагрузок в электрических сетях.

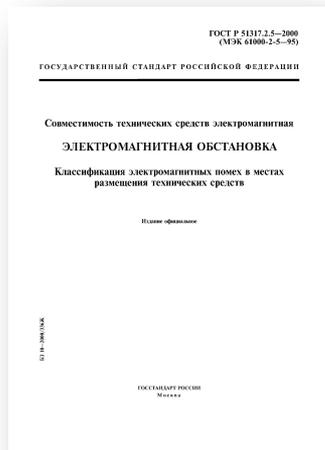
В некоторых случаях при применении ТС, обладающих повышенной восприимчивостью к помехам, может быть необходимым установление уровней электромагнитной совместимости более низких, чем те, которые соответствуют классу 1 электромагнитной обстановки. В этом случае уровни электромагнитной совместимости согласовываются в каждом конкретном случае (**контролируемая электромагнитная обстановка**).

При функционировании некоторых образцов промышленного оборудования, таких как дуговые печи и мощные преобразователи, которые обычно питаются от отдельного фидера, часто создаются помехи, уровни которых превышают значения, соответствующие классу 3 (**жесткая электромагнитная обстановка**).



Уровни электромагнитной совместимости для колебаний напряжения, провалов напряжения, несимметрии напряжений, *отклонений напряжения* и изменений частоты

Вид помехи	Класс электромагнитной обстановки		
	1	2	3
Колебания напряжения (изменения напряжения по отношению к номинальному напряжению) $\Delta U / U_{\text{НОМ}}$	$\pm 8\%$	$\pm 10\%$	От 10 до -15%
Провалы напряжения**:			
$\Delta U / U_{\text{НОМ}}$	От 10 до 100%	От 10 до 100%	От 10 до 100%
Δt , полупериодов	1	От 1 до 300	От 1 до 300
Несимметрия напряжений (напряжение обратной последовательности основной частоты $U_{\text{обр}}$ к номинальному напряжению) $U_{\text{обр}} / U_{\text{НОМ}}$	2%	2%	3%
Отклонение напряжения (изменения установившегося напряжения по отношению к номинальному напряжению)	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
Изменения частоты по отношению к номинальной частоте $\Delta f / f_{\text{НОМ}}$	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$



ГОСТ Р 51317.2.5-2000 (МЭК 61000-2-5-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств (входит в доказательную базу ТР ТС 020/2011)

Степень интенсивности электромагнитной помехи	$K_{НС}$	Порядок гармоник																
		Нечетные гармоники (не кратные 3)								Нечетные гармоники (кратные 3)					Четные гармоники			
		5	7	11	13	17	19	23-25	>25	3	9	15	21	>21	2	4	6-10	>10
A	В соответствии с требованиями к ТС конкретного вида																	
1	8	6	5	3,5	3	2	1,5	1,5	*	5	1,5	0,3	0,2	0,2	2	1	0,5	0,2
2	10	8	7	5	4,5	4	4	3,5	**	6	2,5	2	1,7	1	3	1,5	1	1
X	В соответствии с характеристиками места размещения ТС																	

**Уровни электромагнитных помех в части излучаемых импульсных (переходных)
электромагнитных полей (скорость изменения, В/м·нс)**

Параметр и степень интенсивности электромагнитной помехи	Источник электромагнитной помехи			
	Молниевые разряды на землю*	Выключатели с газовой изоляцией на электрических подстанциях**	Выключатели на открытых электрических подстанциях	Перенапряжения от молниевых разрядов и коммутационной деятельности в воздушных линиях электропередач
Длительность фронта	100-500 нс**	10 нс***	100 нс***	1 мкс***
A	В соответствии с требованиями к ТС конкретного вида			
1	30	100	30	3
2	100	300	100	10
3	300	1000	300	30
4	1000	3000	1000	100
5	3000	10000	3000	300
X	В соответствии с характеристиками мест размещения ТС			

Уровни электромагнитной совместимости для различных классов мест размещения технических средств

Класс 1 мест размещения ТС

Характерные признаки применительно к портам ТС

Порт корпуса:

- ТС не располагается под высоковольтными линиями электропередач;
- радиовещательные передатчики расположены на удалении более 1 км. Если этот признак не выполняется, то для высокочастотных излучаемых электромагнитных полей применяются условия класса 2 мест размещения ТС;
- радиостанции любительской радиосвязи расположены на удалении более 200 м.

Порты электропитания переменного тока:

- могут быть подключены к воздушным силовым линиям малонаселенных районов;
- подвергаются значительному воздействию молниевых разрядов;
- сеть электропитания имеет относительно высокое полное сопротивление.

Порты электропитания постоянного тока - не применяются.

Порты ввода-вывода сигналов:

- подключаемые линии связи проходят в малонаселенных районах;
- подключаемые кабели управления имеют обычно длину не более 10 м;
- подвергаются значительному воздействию молниевых разрядов.

Порты защитного заземления:

- могут быть подвержены воздействию помех, возникающих в воздушных линиях электропередачи в результате молниевых разрядов;
- местное заземление может отсутствовать или иметь высокое полное сопротивление;
- многочисленные местные заземляющие устройства могут быть не связаны между собой.

Примечание - Класс 1 может быть типичным для применения ТС в жилых помещениях сельской местности.

