

## ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ - 026

### Электромагнитная совместимость – МЭК 61000-3-3:2013 Техническое руководство по измерению фликера

#### ВВЕДЕНИЕ

В данной статье обсуждается стандарт измерения параметров электромагнитной совместимости МЭК 61000-3-3:2013, включая соответствующие выдержки из стандарта МЭК 61000-4-15 (ГОСТ Р 51317.4.15) и некоторые объяснения относительно анализа колебаний напряжения и фликера в низковольтных электрических сетях общего пользования. В статье также объясняется то, как компания N4L гарантирует соответствие своей продукции (анализатор гармоник и фликера ПРИЗМА-551/1 и ПРИЗМА-551/3, источник мощности АС серии N4A, эквиваленты сети [стандартное полное сопротивление]  $Z_{REF}$  серии IMP) данному стандарту.

#### Что такое фликер?

Формальным определением фликера является: «ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени» (ГОСТ Р 50397-2011).

Фликер можно рассматривать как некий признак изменения нагрузки, с результирующим изменением напряжения на зажимах этой нагрузки. Так как нагрузка подключается к источнику напряжения с конечным импедансом, то любое изменение (модуляция) нагрузки будет приводить к колебаниям напряжения в питающей нагрузку линии.

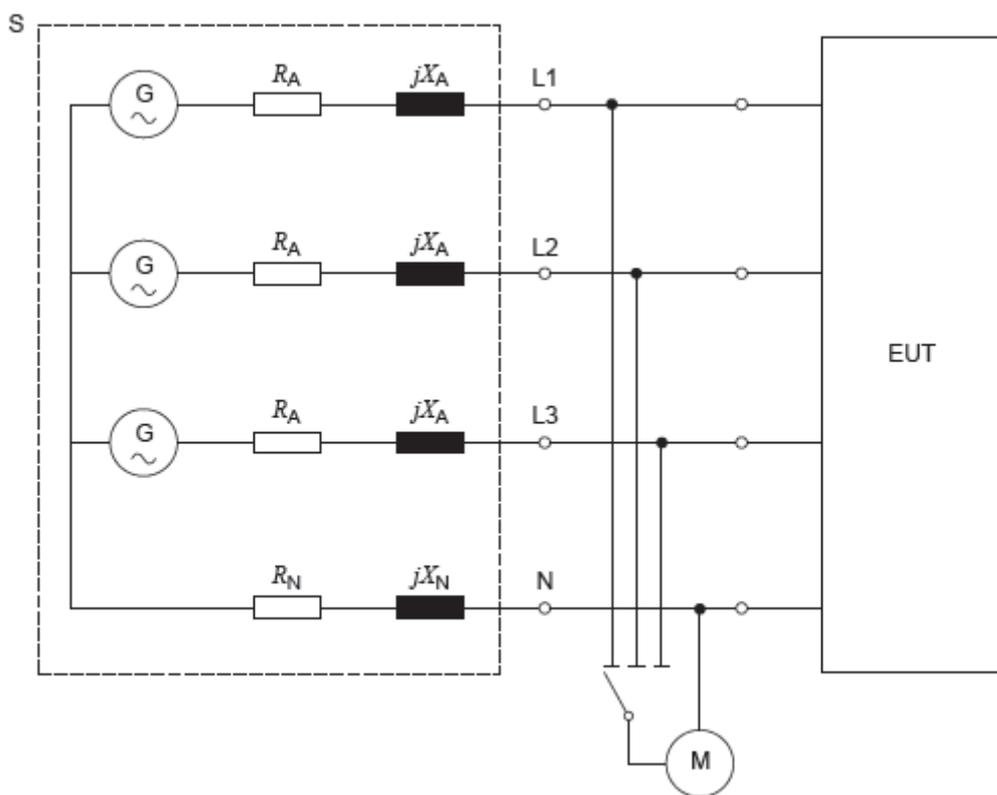
Стандарт МЭК 61000-3-3:2013 (соответствующий МЭК 61000-3-3:2005 – ГОСТ Р 51317.3.3-2008) касается ограничения изменений и колебаний напряжения, и последующего фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Стандарт указывает пределы изменения напряжения, вызываемые электрическим и электронным оборудованием при испытаниях с указанными в стандарте условиями.

#### Стандарт МЭК 61000-3-3:2013

Стандарт МЭК 61000-3-3:2013 распространяется на электрическое и электронное оборудование с номинальным потребляемым током не более 16А на одну фазу. Если тестируемое устройство, с использованием стандартного полного сопротивления электрической цепи  $Z_{REF}$ , не соответствует нормам, указанным в стандарте МЭК 61000-3-3:2013, то устройство может быть испытано и оценено на соответствие стандарту МЭК 61000-3-11 (ГОСТ Р 51317.3.11). Стандарт МЭК 61000-3-11 распространяется на оборудование с потребляемым током не более 75А на фазу, и подключаемое к электрическим низковольтным сетям общего пользования при определенных условиях.

#### ЧТО ТАКОЕ $Z_{REF}$ ?

$Z_{REF}$  – это международно-установленное название эталонного полного сопротивления для электрических низковольтных сетей общего пользования. Диаграмма такого сопротивления представлена ниже:



IEC 945/13

Рисунок 1 (по МЭК 61000-3-3:2013)

### Примечания:

G - генератор (источник) напряжения

EUT – тестируемое устройство (Equipment Under Test - EUT)

M – измерительное устройство

S – источник электропитания, который содержит генератор (источник) напряжения G и эталонное полное сопротивление Z ( $R_A$ ,  $jX_A$ ,  $R_N$ ,  $jX_N$ )

$R_A = 0.24 \text{ Ом}$ ;  $jX_A = 0.15 \text{ Ом}$  на частоте 50 Гц

$R_N = 0.16 \text{ Ом}$ ;  $jX_N = 0.10 \text{ Ом}$  на частоте 50 Гц

## ТРЕБОВАНИЯ К ИЗМЕРИТЕЛЬНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

При измерении фликера в реальных условиях,  $Z_{REF}$  представляет собой физическую цепь с некоторым импедансом, состоящим из резистивного и индуктивного компонентов, размещенных между источником питания AC и тестируемым устройством (EUT). Компания N4L обеспечивает поставку всей испытательной системы целиком, включая программируемый источник мощности AC, цепь с эталонным полным сопротивлением и анализатор фликера (с функциями анализа гармоник и электрической мощности).

## ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ИСТОЧНИК МОЩНОСТИ AC

Раздел 6.3 стандарта МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) содержит требования к источнику мощности AC при измерении фликера. Обобщенные данные приведены в таблице ниже:

Инновационный дизайн шунтов для повышения точности измерения

Newton's4th Ltd 1 Bede Island Road Leicester, LE2 7EA UK

Tel: +44 (0)116 230 1066

### Требования к питающему напряжению (источник мощности АС) в соотв. с МЭК 61000-3-3

Требования	Программируемые источники мощности АС серии N4Axh компании N4L
Испытательное напряжение электропитания (или напряжение холостого хода) должно быть равно номинальному напряжению питания тестируемого устройства (EUT)	0 – 300Вскз. однофазная модификация; 0 – 520Вскз. трехфазная модификация
Отклонение испытательного напряжения от номинального значения должно быть не более $\pm 2\%$	$\pm 0.1\%$
Стабильность частоты должна быть в пределах $\pm 0.25\text{Гц}$	$\pm 0.01\text{Гц}$
Коэффициент синусоидальности кривой напряжения (THD) не должен превышать 3%	Лучше чем 0.3%

Таблица 1

### $Z_{REF}$ – ЭТАЛОННОЕ ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Раздел 6.4 стандарта МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) содержит требования к эталонному импедансу  $Z_{REF}$ .

