



**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕЖЛАБОРАТОРНЫХ СЛИЧЕНИЙ
РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕНЕНИЙ ВНОСИМЫХ ИСКАЖЕНИЙ
В СЕТИ ПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММИРУЕМЫХ
ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ**

**А.П. Смирнов, Ф.Г. Колдашов АО, Е.А. Смирнова
«НПФ «Диполь», С.-Петербург/Москва)**



Электромагнитная совместимость –
способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной
электромагнитной обстановке

и

не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам

Обязательность выполнения требований ЭМС определяется
Техническим регламентом таможенного союза ТР ТС 020/2011,
утвержден Решением Комиссии Таможенного союза от 9.12.2011

- **Тестирование устойчивости к помехам**
 - **Измерение уровней эмиссии помех**
-



Виды создаваемых и (или) воздействующих электромагнитных помех

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.
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.



Технический регламент ТР ТС № 20



Перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств»

Перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «Электромагнитная совместимость технических средств»



Испытания по ЭМС – сертификационные испытания продукции



Испытательные лаборатории должны быть аккредитованы



- ❑ нормативные документы, применимые к продукции общепромышленного применения, устройствам бытового назначения, научным и медицинским приборам, основополагающим среди которых являются стандарты МЭК, МСКРП, отчасти МСЭ, в частности стандарты серии 61000-X-XX, EN 55XXX-XX, отечественные стандарты 51317.X.X, 51318.XX;
 - ❑ стандарты для продукции оборонного и специального назначения, основанные на материалах документов MIL STD 461, 462 и т.д. различных версий, отечественные стандарты РВ 6601-XXX-2008;
 - ❑ стандарты на продукцию гражданского авиастроения, в некоторой части используемые для оборонной продукции, к числу которых в первую очередь относится документ квалификационные требования КТ – 160D, имеющий фактически статус национального стандарта;
 - ❑ регламентирующие документы для продукции автомобилестроения, к числу которых документы международного общества автомобильных инженеров SAE, в частности, стандарт ISO 7637-X;
 - ❑ отдельные стандарты на специализированную продукцию.
-

Общая характеристика тестов на устойчивость



Помеха	Характер	Кондуктивные (через линии питания и связи)	Излучаемые (проникновение через корпус)
Импульсные (широкополосные)	Пачки импульсов с крутыми фронтами	Переходные процессы	ЭМИ ЯВ
	Редкие импульсы большой энергии	Молниевые наводки	Попадание молнии
	Колебательные затухающие	Наличие резонансов по цепям	Наличие резонансов по корпусам
Квазинепрерывные (Узкополосные)	НЧ (< сотен кГц)	Близость энергетических установок	Чувствительность к магнитному полю
	ВЧ (> сотен кГц)	Близость РЭС	Воздействие радиоустройств
Электростатический разряд		Условно контактный разряд	Условно воздушный разряд
Искажения сети питания	Любые изменения характеристик сети питания		

Помехи	Характер	Измерительные задачи
Кондуктивные	Переходные коммутационные	Контроль формы импульсов
	Постоянные узкополосные	Измерение тока, напряжения, мощности
Излучаемые	НЧ (< сотен кГц)	Измерение магнитного поля
	ВЧ (> сотен кГц)	Измерение электрического поля
Искажения сети питания	Любые изменения характеристик сети питания	Гармонические составляющие тока
		Изменения напряжения Колебания напряжения Фликер

При эмиссии измеряются:

- Характеристики кондуктивных помех (то, что ИТС отдает в общие линии питания, связи, управления) . Показателями являются характеристики напряжения, тока, мощности в диапазоне от единиц Герц до 1 ГГц)
- Характеристики излучаемых помех . Показателями являются напряженность электрического поля (иногда в НЧ диапазоне магнитного поля) в диапазоне частот от единиц кГц до единиц ГГц (иногда до 40)
- Характеристики искажения сети питания, обусловленные подключенными ИТС и выполняющими роль нагрузки. Показателями являются – производные величины от напряжения и тока.

Обязательность требований - Наличие поверенных СИ



Наличие информации о МХ недостаточно для

- Оценки показателей точности результатов измерений;
- Обеспечения повторяемости результатов измерений;
- Обеспечения воспроизводимости результатов измерений

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОМПЕТЕНТНОСТИ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ И КАЛИБРОВОЧНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

7.7 Обеспечение достоверности результатов

7.7.2 Лаборатория должна осуществлять мониторинг своей деятельности путем сравнения с результатами других лабораторий, если это возможно и применимо. Такой мониторинг должен планироваться, и его результаты должны анализироваться. Он должен включать (но не ограничиваться) следующие мероприятия или одно из них:

а) участие в проверках квалификации.

Примечание — В ISO/IEC 17043 приведена дополнительная информация о проверках квалификации и о провайдерах проверки квалификации. Провайдеры проверки квалификации, которые выполняют требования ISO/IEC 17043, считаются компетентными;

б) участие в межлабораторных сличениях, отличных от проверок квалификации.

3.3 межлабораторное сличение (interlaboratory comparison): Организация, выполнение и оценивание измерений или испытаний одного и того же или нескольких подобных образцов двумя или более лабораториями в соответствии с заранее установленными условиями.