Электромагнитная помеха		Степень интенсивности электромагнитной помехи для портов различного вида					
		Ссылка на номер таблицы настоящего стандарта	Порт корпуса	Порт электро-питания переменного тока	Порт электро-питания постоянного тока	Порт ввода-вывода сигналов	Порт заземления
Низкочастотные кондуктивные электромагнитные помехи	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	1	-	1	-	-	-
	Постоянный ток в сетях переменного тока	*	-	*	-	*	-
Низкочастотное магнитное поле	От систем постоянного тока	5	1	-	-	-	-
	На частоте электрической тяги		2	-	-	-	-
Низкочастотное электрическое поле	От систем постоянного тока	6	1	-	-	-	-
	На основной частоте электропитания		2	-	-	-	-
Высокочастотные кондуктивные наведенные непрерывные колебания	10-150 кГц	7	-	2	-	3	*
	30-150 МГц		-	2	-	2	*
Высокочастотные кондуктивные электромагнитные помехи от систем сигнализации по силовым линиям	3-95 кГц	3	-	1	-	-	-
	95-500 кГц		-	1	-	-	-
Высокочастотные кондуктивные аperiodические электромагнитные помехи	Наносекундной длительности	8	-	-	-	-	-
	Миллисекундной длительности		-	1	-	-	*
Высокочастотные кондуктивные колебательные, переходные помехи	Высокой частоты	9	-	3	-	1	*
	Низкой частоты		-	1	-	-	*
Высокочастотные излучаемые электромагнитные поля (непрерывные колебания)	9 кГц-27 МГц (любые источники)	10	3	-	-	-	-
	1-40 ГГц (все источники)		2	-	-	-	-
Высокочастотные излучаемые импульсные электромагнитные поля	Молниевые разряды	11	2	-	-	-	-
	Помехи в системах электропитания		2	-	-	-	-
Электростатические разряды	Медленный	12, 13	3	-	-	-	-
	Быстрый		3	-	-	-	-

ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (входит в доказательную базу ТР ТС 020/2011)

1. **Отклонение частоты** - отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения, Δf
2. **Медленные изменения напряжения** - отрицательное и положительное отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального/согласованного значения, %
3. **Колебания напряжения** - кратковременная доза фликера, длительная доза фликера, одиночные быстрые изменения напряжения.
4. **Несинусоидальность напряжения** - значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка, значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения
5. **Несимметрия напряжений в трехфазных системах** - коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности)
6. **Прерывания напряжения** - Остаточное напряжение и длительность прерывания напряжения
7. **Провалы напряжения и перенапряжения** - Остаточное напряжение и длительность провала напряжения, количество и величина перенапряжений ()
8. **Импульсные напряжения**

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(MTC)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
32144—
2013

Электрическая энергия

Совместимость технических средств
электромагнитная

НОРМЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

(EN 50160:2010, NEQ)

Издание официальное

Министерство
Стандартизации
2014

Отклонение частоты

- отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю;
- отклонение частоты в изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками, не подключенных к синхронизированным системам передачи электрической энергии, не должно превышать ± 1 Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и ± 5 Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Медленные изменения напряжения

положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10% номинального или согласованного значения напряжения в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Колебания напряжения и фликер

Кратковременная доза фликера не должна превышать значения 1,38, длительная доза фликера не должна превышать значения 1,0 в течение 100% времени интервала в одну неделю. Обычно одиночные быстрые изменения напряжения не превышают 5% в электрических сетях низкого напряжения и 4% - в электрических сетях среднего напряжения, но иногда изменения напряжения с малой продолжительностью до 10% и до 6% соответственно могут происходить несколько раз в день.

Н
е
с
и
н
у
с
о
и
д
а
л
ь
н
о
с
т
ь
н
а
п
р
я
ж
е
н
и
яКоэффициент
искажения
синусоидально
сти кривой
напряжения K_U Характеризует
степень
несинусоидальнос
ти кривой
напряжения в
точках общего
присоединения к
электрическим
сетям.

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

допускается вместо действующего
значения напряжения основной
частоты U_1 использовать
номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}}$. $U_{\text{НОМ}} = 0,38 \text{ кВ}$

8 %

12 %

 $U_{\text{НОМ}} = 6-20 \text{ кВ}$

5 %

8 %

 $U_{\text{НОМ}} = 35 \text{ кВ}$

4 %

6 %

 $U_{\text{НОМ}} = 110-330 \text{ кВ}$

2 %

3 %

Коэффициент
n-ой
гармонической
составляющей
напряжения $K_{U(n)}$ Характеризует
величину
напряжения n-ой
гармонической
составляющей
напряжения в
точках общего
присоединения к
электрическим
сетям.

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)}^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

допускается вместо действующего
значения напряжения основной
частоты U_1 использовать
номинальное напряжение $U_{\text{НОМ}}$.
Анализируются действующие
значения гармонических
составляющих напряжения в
диапазоне гармоник от 2-й до 40-й.
Допускается не учитывать
гармонические составляющие,
значения которых менее 0,1%

К_{U(n)} для всех видов гармоник, нечетных, %

n	5	7	11	13	17	19	23	25	>25
0,38 кВ	6	5	1,5	1	2	1,5	1,5	1,5	0,2 ¹ 1,1 ² 0,1 ³
6-20 кВ	4	3	2	2	1,5	1	1	1	0,2 ¹ 0,8 ² 0,1 ³
35 кВ	3	2,5	2	2	1	1	1	1	0,2 ¹ 0,6 ² 0,1 ³
110-330 кВ	1,5	1	1	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2 ¹ 0,2 ² 0,1 ³