Стандарт МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) ссылаются на стандарт IEC/TR 60725:2005, который определяет синфазный и квадратурные компоненты эталонного импеданса  $Z_{REF}$ . Необходимо заметить, что импеданс  $Z_{REF}$  включает в себя импеданс стандартного полного сопротивления  $Z$  и выходной импеданс источника напряжения АС. Но так как импеданс источников мощности АС серии N4A крайне мал, то им можно пренебречь.

### АНАЛИЗАТОР ФЛИКЕРА

Раздел 4.2.1 стандарта МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) ссылаются на стандарт МЭК 61000-4-15:2010 (а также ГОСТ Р 51317.4.15), который определяет технические требования, включая этапы обработки сигнала, к совместимому со стандартом анализатору фликера. Модели анализаторов фликера и гармоник ПРИЗМА-551/1 и ПРИЗМА-551/3 компании N4L полностью соответствуют стандарту МЭК 61000-4-15:2010. Более того, при необходимости компания N4L может провести калибровку анализаторов ПРИЗМА по стандарту ISO17025 силами своей собственной лаборатории (аккредитованной UKAS).

### ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Параметры для оценки изменений напряжений известны как «d»-значения, и представляют собой величины  $d_{(t)}$ ,  $d_c$ ,  $d_{max}$ ,  $T_{max}$ .

- $d_{(t)}$  – характеристика относительного изменения напряжения. Представляет собой временную функцию относительного изменения ср-кв. значений напряжения источника питания за каждую половину периода между моментами нулевого значения, при установившемся напряжении.
- $d_c$  – максимальное установившееся относительное изменение напряжения за период наблюдения.
- $d_{max}$  – максимальное абсолютное изменение напряжения за период наблюдения.

- $T_{\max}$  – максимальный период времени, в течение которого ср-кв. значение напряжения за полупериод превышает предельное значение  $d_c$ . Во время изменения напряжения, величина  $T_{\max}$  суммируется до тех пор, пока не будет достигнуто установившееся состояние напряжения.

### КРАТКОВРЕМЕННАЯ ДОЗА ФЛИКЕРА $P_{ST}$

Величина величины  $P_{st}$  рассчитывается в соответствии со стандартом МЭК 61000-4-15 (а также ГОСТ Р 51317.4.15). Период наблюдения для оценки величины составляет 10 минут.

### ДЛИТЕЛЬНАЯ ДОЗА ФЛИКЕРА $P_{LT}$

Величина длительной дозы фликера рассчитывается в соответствии с формулой:

$$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{(\sum_{i=1}^N P_{ST, i}^3)}{N}}$$

где  $P_{ST, i}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) – последовательные значения кратковременной дозы фликера

### ПОДКЛЮЧЕНИЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Если тестируемое устройство (EUT) не соответствует нормам, указанным в стандарте МЭК 61000-3-3 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008), при проведении испытаний с использованием эталонного импеданса  $Z_{REF}$ , то производитель оборудования вправе указать, что тестируемое устройство должно быть подключено в точке присоединения к электрической сети, имеющей импеданс меньший, чем  $Z_{REF}$ . Это объясняется тем, что падение напряжения на сопротивлении (активном или комплексном), прямо пропорционально этому сопротивлению. Если импеданс источника в точке подключения ниже (при таких же изменениях нагрузки), то и колебания напряжения, а следовательно и фликер, в этой точке также будут ниже.

### ОЦЕНКА ФЛИКЕРА

Базисом для оценки фликера является характеристика изменения напряжения на зажимах тестируемого устройства (EUT). Компания N4L использует метод «фликерметра» для оценки величины  $P_{st}$ . Существуют и другие методы, они указаны в разделе 4.2 стандарта МЭК 61000-3-3 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008), но они сопровождаются пояснением, что номинальное напряжение  $U_{(t)}$  должно быть заранее известно для проведения методов симуляции.

Таким образом, для оценки фликера необходимо рассмотреть разность между двумя последовательными ср-кв. значениями напряжения питания за половину периода между моментами нулевого значения:

$U_{hp}(t_1)$  – ср-кв. значение на половину периода (\* hp – half period) в момент времени  $t_1$ .

$U_{hp}(t_2)$  – ср-кв. значение на половину периода (\* hp – half period) в момент времени  $t_2$ .

$\Delta U_{hp}(t) = U_{hp}(t_1) - U_{hp}(t_2)$

Изменение напряжения  $\Delta U_{hp}(t)$  на зажимах тестируемого устройства (EUT) обусловлено падением напряжения на эталонном импедансе  $Z_{REF}$ , вызванным изменением потребляемого комплексного тока основной частоты. Стандарт МЭК 61000-3-3 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) описывает это изменение комплексного тока основной частоты, состоящего из двух компонентов:

$\Delta I_p$  = активная составляющая изменения комплексного тока

$\Delta I_q$  = реактивная составляющая изменения комплексного тока

Если тестируемое устройство (EUT) демонстрирует индуктивный характер нагрузки по отношению к источнику напряжения, а также для однофазных и симметричных трехфазных тестируемых устройств (EUT), изменение напряжения  $\Delta U_{hp}$  может быть приближенно определено по формуле:

$$\Delta U_{hp} = | \Delta I_p R + \Delta I_q X |,$$

где  $\Delta I_p$  и  $\Delta I_q$  – синфазная и квадратурная составляющие изменения комплексного тока  $\Delta I$ ;

R и X – синфазные и квадратурные составляющие комплексного импеданса.

## ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Относительное изменение напряжения вычисляется по формуле:

$$d = \Delta U_{hp} / U_n, \text{ где } U_n \text{ – номинальное значение фазного напряжения}$$

Как ранее было указано,  $d_{max}$  представляет собой максимальное абсолютное изменение напряжения. Таким образом, оценка величины  $d_{max,i}$  прекращается в момент достижения нового значения установившегося напряжения, либо в момент окончания периода наблюдения (измерения).

Положительное значение  $d_{max,i}$  регистрируется в том случае, если максимальное изменение напряжения есть результат снижения напряжения по отношению к предыдущему значению  $d_{end,i}$ .

Отрицательное значение  $d_{max,i}$  регистрируется в том случае, если максимальное изменение напряжения есть результат повышения напряжения по отношению к предыдущему значению  $d_{end,i}$ .

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИВОЙ $P_{ST} = 1$

Кривая  $P_{ST} = 1$  является широко известной концепцией, однако, не всегда понимаемой. График, представленный ниже (взят из стандарта МЭК 61000-3-3:2013) иллюстрирует общую концепцию. Необходимо запомнить, что если характеристика тестируемого устройства (EUT) располагается ниже кривой  $P_{ST} = 1$ , то искажения, вносимые устройством в питающую электрическую сеть, считаются приемлемыми в кратковременном периоде (разница между кратковременным и долговременным периодом будет объяснена далее в статье).

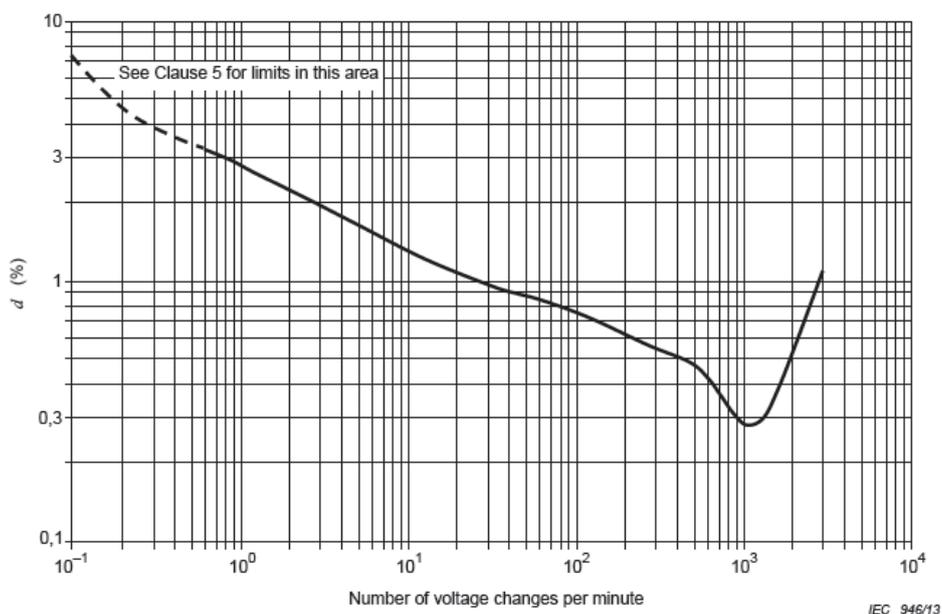


Рисунок 2 (МЭК 61000-3-3:2013)

Если проанализировать рабочие точки на графике  $P_{ST} = 1$ , то возможно определить относительное изменение напряжения ( $d$ -значение) и число изменений напряжения за минуту, соответствующее выбранному уровню помех (возмущений).

**Пример:**

Для 230В системы электроснабжения, относительное изменение напряжения в 1%, соответствующее значению кратковременной дозы фликера  $P_{ST} = 1$ , потребует 25 изменений напряжения в минуту. См. рисунок 3 ниже.

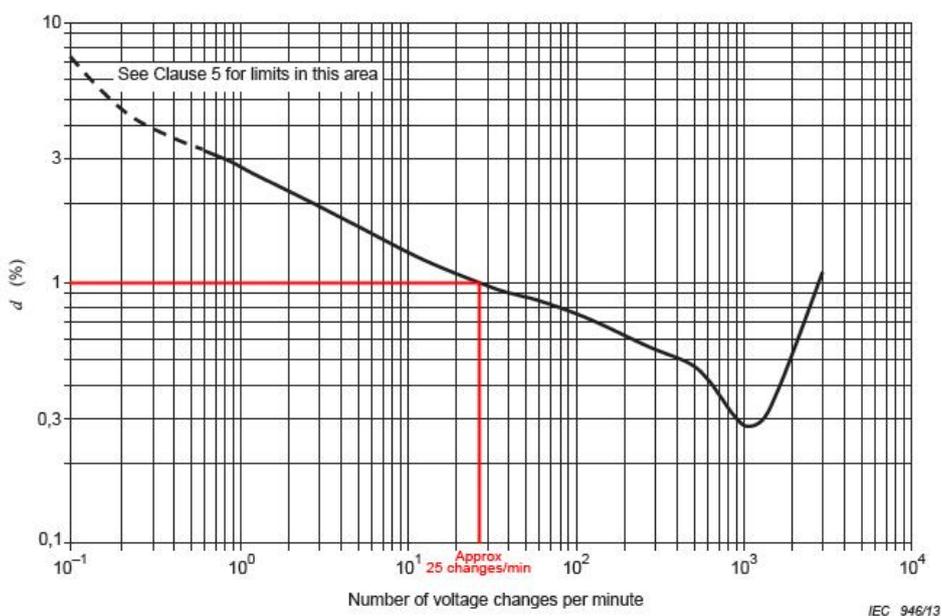


Рисунок 3 (МЭК 61000-3-3:2013)

Иными словами, при изменении напряжения в 1% при частоте 25 изменений в минуту, будет достигнута величина кратковременной дозы фликера  $P_{ST} = 1$ .

Сказанное также подтверждает таблица D1 из приложения D (Annex D) стандарта МЭК 61000-3-3.

### Annex D (informative)

#### Input relative voltage fluctuation $\Delta V/V$ for $P_{st} = 1,0$ at output [IEC/TR 61000-3-7:2008]

**Table D.1 – Input relative voltage fluctuation  $\Delta V/V$  for  $P_{st} = 1,0$  at output**

Fluctuation rate (r) changes/min	Voltage fluctuation %		Fluctuation rate (r) changes/min	Voltage fluctuation %	
	120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz System		120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz system
0,1	8,202	7,4	176	0,739	0,64
0,2	5,232	4,58	273	0,65	0,56
0,4	4,062	3,54	375	0,594	0,5
0,6	3,645	3,2	480	0,559	0,48
1	3,166	2,724	585	0,501	0,42
2	2,568	2,211	682	0,445	0,37
3	2,25	1,95	796	0,393	0,32
5	1,899	1,64	1 020	0,35	0,28
7	1,695	1,459	1 055	0,351	0,28
10	1,499	1,29	1 200	0,371	0,29
22	1,186	1,02	1 390	0,438	0,34
39	1,044	0,906	1 620	0,547	0,402
48	1	0,87	2 400	1,051	0,77
68	0,939	0,81	2 875	1,498	1,04
110	0,841	0,725			

NOTE 1 Two consecutive voltage changes (one positive and one negative) constitute one "cycle", i.e. two voltage changes per second correspond to a 1 Hz fluctuation.

NOTE 2 These curves are based on 60 W incandescent lighting. While other lighting equipment can give different results, these curves are adopted as reference to allow consistent evaluations across a wide variety of situations.

NOTE 3 Different versions of this table exist in the literature with very minor differences.

## ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОЙ ДОЗЫ ФЛИКЕРА $P_{LT}$

Длительная доза фликера  $P_{LT}$  рассчитывается при значении  $N = 12$  по указанной ниже формуле:

$$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{(\sum_{i=1}^N P_{ST, i}^3)}{N}}$$

Стандарт указывает, что оценку длительной дозы фликера  $P_{LT}$  необходимо получить для устройств, длительность рабочего цикла которых в нормальных условиях превышает 30 минут.

## НОРМЫ (ПРЕДЕЛЫ)

Указанные в стандарте МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) нормы (предельные значения), применяются к изменениям напряжения и фликеру, измеренным на сетевых зажимах тестируемого устройства (EUT). Это крайне важное замечание, так как любой компонент, проводящий ток, имеет конечный импеданс, а следовательно на нем будет некоторое падение напряжения. Например, кабели, соединяющие источник питания АС и тестируемое устройство (EUT). И если фликерметр размещен у входных зажимов тестируемого устройства (EUT), необходимо помнить, что общий эталонный импеданс  $Z_{REF}$  будет также включать импеданс соединяющих кабелей. Комплектные измерительные системы по МЭК 61000 компании N4L учитывают дополнительный импеданс соединяющих кабелей и имеют скомпенсированное значение эталонного импеданса  $Z_{REF}$ .

### Нормы изменения напряжения и фликера

Параметр	Норма
$P_{ST}$	Меньше, либо равно 1.0
$P_{LT}$	Меньше, либо равно 0.65
$T_{MAX}$	Отклонение более 3.3% накапливаемого значения относительного изменения напряжения $d_{(t)}$ на зажимах тестируемого устройства (EUT) в течение единичного изменения напряжения не должно превышать 500мс.
$d_c$	Максимальное установившееся относительное изменение напряжения не должно превышать 3.3%.
$d_{MAX}$	Максимальное относительное изменение напряжения (между двумя полупериодами) не должно превышать: 4% - при отсутствии дополнительных условий 6% - для тестируемого устройства (EUT), у которого: <ul style="list-style-type: none"> <li>- включение/выключение осуществляется в ручном режиме</li> <li>- включение/выключение осуществляется в автоматическом режиме более, чем 2 раза в день, и при условии повторного запуска с запаздыванием не менее чем на несколько десятков секунд. Либо повторный запуск после прерывания напряжения питания в ручном режиме.</li> </ul> 7% - для тестируемого устройства (EUT), которые: <ul style="list-style-type: none"> <li>- применяются/используются непосредственно пользователем</li> <li>- включаются/выключаются в автоматическом режиме не более 2 раз в день, при условии повторного запуска с запаздыванием не менее чем на несколько десятков секунд. Либо повторный запуск после прерывания напряжения питания в ручном режиме.</li> </ul>

Нормы на дозы фликера  $P_{ST}$  и  $P_{LT}$  не применяются при изменениях напряжения, вызванных ручным включение/выключением тестируемого устройства (EUT).