К_{U(n)} для нечетных гармоник, четных, %

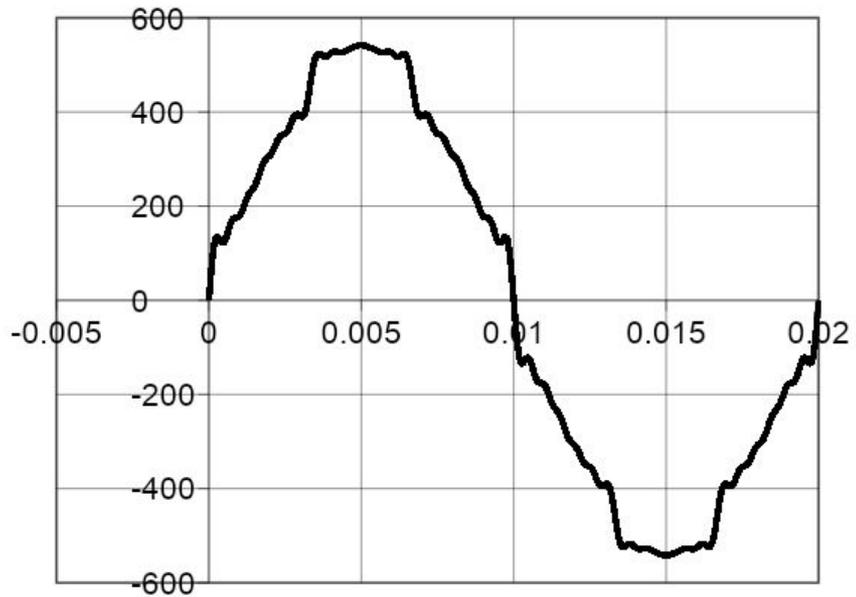
n	3	9	15	21	>21
0,38 кВ	5	1,5	0,7	0,2	0,2
6-20 кВ	3	1	0,7	0,2	0,2
35 кВ	3	1	0,7	0,2	0,2
110-330 кВ	1	1	0,7	0,2	0,2

К_{U(n)} для четных гармоник, %

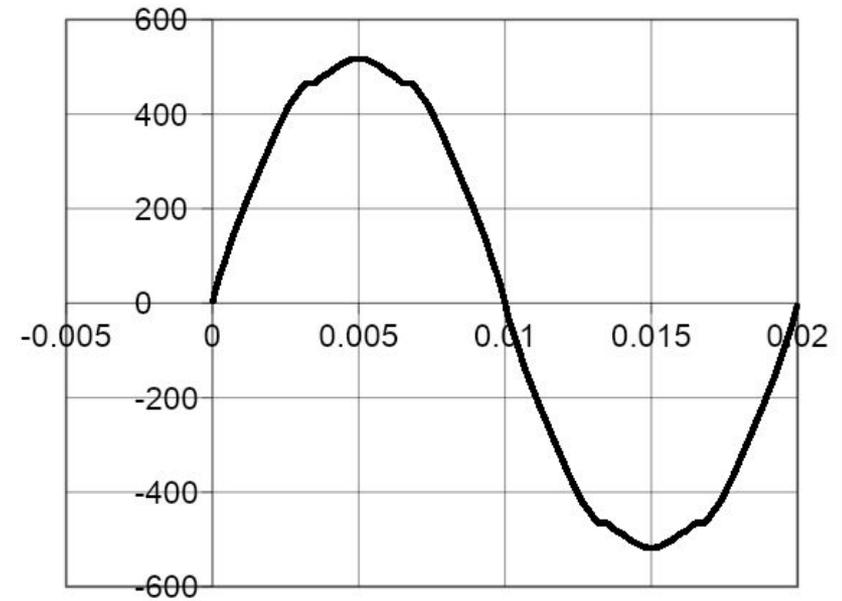
n	2	4	6	8	10	12	>12
0,38 кВ	2	1	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2
6-20 кВ	1,5	0,7	0,7	0,3	0,1	0,2	0,2
35 кВ	1	0,5	0,7	0,3	0,1	0,2	0,2
110-330 кВ	0,5	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Предел
ьное
значени
е
коэффи
циентов
превыш
ает
нормал
ьно
допусти
мое в
1,5 раза