Также нормы не применяются при изменениях напряжения, связанных с аварийными режимами тестируемого устройства (EUT) в силу незначительной частоты появления таких состояний.

## УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

При изменениях напряжения, связанных с ручным включением/выключением тестируемого устройства (EUT), предполагается соответствие устройства нормам стандарта, без проведения дополнительных испытаний, если максимальное значение потребляемого тока (включая пусковой ток), определяемое во временном окне длительностью 10мс между моментами нулевого значения, не превышает 20А. И далее (после пускового тока) потребляемый устройством ток не должен превышать 1.5А. Если максимальное относительное изменение напряжения  $d_{MAX}$ , связанное с ручным включением/выключением устройства определяется измерительными методами (например, с помощью анализаторов ПРИЗМА-551/1 или ПРИЗМА-551/3), то измерение проводится в соответствии с приложением Б (Annex B) стандарта МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008).

## ПОГРЕШНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Стандарт МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) описывает погрешности для различных величин, относящихся к фликерметру (ПРИЗМА-551/1, ПРИЗМА-551/3), эквиваленту сети (или эталонному импедансу, модели IMP161, IMP163, IMP323, IMP753).

Требования к погрешностям результатов измерений приведены в разделе 6.2 стандарта МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008), и сведены в таблицу ниже:

Погрешность результатов измерений		
Параметр	Норма	Параметры N4L ПРИЗМА-551/x
Ток	$\pm(1\% + 10\text{mA})$	0.01% изм. значения + 0.0038% диапазона
Суммарная погрешность измерения, включая значения допусков для эталонного полного сопротивления и импеданса источника мощности AC	$\pm 8\%$	< 1%

## ЭТАЛОННОЕ ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Эталонный импеданс представляет собой стандартный импеданс, состоящий из сопротивлений и индуктивностей на каждой фазе. Значения величин указаны в стандарте МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) и приведены ниже на рисунке 4.

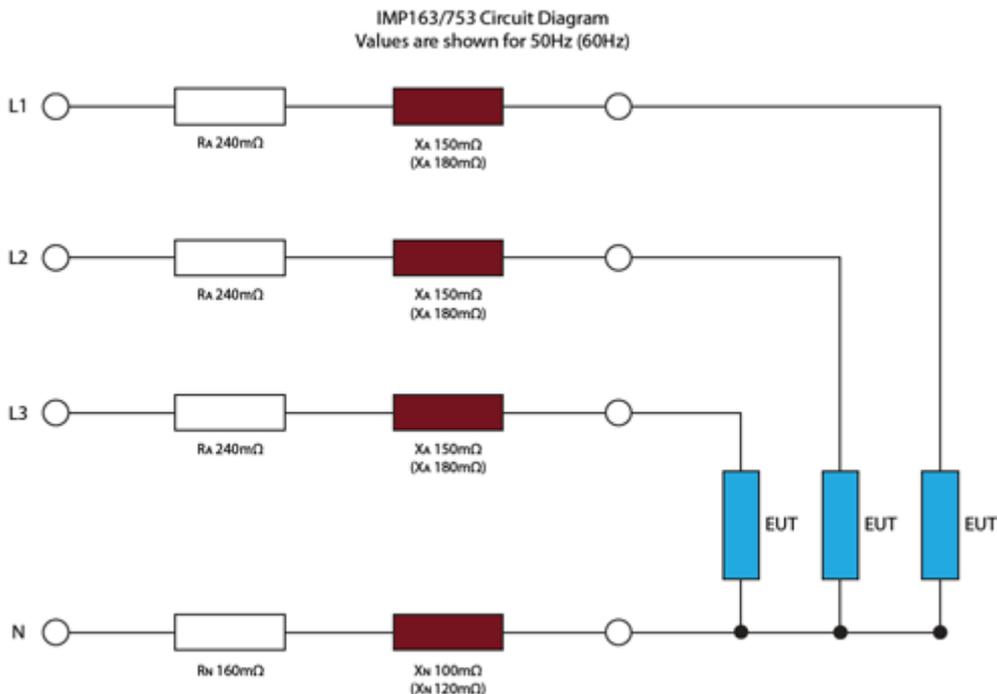


Рисунок 4.

Эталонный импеданс 50Гц (60Гц)	
Параметр	Значение
RA	240мОм
XA	150мОм (180мОм)
RN	160мОм
XN	100мОм (120мОм)

## ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЯ

Период наблюдения  $T_P$  для оценки дозы фликера указан в разделе 6.5 стандарта МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008).

Период наблюдения	
Параметр	Время
$P_{ST}$	10 минут
$P_{LT}$	2 часа

Стандарт рекомендует включать в период наблюдения ту часть рабочего цикла тестируемого устройства (EUT), в течение которой происходят «наблагоприятные последовательности изменения напряжения».

При оценке кратковременной дозы фликера  $P_{ST}$ , рабочий цикл устройства повторяется периодически, если иное не указано в Приложении А (Annex A) стандарта МЭК 61000-3-3. Минимальное время, требуемое для перезапуска устройства, включается в период наблюдения, и если устройство автоматически прекращает работу при продолжительности рабочего цикла меньше, чем период наблюдения.

При оценке длительной дозы фликера  $P_{LT}$ , повторять рабочий цикл устройства не требуется, если иное не указано в Приложении А (Annex A) стандарта МЭК 61000-3-3, в случае, если рабочий цикл меньше 2 часов и устройство не предназначено для продолжительного функционирования.

**Пример:**

Рабочий цикл устройство: 35 минут

Четыре последовательных значения  $P_{ST}$  измеряются в течение первого периода 40 минут.

Остальные восемь значений  $P_{ST}$  за 2 часовой период тестирования считаются равными нулю.

## ОБЩИЕ УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

Стандарт указывает общие условия испытаний для устройств, не вошедших в приложение А (Annex A) и рекомендует настроить тестируемое устройство таким образом, чтобы обеспечить создание наиболее неблагоприятной последовательности изменений напряжения (на сетевых зажимах устройства, подключенного к источнику мощности и опорному импедансу). При этом для настройки устройства используются только те режимы, которые указаны производителем в руководство по эксплуатации, либо те, которые могут быть использованы с большой степенью вероятности.

Таким образом, конкретное тестируемое устройство должно быть испытано в условиях, максимально приближенным к обычным рабочим условиям, указанным изготовителем.

## ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

При запуске двигателя, обратное электромагнитное поле, создаваемое вращающимся ротором, и проходящее через неподвижные обмотки двигателя равняется нулю. Таким образом, при механической частоте ротора равной нулю, потребляемый двигателем ток будет максимальным. Следовательно, логично сделать вывод, что для определения максимального пускового тока, проводить измерения необходимо при заторможенном роторе. Как следствие, максимальный пусковой ток соответствует максимальной величине  $d_{MAX}$ , т.е. максимальное значение  $d_{MAX}$  определяется во время измерения при заторможенном роторе. Такой метод является приемлемым для оценки  $d_{MAX}$ .

## ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВ С ОТДЕЛЬНЫМИ УПРАВЛЯЕМЫМИ ЦЕПЯМИ

Для тестируемых устройств (EUT), состоящих из отдельных управляемых цепей, каждая цепь рассматривается как отдельное тестируемое устройство внутри основного устройства. При этом подразумевается, что каждая отдельная цепь не предназначена для одновременного включения с другими цепями.

Если предполагается одновременное включение внутренних цепей, то группа таких цепей должна рассматриваться как отдельное тестируемое устройство.

**Пример:**

Система состоит из 14 внутренних цепей

Цепи 1, 3, 5 и 7 включаются одновременно (Система А)

Цепи 2, 4, 6, 8 ~ 14 включаются одновременно (Система Б)

Таким образом, имеется 2 внутренних тестируемых устройства, которые испытывают отдельно для всех 14 внутренних цепей.

Инновационный дизайн шунтов для повышения точности измерения

Newtons4th Ltd 1 Bede Island Road Leicester, LE2 7EA UK

Tel: +44 (0)116 230 1066

ПРИЛОЖЕНИЕ А (ANNEX A)

**МЭК 61000-3-3 (ГОСТ Р 51317.3.3-2008) Приложение А**

Тип устройства	Условия проведения испытаний
Кухонное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Длительная доза фликера <math>P_{LT}</math> не определяется.</li> <li>– Кратковременная доза фликера <math>P_{ST}</math> определяется при установившемся температурном режиме, если не указано иное.</li> </ul> <p><b>Электроплитки</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Испытываются с помощью обычного сосуда с водой (кастрюля), наполненного водой. Высота сосуда и масса воды указаны в Таблице А.1 стандарта МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008).</li> <li>– Кипение. Испытание проводят 5 раз в момент кипения воды и по результатам испытаний определяют среднее значение.</li> <li>– Жарка. Наполняют сосуд силиконовым маслом, массой, превышающей значения в Таблице А.1 в 1.5 раза. Устанавливают температуру 180°C. Контроль температуры осуществляется с помощью термопары.</li> <li>– Настройки мощности. Испытывают все дискретные установки мощности (максимум 10). Если дискретных установок мощности не предусмотрено, то разбить весь диапазон мощности на 10 дискретных интервалов.</li> </ul> <p><b>Печи для выпечки хлеба</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Испытываются пустыми, с закрытой дверцей.</li> <li>– Необходимо поместить термопару в центр духовки.</li> <li>– Установить температуру 220°C (печи обычного типа), 200°C (печи с циркуляцией горячего воздуха).</li> </ul> <p><b>Грили</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Испытываются пустыми, с закрытой дверцей, если иное не указано в технической документации производителя.</li> <li>– При возможности настройки – необходимо установить режимы наименьшей, средней и наибольшей температуры, и зарегистрировать худший результат.</li> </ul> <p><b>Комбинированная печь для выпечки хлеба/гриль</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Испытываются пустыми, с закрытой дверцей.</li> <li>– Необходимо поместить термопару в центр духовки.</li> <li>– Установить температуру 250°C (либо наиболее близкую из возможных).</li> </ul> <p><b>Микроволновые печи</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Испытываются с помещенным внутрь сосудом с водой, массой 1000гр.</li> <li>– Испытываются при минимальном, среднем и третьем (уровень, соответствующий либо максимальной мощности, либо 90% от максимальной мощности) уровне мощности.</li> <li>– Зарегистрировать худший результат.</li> </ul>
Световое оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>– При испытании использовать лампу, мощность которой соответствует мощности оборудования.</li> <li>– Дозы фликера <math>P_{ST}</math> и <math>P_{LT}</math> определяют только для устройств, которые с большой долей вероятности могут вызывать фликер, например, для оборудования для дискотек.</li> <li>– Для отдельных ламп, таких как флуоресцентные трубки, нормы не уста-</li> </ul>

	<p>навливаются.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Лампы накаливания (мощностью <math>\leq 1000\text{Вт}</math>), газоразрядные лампы (мощностью <math>\leq 600\text{Вт}</math>), LED лампы (мощностью <math>\leq 200\text{Вт}</math>), считают соответствующими нормам по <math>d_{\text{MAX}}</math> и не требующими дополнительного испытания.</li> <li>– Осветительные приборы с большей номинальной мощностью, и не соответствующие нормам данного стандарта, должны быть подключены к сети питания при определенных условиях в соответствии с МЭК 61000-3-11 (а также ГОСТ Р 51317.3.11).</li> </ul>
Стиральные машины	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Испытываются при выполнении полной программы, при нормальном цикле стирки хлопчатобумажной ткани без использования программы предварительной стирки (если возможно), при температуре <math>60^\circ\text{C}</math>.</li> <li>– При испытании используется дважды подогнутая и подшитая выстиранная хлопчатобумажная ткань (размер <math>70 \times 70\text{см}</math>, плотность <math>140 \sim 175\text{гр/м}^2</math>).</li> <li>– Температура воды <math>65^\circ\text{C}</math> (с нагревательным элементом), <math>15^\circ\text{C}</math> (остальные типы).</li> <li>– При программном управлении нагревательным элементом – предварительный подогрев воды до <math>60^\circ\text{C}</math>.</li> <li>– При отсутствии программного управления нагревательным элементом – предварительный подогрев воды до <math>90^\circ\text{C}</math>, или меньшей, если требуемое условие стирки выполняется.</li> <li>– При определении величин <math>d_{\text{C}}</math>, <math>d_{\text{MAX}}</math>, <math>T_{\text{MAX}}</math>, игнорируют одновременное включение двигателя и нагревателя.</li> <li>– Проводят оценку величин <math>P_{\text{ST}}</math> и <math>P_{\text{LT}}</math>.</li> </ul>
Барабанные сушилки	<ul style="list-style-type: none"> <li>– При испытании используют ткань, сухая масса которой составляет 50% от нормативного значения. При испытании используется дважды подогнутая и подшитая выстиранная хлопчатобумажная ткань (размер <math>70 \times 70\text{см}</math>, плотность <math>140 \sim 175\text{гр/м}^2</math>).</li> <li>– Замачивают материал в воде при температуре <math>25^\circ\text{C}</math>, добавляя 60% от изначальной массы ткани.</li> <li>– Если возможно, проводят испытания при минимальной и максимальной мощности.</li> <li>– Проводят оценку величин <math>P_{\text{ST}}</math> и <math>P_{\text{LT}}</math>.</li> </ul>
Холодильники	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Устройство должно работать непрерывно, с закрытой дверью.</li> <li>– Термостат устанавливается в среднее значение температуры.</li> <li>– Камера холодильника должна быть пустой и без подогрева.</li> <li>– Оценка величин <math>P_{\text{ST}}</math> и <math>P_{\text{LT}}</math> не требуется.</li> </ul>
Копировальные машины, лазерные принтеры и аналогичное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Оценка величины <math>P_{\text{ST}}</math> при максимальной скорости копирования (печати).</li> <li>– Для печати используется белая чистая бумага, плотностью <math>80\text{г/м}^2</math>, если в технической документации на устройство не указано иное.</li> <li>– Оценка величины <math>P_{\text{LT}}</math> производится в режиме ожидания (standby mode) устройства.</li> </ul>
Пылесосы	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Оценка величин <math>P_{\text{ST}}</math> и <math>P_{\text{LT}}</math> не требуется.</li> </ul>
Миксеры	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Оценка величин <math>P_{\text{ST}}</math> и <math>P_{\text{LT}}</math> не требуется.</li> </ul>
Переносные электрические инструменты	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Оценка величины <math>P_{\text{LT}}</math> не требуется.</li> <li>– При отсутствии нагревательных элементов в конструкции устройства, оценка величины <math>P_{\text{ST}}</math> не требуется.</li> <li>– Для испытания устройство включается на 10 минут.</li> </ul>
Фены	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Для ручных фенов оценка величины <math>P_{\text{LT}}</math> не требуется.</li> <li>– Для оценки величины <math>P_{\text{ST}}</math>, устройство включают на 10 минут.</li> <li>– Если в устройстве предусмотрена регулировка мощности, то проверяется весь диапазон мощностей, с максимальным количеством дискретных</li> </ul>