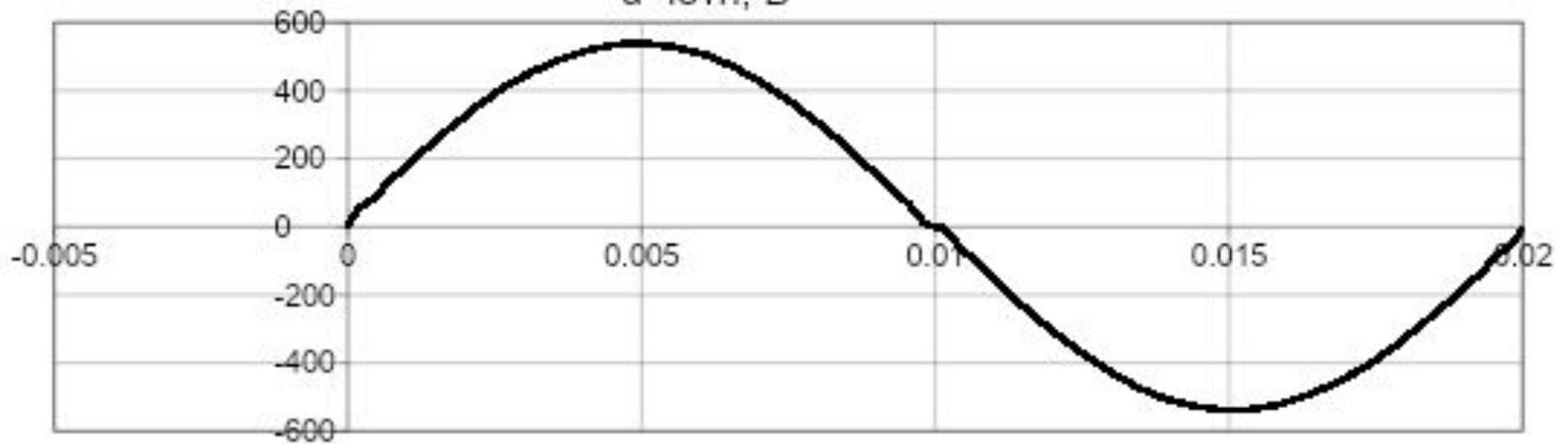
и не кратн 3, В

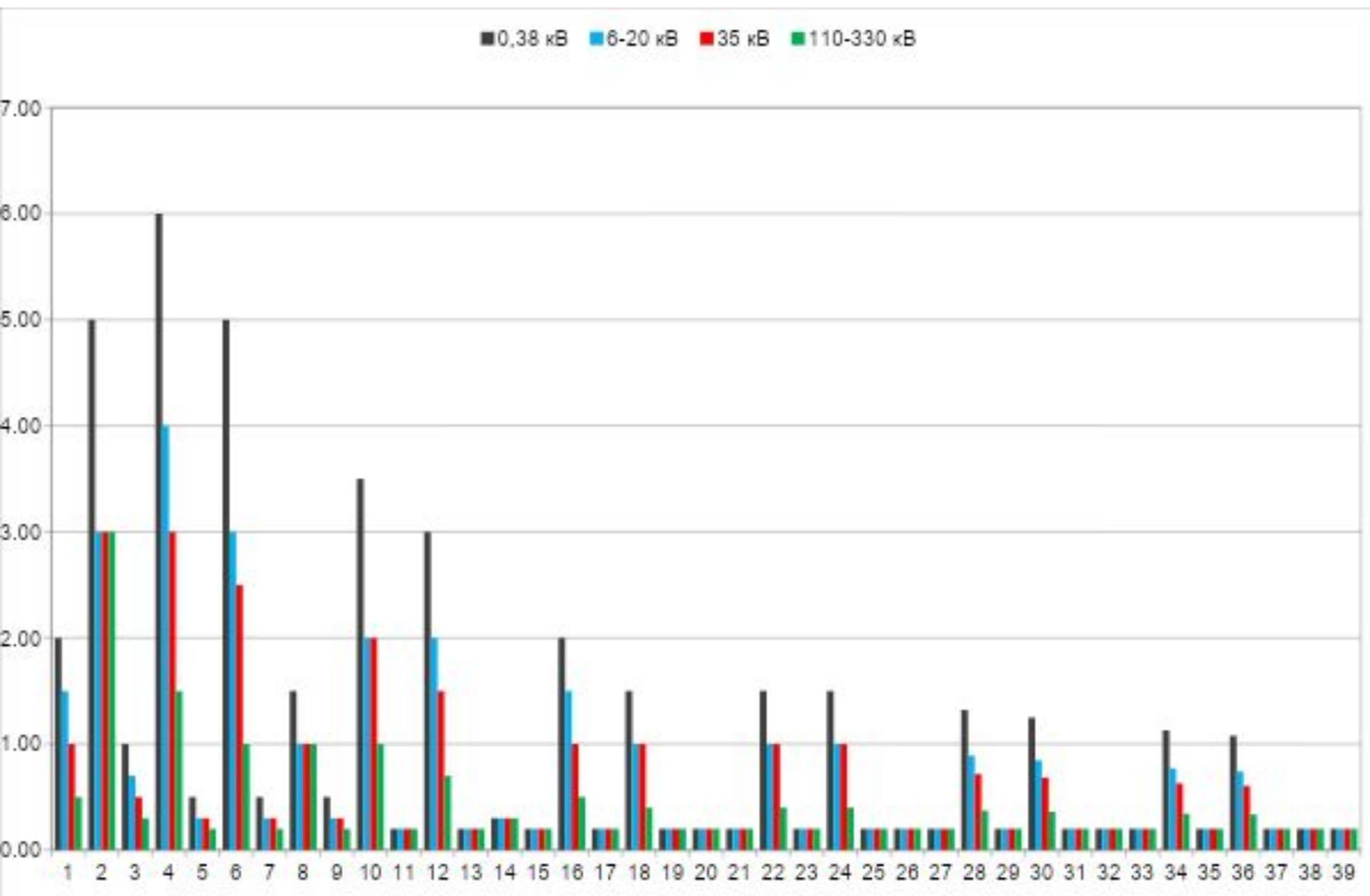


и кратн 3, В



и четн, В

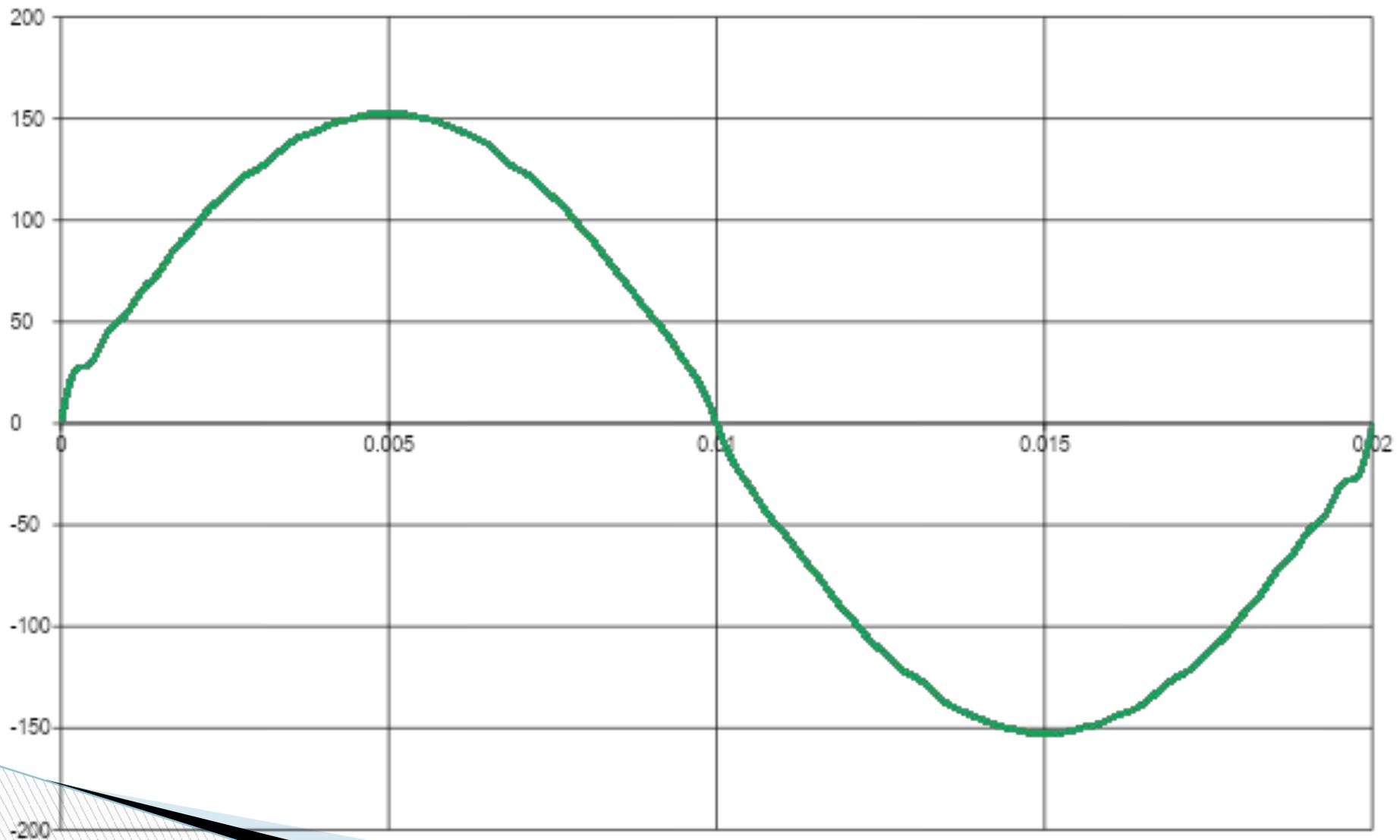




0,38 кВ



110 кВ



Несимметрия напряжения

Коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности

K_{2U}

Нормально допустимое и предельно допустимое значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности в точках общего присоединения к электрическим сетям.

$$K_{0U} = \frac{U_{0(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100$$

$U_{2(1)}$ – действующее значение напряжения последовательности частоты трехфазной напряжений.
 $U_{1(1)}$ – действующее значение напряжения последовательности частоты трехфазной напряжений. Вместо него допускается использование номинального напряжения.

Все потребители

2,0 %

4,0 %

Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности

K_{0U}

Нормально допустимое и предельно допустимое значения коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности в точках общего присоединения к четырехпроводным электрическим сетям с номинальным напряжением 0,38 кВ

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} \cdot 100$$

$U_{0(1)}$ – действующее значение напряжения последовательности частоты трехфазной напряжений.
 $U_{1(1)}$ – действующее значение напряжения последовательности частоты трехфазной напряжений. Вместо него допускается использование номинального напряжения.

Для четырехпроводных сетей с номинальным напряжением 0,38 кВ.

2,0 %

4,0 %

Отклонение частоты	Δf	Характеризует отклонение частоты напряжения электрической сети от номинального значения.	$\Delta f = \frac{f - f_{ном}}{f_{ном}} \cdot 100$	Все потребители	$\pm 0,2$ Гц	$\pm 0,4$ Гц