	шагов равным 20.
Телевизионное, аудио, компьютерное, DVD и аналогичное оборудование	<ul style="list-style-type: none"><li>– В соответствии с Приложением А (Annex A) текущего стандарта.</li><li>– Если не накладывается дополнительных требований, то проверяется соответствие величины <math>d_{MAX}</math>.</li></ul>

Приведенная выше таблица не является исчерпывающей, поэтому рекомендуется обратиться к тексту стандарта МЭК 61000-3-3 (Приложение/Annex A) (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008, Приложение А) для получения информации об испытаниях таких устройств как: водонагреватели, усилители сигналов звуковой частоты, кондиционеры, тепловые насосы, коммерческое холодильное оборудование и оборудование дуговой сварки.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В (ANNEX B)

Приложение В (Annex B) устанавливает процедуры испытаний для измерения величины  $d_{MAX}$ , известной также как изменение напряжения на сетевых зажимах тестируемого устройства (EUT), вызванного ручным включением/выключением.

При ручном включении/выключении устройства, его пусковой ток приводит к изменениям питающего напряжения. Для получения повторяемых результатов при измерении  $d_{MAX}$ , необходимо применять статистические методы.

Процедура испытания состоит из 24 измерения, проводится в следующем порядке:

1. Запуск измерения
2. Включение тестируемого устройства (EUT)
3. Обеспечение функционирования тестируемого устройства (EUT) максимально возможное время в течение периода измерения в 1 минуту.
4. Выключение тестируемого устройства (EUT) до истечения 1 минутного периода измерения.
5. Убедиться, что все движущиеся части внутри тестируемого устройства (EUT) остановились до истечения 1 минутного периода измерения.
6. Перед началом следующего периода измерения, убедиться, что температура всех устройств, которые могли бы повлиять на величину  $d_{MAX}$ , снизилась до температуры окружающей среды.
7. Начать следующее измерение.

Максимальное и минимальное значение величины  $d_{MAX}$  исключаются, а окончательный результат получается как среднееарифметическое из оставшихся 22 значений  $d_{MAX}$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ С (ANNEX C)

Приложение С (Annex C) определяет характеристики установившегося напряжения и изменения напряжения.

Данный раздел стандарта является модифицированной версией раздела из стандарта МЭК 61000-4-15:2010 (а также ГОСТ Р 51317.4.15-99), и необходимо помнить, что оба стандарта не существуют друг без друга. Стандарт МЭК 61000-4-15:2010 (а также ГОСТ Р 51317.4.15-99) задает требования к измерительной системе, а МЭК 61000-3-3:2013 (а также ГОСТ Р 51317.3.3-2008) задает нормы и практическую реализацию измерения величины фликера.

Необходимо рассмотреть два состояния напряжения. Одно состояние состоит в том, что ср.-кв. (RMS) значение величины напряжения за половину периода остается в т.н. установившемся состоянии, во втором состоянии происходит «изменение», т.е. увеличение или уменьшение ср.-кв. значения величины напряжения за половину периода.

### ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для понимания терминов и описаний, приведенных в Приложении С (Annex C), необходимо определить параметры, связанные с установившимся и меняющимся напряжением.

### СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЗА ПОЛОВИНУ ПЕРИОДА ( $U_{hp}$ )

Представляет собой ср.-кв. (RMS) значение величины напряжения испытательного сигнала за половину периода. Рассчитывается на интервалах  $0\sim 180^\circ$  и  $180\sim 360^\circ$  между моментами нулевого значения.

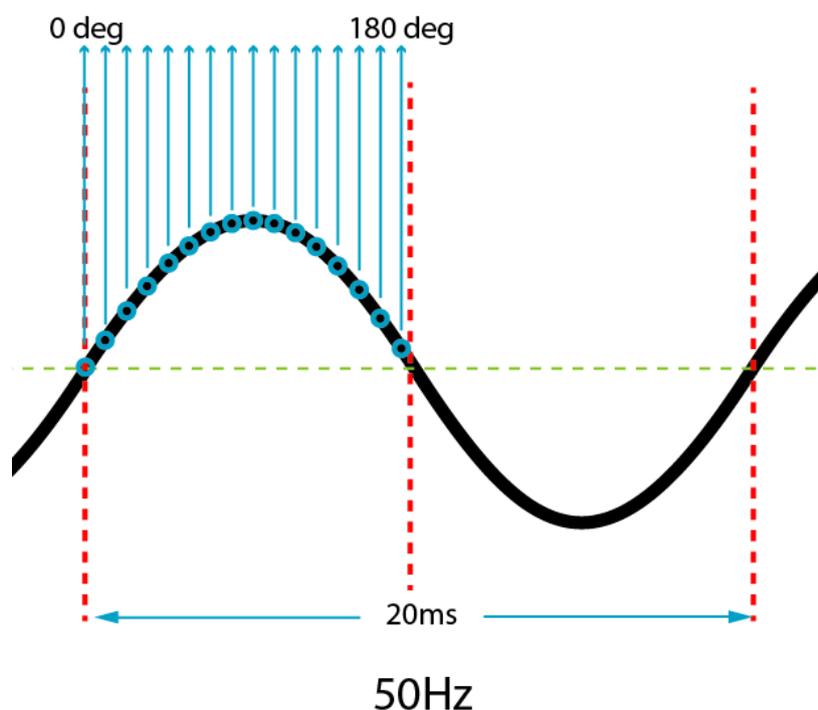


Рисунок 5. Ср.-кв. значение напряжения за половину периода ( $U_{hp}$ ) в соответствии с МЭК 61000-3-3 (ГОСТ Р 51317.3.3)

На рисунке 5 показаны отсчеты (измерительные точки), используемые для расчета ср-кв. значения напряжения на интервале 0~180° (частота выборки анализаторов ПРИЗМА-551/1 и ПРИЗМА-551/3 значительно выше, чем указана на рисунке, и соответствует 2Мвыб/с). Такой же процесс повторяется и для второй половины периода, т.е. интервала 180~360°. Таким образом, величина  $U_{hp}$  является функцией времени.

#### ВРЕМЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ $U_{hp(t)}$

Представляет собой функцию, образованную последовательными ср-кв. значениями напряжения, рассчитанными дискретно для каждой половины периода между моментами нулевого значения.