Провал напряжения	$\Delta t_{п}$	Внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже $0,9U_{ном}$, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от 10 мс до нескольких десятков секунд.	Характеризуется длительностью провала напряжения – интервалом времени между начальным моментом провала напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.	Электрические сети напряжением до 20 кВ	-	30 с
Импульс напряжения	$U_{имп}$	Резкое изменение напряжения в точке электрической сети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня за промежуток времени до нескольких миллисекунд	Характеризуется величиной импульсного напряжения и длительностью импульса	Устанавливается дополнительно	-	-
Временное перенапряжение	$K_{перU}$	Повышение напряжения в точке электрической сети выше 1,1 продолжительностью более 10 мс, возникающее в системах электроснабжения при коммутациях или коротких замыканиях.	Характеризуется коэффициентом временного перенапряжения $K_{перU}$ – величиной, равной отношению максимального значения огибающей амплитудных значений напряжения за время существования временного перенапряжения к амплитуде номинального напряжения сети, а также длительностью перенапряжения	Устанавливается дополнительно	-	-

4.2.1 Отклонение частоты

Показателем КЭ, относящимся к частоте, является отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения, δf , Гц

$$(1) \quad \delta f = f_m - f_{\text{ном}},$$

где: f_m – значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с;

$f_{\text{ном}}$ – номинальное значение частоты напряжения электропитания, Гц. Номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц.

Для указанного показателя КЭ установлены следующие нормы:

- **отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95 % времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100 % времени интервала в одну неделю;**

- **отклонение частоты в изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками, не подключенных к синхронизированным системам передачи электрической энергии, не должно превышать ± 1 Гц в течение 95 % времени**

4.2.2 Медленные изменения напряжения

ГОСТ Р 54149 – 2010

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения от номинального/согласованного значения напряжения электропитания **в точке (точке) передачи электрической энергии**, %:

$$(2) \quad \delta U_{(-)} = [(U_n - U_{m(-)}) / U_o] \cdot 100;$$

$$(3) \quad \delta U_{(+)} = [(U_{m(+)} - U_n) / U_o] \cdot 100;$$

где $U_{m(-)}$, $U_{m(+)}$ – значения напряжения электропитания, меньшие U_o и большие U_o соответственно, измеренные в интервале времени 10 мин; U_o – напряжение, равное стандартному номинальному напряжению $U_{\text{ном}}$ или **напряжению согласно договорным условиям U_o**

Для указанных выше показателей КЭ установлены следующие нормы: положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать **10 %** номинального (или согласно договорным условиям) значения напряжения в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

4.2.3 Колебания напряжения и фликер

Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин), в том числе, одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера.

Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера P_{lt} , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии. Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

кратковременная доза фликера P_{st} не должна превышать значения 1,38,
длительная доза фликера P_{lt} не должна превышать значения 1,0

в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

4.2.3.1 **Одиночные быстрые изменения напряжения**

Одиночные быстрые изменения напряжения вызываются, в основном, резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного установившегося значения к другому.

В электрических сетях низкого напряжения при нормальных рабочих условиях одиночные быстрые изменения напряжения обычно не превышают $5\% U_{nom}$, но изменения до $10\% U_{nom}$ с малой продолжительностью при некоторых обстоятельствах могут происходить несколько раз в день. В электрических сетях среднего напряжения при нормальных рабочих условиях одиночные быстрые изменения напряжения обычно не превышают $4\% U_c$, но изменения до $6\% U_c$ с малой продолжительностью

4.2.4 Несинусоидальность напряжения

ГОСТ Р 54149 – 2010

4.2.4.1 Гармонические составляющие напряжения

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются:

- значения гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка U_n , % U_1 в точке передачи электрической энергии, где U_1 – напряжение основной гармонической составляющей;
- значение полного коэффициента гармоник напряжения с учетом влияния всех гармоник напряжения до 40-го порядка $K_{U(n)}$, % в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- а) значения гармонических составляющих напряжения U_n , % U_1 , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1- 3, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;
- б) значения гармонических составляющих напряжения U_n , % U_1 , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблицах 1- 3, увеличенных в 1,5 раза, в течение 100 % времени каждого периода в одну неделю;
- в) значения полных коэффициентов гармоник напряжения $K_{U(n)}$, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, установленных в таблице 4, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;
- г) значения полных коэффициентов гармоник напряжения $K_{U(n)}$, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать

4.2.5 Несимметрия напряжений в трехфазных системах

Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} .

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю. .

4.3.1 Прерывания напряжения

Случайные прерывания напряжения подразделяются на длительные (длительность более 3 мин) и кратковременные (длительность не более 3 мин).

В трехфазных системах электроснабжения к прерываниям напряжения относят ситуацию, при которой напряжение меньше 5 % опорного напряжения во всех фазах. Если напряжение меньше 5 % опорного напряжения не во всех фазах, ситуацию рассматривают, как провал напряжения.

4.3.2 Провалы напряжения и перенапряжения

4.3.2.1 Провалы напряжения

провал напряжения рассматривается как двумерная электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью.

В трехфазных системах электроснабжения за начало провала напряжения принимают момент, когда напряжение в одной из фаз падает ниже порогового значения начала провала напряжения, за окончание провала напряжения принимают момент, когда напряжение во всех фазах возрастает выше порогового значения окончания провала напряжения.

В контексте требований настоящего стандарта длительность провала

4.3.2.2 Перенапряжения

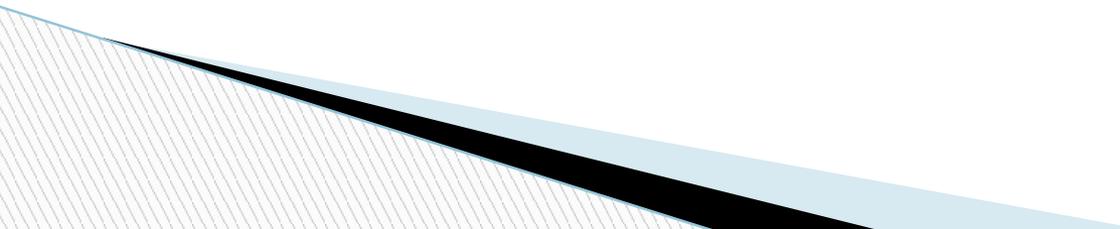
перенапряжения рассматриваются как двумерная электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью.