#### ОТНОСИТЕЛЬНОЕ СР-КВ. ЗНАЧЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЗА ПОЛОВИНУ ПЕРИОДА $d_{hp}$

Выражается как отношение измеренного значения  $U_{hp}$  к величине номинального напряжения  $U_n$ .

$$d_{hp(t)} = U_{hp(t)} / U_n$$

#### ИЗМЕНЕНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ $d_{c,i}$

Величина представляет собой разницу между двумя последовательными изменениями установившегося напряжения, и обычно выражается в процентах по отношению к номинальному напряжению  $U_n$ .

$$d_{c,i} = [d_{end,i-1} - d_{start,i}] / U_n$$

#### Пример измерения величины $d_c$ :

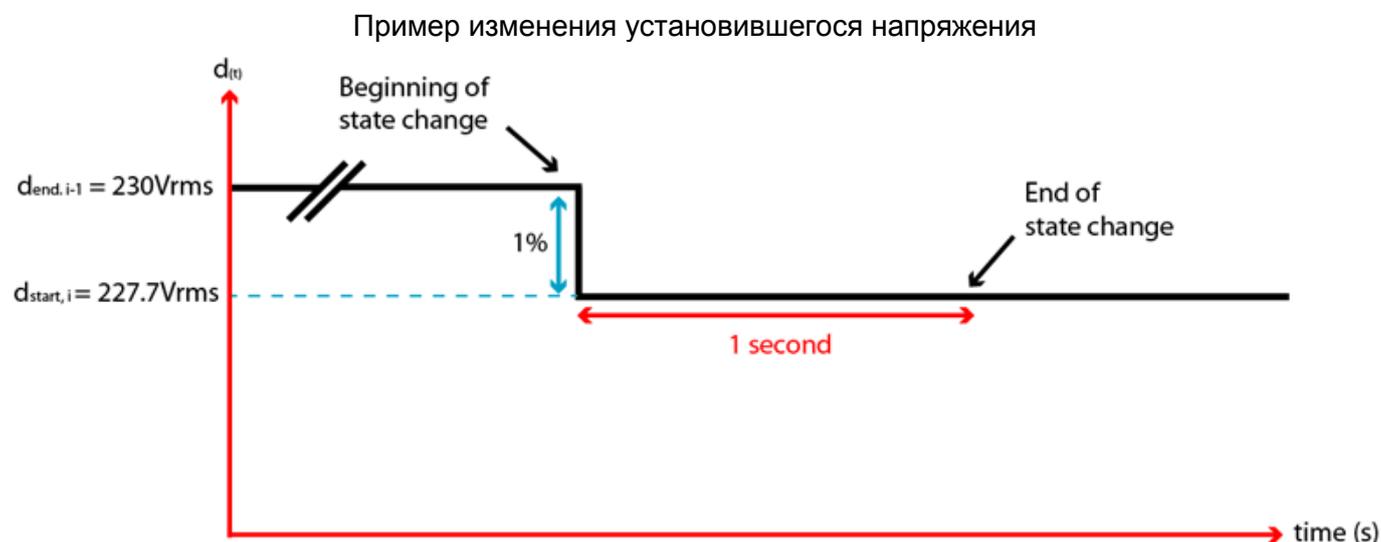


Рисунок 6

На рисунке 6 представлено поведение ср-кв. значения при появлении «изменения установившегося напряжения», согласно стандарта МЭК 61000-3-3 (ГОСТ Р 51317.3.3).

$$d_{c,i} = [d_{end,i-1} - d_{start,i}] / U_n$$

$$d_{c,i} = [230 - 227.7] / 230 = 0.01 = 1\%$$

Указанный пример приводит расчет изменения установившегося напряжения. Необходимо заметить, что следующее состояние «установившегося напряжения» наступит после 1 секунды с момента расчета ср-кв. значения за половину периода, равному 227.7Вскз.

#### МАКСИМАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ $d_{\max,i}$

Величина представляет собой максимальную, измеренную за период испытания, разность между установившимся напряжением и последующим ср-кв. значением напряжения за половину периода ( $d_{hp(t)}$ ).

$$d_{\max,i} = \max [d_{\text{end},i-1} - d_{hp(t)}]$$

Величина имеет знак, и его значение зависит того, в каком направлении меняется напряжение относительно установившегося состояния  $d_{\text{end},i-1}$ .

Если:

Величина  $d_{\max}$  является результатом уменьшения напряжения, то  $d_{\max}$  является положительным. Величина  $d_{\max}$  является результатом увеличения напряжения, то  $d_{\max}$  является отрицательным.

#### МАКС. ИЗМЕНЕНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЗА ПЕРИОД ИСПЫТАНИЙ $d_c$

Величина представляет собой максимальное значение  $d_c$  из измеренных значений  $d_{c,i}$  за весь период испытания (наблюдения).

$$d_c = \max i [ |d_{c,i}| ]$$

#### МАКС. АБСОЛЮТНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЗА ПЕРИОД ИСПЫТАНИЙ $d_{\max}$

Величина представляет собой максимальное абсолютное значение из измеренных значений  $d_{\max,i}$  за весь период испытания (наблюдения).

$$d_{\max} = \max i [ |d_{\max,i}| ]$$

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ $d_{(t)}$

Представляет собой функцию времени  $d_{(t)}$ , определяется изменением текущего ср-кв. значения за половину периода ( $d_{hp(t)}$ ) по отношению к предыдущему значению ( $d_{\text{end},i-1}$ ). Значение функции имеет знак. Падение напряжения дает положительный знак, возрастание напряжения – отрицательный.

$$d_{(t)} = d_{\text{end},i-1} - d_{hp(t)}$$

#### ХАРАКТЕРИСТИКА УСТАНОВИВШЕГОСЯ СОСТОЯНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Состояние установившегося напряжения считается таковым в том случае, когда ср-кв. значение напряжения за половину периода ( $U_{hp}$ ) остается в полосе допуска  $\pm 0.2\%$  на протяжении как минимум 100 половин периодов основной частоты (50Гц), что эквивалентно длительности установившегося состояния в течение 2 секунд.

Перед началом измерения величины фликера, изначальное эталонное напряжение считается усредненным ср-кв. значением напряжения, полученным в течение предыдущей секунды перед

началом испытания (периода измерения). Это значение является опорным значением для расчета величин  $d_c$  и  $d_{hp(t)}$ , а также в расчетах при измерении значений  $d_{max}$  и  $d_{(t)}$ .

Если условие установившегося напряжения во время испытания не выполняется, то величина  $d_c$  считается равной 0.

Во время проведения испытания, среднее значение  $U_{hp,avg}$  рассчитывается на основе 100 последних значений  $U_{hp}$  (на основной частоте 50Гц). Величина  $U_{hp,avg}$  позволяет определить, продолжается ли установившееся состояние напряжения или нет. Также величина служит опорным значением для расчета величин  $d_c$ ,  $d_{max}$  и  $T_{max}$  в случае сбоя питающего напряжения.

Важно отметить, что среднее значение за 100 полупериодов  $U_{hp,avg}$ , рассчитывается непрерывно и сравнивается в последнем измеренном ср-кв. значением за половину периода  $U_{hp}$ . И если это последнее измеренное ср-кв. значение  $U_{hp}$  находится в пределах 0.2% от величины  $U_{hp,avg}$ , то считается, что состояние установившегося напряжения продолжается.

Новое установившееся состояние  $d_{c,i}$  определяется после изменения напряжения, и начальное значение  $d_{start,i}$  берется равным величине  $d_{hp(t=tstart)}$ . Затем устанавливается допуск в 0.2% и условие установившегося состояния считается выполненным, если средние значения за 100 полупериодов находятся в полосе допуска в 0.2%.

Причина, по которой используется величина  $U_{hp,avg}$ , заключается в предотвращении влияния медленных изменений в сетевом напряжении на величины  $d_c$  и  $d_{max}$ .

Последнее значение  $U_{hp}$ , находящееся в пределах полосы допуска 0.2%, обозначается как  $d_{end,i}$ . А новое ср-кв. значение за половину периода, следующее за этой величиной  $U_{hp}$  (в пределах допуска 0.2%), обозначается как  $d_{hp}$ . Эта величина  $d_{hp}$  используется как изначальное значение для определения следующего установившегося состояния, известного как  $d_{c,i+1}$ .