В контексте требований настоящего стандарта длительность перенапряжения может изменяться от 10 мс до 1 мин.

4.3.3 Импульсные напряжения

Импульсные напряжения в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети вызываются, в основном, молниевыми разрядами или процессами коммутации в электрической сети или электроустановке потребителя электрической энергии. Время нарастания импульсных напряжений может изменяться в широких пределах (от значений менее микросекунды до нескольких миллисекунд).

Медленные изменения напряжения (отклонения напряжения)

- суточные, сезонные и технологические изменения токовой нагрузки;
 - изменение мощности генераторов и компенсирующих устройств;
 - изменения схемы и параметров электрической сети.
 - дефицит реактивной мощности
- 

Отклонения напряжения оказывают значительное влияние на работу электродвигателей. В случае снижения напряжения на клеммах двигателя уменьшается реактивная мощность намагничивания, при той же потребляемой (активной) мощности увеличивается ток двигателя, что вызывает перегрев изоляции обмоток. Повышенная нагрузка на изоляцию приводит к сокращению срока службы двигателя. При значительном снижении напряжения на зажимах асинхронного двигателя, возможно его «опрокидывание», т.е. резкое падение вращающего момента на его валу и значительный рост тока в обмотках статора, что может привести к его возгоранию. Снижение напряжения ухудшает и условия пуска двигателя, так как при этом уменьшается его пусковой момент. Повышение напряжения на выводах двигателя, сверх нормы, приводит к увеличению потребляемой им реактивной мощности, которую необходимо компенсировать.

Вентильные преобразователи обычно имеют систему автоматического регулирования постоянного тока путем фазового управления. Угол регулирования автоматически изменяется прямо пропорционально изменению напряжения питающей сети. Повышение напряжения на 1 % приводит к увеличению потребления реактивной мощности преобразователем на (1,0 ... 1,5) %, что ведёт к ухудшению коэффициента мощности.

Электротермическое оборудование, электролизные и сварочные установки также чувствительны к отклонениям напряжения. Понижение напряжения приводит к увеличению производственного процесса во времени, а иногда и к браку продукции.

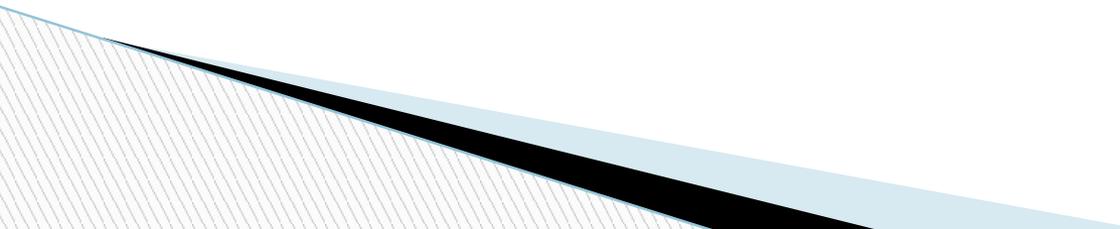
Следует также отметить одно простое, но очень важное правило, общее для любых потребителей электрической энергии **при повышении напряжения сверх номинального происходит перерасход электроэнергии по сравнению с уровнем ее потребления в номинальном режиме работы электрооборудования.**

Первый способ, основанный на снижении потерь напряжения в питающих линиях, может быть реализован за счет снижения активного и реактивного сопротивлений. Снижение активного сопротивления достигается **увеличением сечения проводов**, а реактивного – применением устройств компенсации. Емкостная компенсация параметров линии заключается в последовательном включении конденсаторов в рассечку линии, благодаря чему уменьшается ее реактивное сопротивление.

Эффективным средством регулирования напряжения являются **источники реактивной мощности**. Их воздействие основано на снижении перетоков реактивной мощности по линиям питающей сети, т. е. на снижении составляющей потерь напряжения. В качестве источников реактивной мощности используются синхронные двигатели, работающие в режиме перевозбуждения, конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы и статические тиристорные компенсаторы.

Второй способ заключается в **регулировании уровня напряжения в центре питания и у потребителя**. Технически это осуществляется путем изменения коэффициента трансформации с помощью систем переключения витков обмоток трансформатора без возбуждения и регулирования под нагрузкой

Колебания напряжения

- тяговые подстанции;
 - приводы реверсивных прокатных станов;
 - дуговые сталеплавильные печи;
 - сварочные аппараты;
 - электролизные установки;
 - синхронные машины при асинхронном ходе
- 

К числу потребителей электрической энергии чрезвычайно чувствительных к колебаниям напряжения относятся осветительные приборы, особенно лампы накаливания и электронная техника.

Колебания напряжения вызывают мигание ламп накаливания (фликер эффект), что порождает неприятный психологический эффект у человека, утомление зрения и организма в целом. Это ведет к снижению производительности труда, а в ряде случаев и к травматизму. Колебания напряжения нарушают нормальную работу и уменьшают срок службы электронной аппаратуры: устройств телефонно-телеграфной связи, теле-, радио-, приемопередающей аппаратуры, офисной и бытовой техники.

При значительных колебаниях напряжения могут быть нарушены условия нормальной работы электродвигателей, возможно отпадание контактов магнитных пускателей с соответствующим отключением работающих двигателей.

Колебания напряжения с размахом (10 ... 15) % могут привести к выходу из строя конденсаторных батарей, а также вентильных преобразователей. На металлургических заводах возможно разрушение сердечников индукционных плавильных печей. Снижается производительность электролизных установок, сокращается срок их службы вследствие повышенного износа анодов. Колебания амплитуды и фазы напряжения вызывают колебания электромагнитного момента, активной и реактивной мощностей синхронных генераторов предприятий, а это сказывается на экономичности работы станции. Колебания фазы напряжения вызывают вибрации электродвигателей, механических конструкций и трубопроводной арматуры. В последнем случае снижается усталостная прочность металла, сокращается срок его службы.

Их компенсация осуществляется путем применения быстродействующих источников реактивной мощности, способных компенсировать изменения реактивной мощности.

Для снижения влияния резкопеременной нагрузки на чувствительные приемники электрической энергии применяют способ разделения, при котором резкопеременную и чувствительную к колебаниям напряжения нагрузки присоединяют к разным трансформаторам.

Также для этой цели применяют трансформаторы с расщепленной обмоткой и сдвоенные реакторы.

Несинусоидальность напряжения

- вентиляные преобразователи;
- силовое электрооборудование с тиристорным управлением;
- дуговые и индукционные электропечи;
- люминесцентные лампы;
- установки дуговой и контактной сварки;
- преобразователи частоты;
- бытовая техника (компьютеры, телевизоры и др.).

В двигателях гармоники напряжения и тока приводят к появлению добавочных потерь в обмотках ротора, в цепях статора, а также в стали статора и ротора. Из-за вихревых токов и поверхностного эффекта потери в проводниках статора и ротора больше, чем определяемые омическим сопротивлением. Токи утечки, вызываемые гармониками в торцевых зонах статора и ротора, также приводят к дополнительным потерям. Все это приводит к повышению общей температуры машины и к местным перегревам, наиболее вероятным в роторе, что может привести к серьезным последствиям. Также следует отметить, что при определенных условиях наложения гармоник может возникнуть механическая вибрация ротора.

В трансформаторах гармоники напряжения вызывают увеличение потерь на гистерезис, потери, связанные с вихревыми токами в стали, и потери в обмотках. Кроме того, сокращается срок службы изоляции. Увеличение потерь в обмотках наиболее важно в случае преобразовательного трансформатора, так как наличие фильтра, присоединенного обычно к стороне переменного тока, не снижает гармоник тока в трансформаторе. Кроме того, могут наблюдаться локальные перегревы трансформаторного бака.

В батареях конденсаторов гармоники тока также приводят к добавочным потерям энергии. Вследствие этого происходит дополнительный нагрев конденсатора, который может привести к выходу последнего из строя. Также возможно повреждение конденсатора при возникновении гармонических резонансов в сети.

Гармоники могут нарушать работу устройств защиты или ухудшать их характеристики. Характер нарушения зависит от принципа работы устройства. Наиболее распространенными являются ложные срабатывания, которые наиболее вероятны в работе систем защиты, основанных на измерении сопротивлений.

Влияние гармоник на индукционные приборы измерения мощности и учета электроэнергии приводит к увеличению погрешности результатов их измерений.

Также следует отметить влияние гармоник, возникающих в силовых цепях, на сигналы в линиях связи (в частности, в телефонных линиях). Малый уровень шума приводит к определенному дискомфорту, при его увеличении часть передаваемой информации теряется, в исключительных случаях связь становится вообще невозможной.

- схемные решения: выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин, группирование вентильных преобразователей по схеме умножения фаз, подключение нелинейной нагрузки к системе с большей мощностью короткого замыкания;
- применение оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник, например «не насыщающихся» трансформаторов и многофазных вентильных преобразователей;
- использование фильтровых устройств: параллельных узкополосных резонансных фильтров, фильтрокомпенсирующих и фильтросимметрирующих устройств.

Несимметрия трехфазной системы напряжений

Наиболее распространенными источниками несимметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения являются такие потребители электрической энергии, симметричное многофазное исполнение которых или невозможно, или нецелесообразно по технико-экономическим соображениям. К таким установкам относятся индукционные и дуговые электрические печи, тяговые нагрузки железных дорог, тяговые подстанции троллейбусов и трамваев, электросварочные агрегаты, специальные однофазные нагрузки, осветительные установки и т.д.

неполнофазная работа линий или других элементов в сети;

различные параметры линий в разных фазах.

дополнительный нагрев электродвигателей, увеличение суммарных потерь, перегрев нулевых проводников, возможность пожара, увеличение сопротивлений заземляющих устройств, увеличение пульсаций выпрямленных напряжений, нарушение управления тиристорных преобразователей, некачественная компенсация реактивной мощности конденсаторными установками. Несимметричные режимы напряжений в электрических сетях имеют место также в аварийных ситуациях при обрыве фазы, рабочего нуля или несимметричных коротких замыканиях.

- выравнивание нагрузок фаз
- специальные симметрирующие устройства.
- уменьшения тока нулевой последовательности и снижения сопротивления нулевой последовательности в элементах сети.

Отклонение частоты

Причина: дефицит активной мощности в системе

снижение производительности электроприводов,
снижение сроков службы электрических машин,
искажения телевизионного изображения.

Для восстановления частоты применяется
автоматическая частотная разгрузка системы