После определения нового значения  $U_{hp,avg}$  (после 100 полупериодов), проводится измерение нового установившегося состояния. Если какое-либо значение (в течение 100 полупериодов) выходит за допуск 0.2%, то этого значение берется за начальную точку для определения нового установившегося состояния, и так до тех пор, пока все значения из полного интервала в 100 полупериодов не будут находиться в пределах полосы допуска 0.2%.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ «d»-ЗНАЧЕНИЙ

Измерения фликера с помощью анализаторов (или систем) компании N4L, проводятся в полном соответствии с Приложением С (Annex C) стандарта МЭК 61000-4-15:2010 (ГОСТ Р 51317.4.15) «Определение характеристик установившегося состояния напряжения и характеристик изменения напряжения».

В ходе испытания обеспечивается генерация опорных характеристик изменения напряжения, описанных в таблицах С.1 и С.2 стандарта МЭК 61000-3-3:2013.

Компания N4L разработала источники мощности АС, обеспечивающие генерацию требуемых характеристик изменения напряжения в соответствии с таблицами С.1 и С.2. Другие формы сигналов могут задаваться пользователем самостоятельно, так как источники оснащены встроенным генератором сигналов произвольной формы.

Таблица С.1 – условия для испытания/измерения  $d_c - d_{max} - t_{d(t)}$

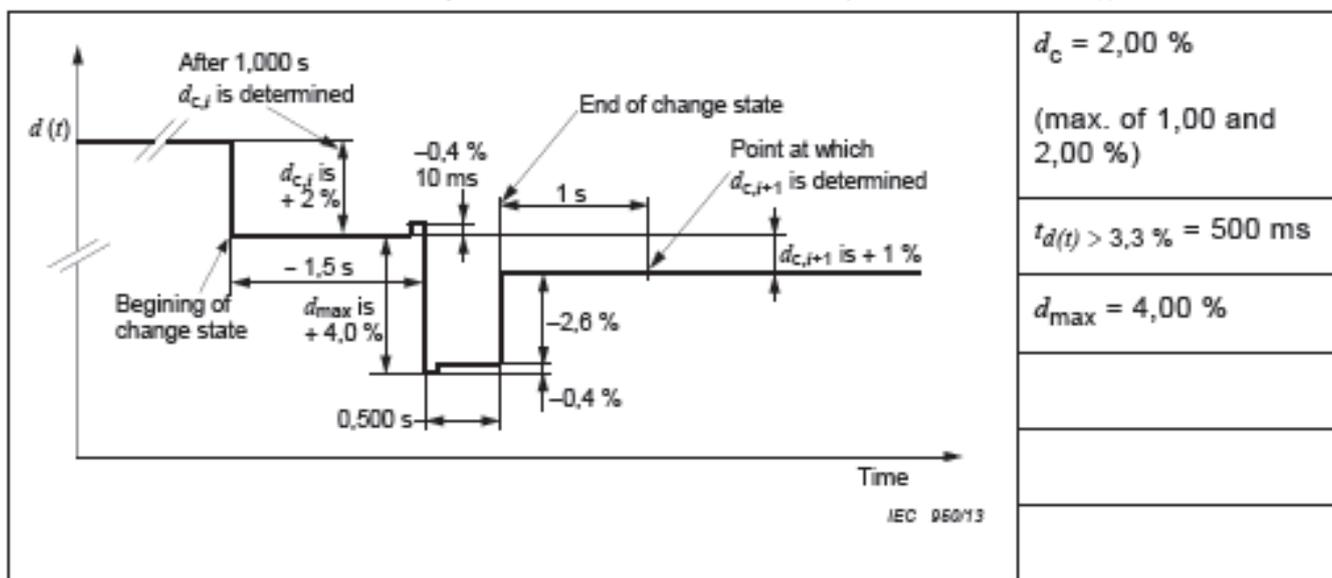


Рисунок 7

Программируемый источник АС мощности N4A06 в режиме «SEQUENCE», используя высокоточные алгоритмы синхронизации, обеспечивает генерацию сигнала, приведенного на рисунке 7.

Параметры сигнала измеряются с помощью анализатора фликера ПРИЗМА-551/1 в «нормальном» измерительном режиме параметров  $d_{(t)}$ .

Испытание с ПРИЗМА-551/1:  $t_{d(t)} = 500\text{мс}$



Рисунок 8

Далее обеспечивается генерация и последующее измерение параметров сигнала в соответствии с таблицей С.2. В результате измерений ожидается получение величины  $t_{d(t)}$  равной 600мс (величина  $t_{d(t)}$  на дисплее анализатора ПРИЗМА-551/1 отображается как  $T_{max}$ ).

Таблица С.2 – условия для испытания/измерения  $d_c - d_{max} - t_{d(t)}$

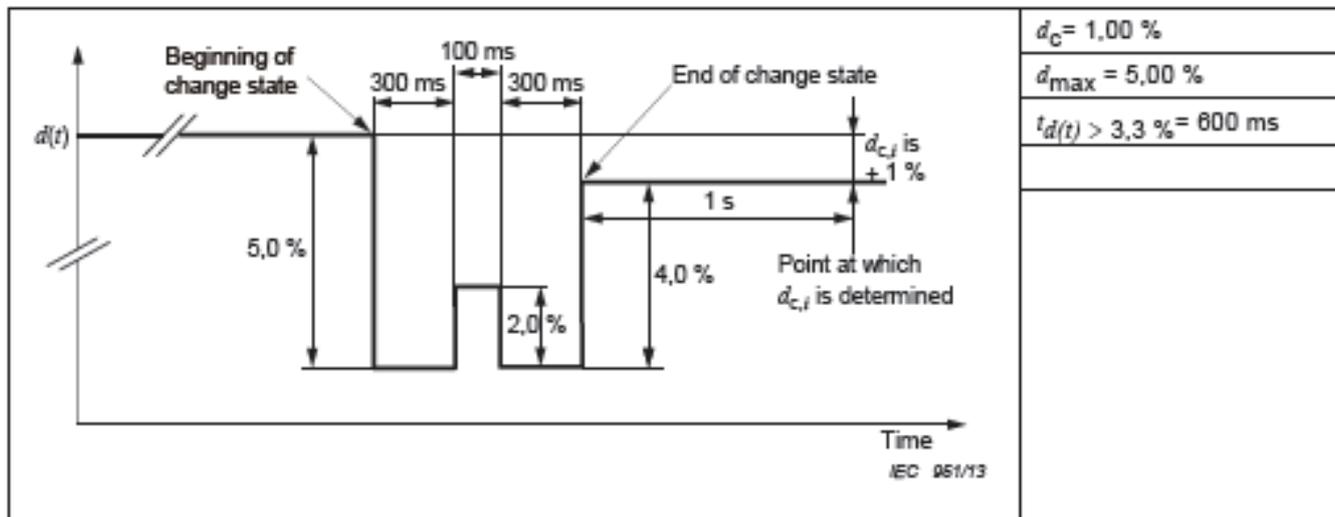


Рисунок 9

Испытание с ПРИЗМА-551/1:  $t_{d(t)} = 600\text{мс}$



Рисунок 10

Необходимо отметить, что измеренные величины  $d(t)$ ,  $d_c$  и  $T_{max}$  находятся в допустимых пределах по точности, в соответствии со стандартом МЭК 61000-3-3.

## ССЫЛКИ

- Международный электротехнический словарь. (1990). Электромагнитная совместимость, глава 161, МЭК 60050-161:1990
- Международная электротехническая комиссия. (2013). Электромагнитная совместимость (ЭМС) – Часть 3-3 Нормы – Ограничение измерений напряжения, колебаний напряжения и фликера в общественных низковольтных системах электроснабжения, для оборудования с потребляемым током  $\leq 16\text{A}$  по одной фазе, и не требующего условного подключения.