Зачем нужны МСИ в ЭМС лабораториях

- зависимость результатов ИРП от входных характеристик ИТС, а значит с согласованностью выходных характеристик
 - использованием переопределенной физической величины, например, для излучаемых ИРП измеряется не просто напряженность поля, а максимальная напряженность поля, создаваемого ИТС в точке, расположенной в диапазоне высот 1-4 м от заданного расстояния до ИТС (3 или 10 или 30 м), а само ИТС располагается над так называемой границей раздела, металлической пластиной;
 - используемые СИ используются в условиях, отличных от условий поверки, например антенны поверяются в так называемой дальней зоне, а измерения проводятся БЗ.. В результате коэффициенты калибровки должны быть оценены (а антенны откалиброваны) именно для измерений эмиссии), тут вообще вопрос о целесообразности поверки как таковой, если ее недостаточно!!;
 - в процессе испытаний и измерений используются много ПО, не являющееся зачастую элементами СИ, то есть опять же есть неопределенность в корректном использовании понятий в области ЭМС, в нормировании и привязывании условий измерений к требованиям стандартов.
-

Измерения вносимых искажений - важный элемент испытаний.

Причины для выбора искажений питания:

- Почти все стандарты по требованиям к техническим средствам общегражданской продукции (включая судостроительную отрасль) включают требования и ограничивают эти помехи со стороны потребителей энергии;
- Используемые СИ кажутся достаточно простыми , фактически включают в себя АЦП с достаточно невысокой частотой дискретизации и достаточно простое ПО;
- Достаточно насыщенный рынок СИ для искажений сети, в том числе подходящих для контроля качества электрической энергии
- Требования к искажениям сети питания входят в другие ТР , например, ТР ТС № 18
 - Измерения вносимых гармоник тока**
 - Изменения напряжения, колебаний напряжения и фликера**

ГОСТ IEC 61000-3-2-2021. ЭМС. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с входным током не более 16 А на фазу)

ГОСТ IEC 61000-3-12-2016. ЭМС. Нормы гармонических составляющих тока, создаваемых оборудованием, подключаемым к общественным низковольтным системам, с входным током более 16 А, но не более 75 А в одной фазе

Класс оборудования	Описание класса
A	Оборудование, не относящееся к классам B, C или D
B	- переносные электрические инструменты: - оборудование дуговой сварки, не являющееся профессиональным оборудованием
C	- осветительное оборудование
D	Оборудование, имеющее установленную мощность не более 600 Вт (в соответствии с 6.3.2.) следующих видов: - персональные компьютеры и мониторы персональных компьютеров; - телевизионные приемники: - холодильники и морозильники, имеющие один или несколько приводов с регулируемой скоростью для управления двигателем(ями) компрессора. - для оборудования, которое может оказывать существенное влияние

5.3 Внешние источники питания. Внешние источники питания должны классифицироваться в соответствии с типами оборудования, для которого они предназначены, как указано в инструкции по применению.

Таблица 1 — Нормы для оборудования класса А

Порядок гармонической составляющей, h	Максимально допустимое значение гармонической составляющей тока, А
Нечетные гармонические составляющие	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq h \leq 39$	$0,15 (15/n)$
Четные гармонические составляющие	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq h \leq 40$	$0,23 (8/n)$

Для оборудования класса В значения гармонических составляющих входного тока не должны превышать значений, приведенных в таблице 1, умноженных на коэффициент 1.5

Таблица 2 — Нормы для оборудования класса С^а

Порядок гармонической составляющей, h	Максимальное допустимое значение гармонической составляющей входного тока, выраженное в процентах от гармонической составляющей входного тока на основной частоте %
2	2
3	27^b
5	10
7	7
9	5
$11 \leq h \leq 39$ (только нечетные гармоники)	3

Таблица 3 — Нормы для оборудования класса D

Порядок гармонической составляющей, h	Максимально допустимое значение гармонической составляющей тока на 1 Вт потребляемой мощности оборудования, мА/Вт	Максимально допустимое значение гармонической составляющей тока, А
3	3,4	2,30
5	1,9	1,14
7	1,0	0,77
9	0,5	0,40
11	0,35	0,33
$13 \leq h \leq 39$ (только нечетные гармоники)	$3,85/h$	В соответствии с таблицей 1



Гармонические составляющие тока измеряют следующим образом:

- для каждой гармонической составляющей конкретного порядка измеряют сглаженные средне-квадратичные значения гармонической составляющей тока в каждом измерительном окне дискретного преобразования Фурье (DFT), как указано в IEC 61000-4-7 и IEC 61000-4-7:2002/AMD1:2008. Сглаживание измеряемых значений должно соответствовать применению фильтра первого порядка с постоянной времени 1,5 с;

- рассчитывают среднее арифметическое значений, определенных в измерительных окнах DFT в течение полной длительности периода наблюдений, установленной в 6.3.4.

Значения входной мощности, которые должны быть использованы при расчетах норм, определяют следующим образом:

- измеряют сглаженные значения входной активной мощности в каждом измерительном окне DFT. Сглаживание измеряемых значений должно соответствовать применению фильтра первого порядка с постоянной времени 1,5 с;

- определяют максимальное из измеренных значений мощности, полученных в измерительных окнах в течение полной длительности периода испытаний.



Основа – алгоритмы дискретного преобразования Фурье

Использование эталонной нелинейной нагрузки

- ограниченный диапазон по току
- ограниченный диапазон по гармоникам

Синтезирование опорных искажений сети

- Возможность изменять номинальные значения токов подключенной пассивной нагрузкой;
- Возможность синтеза гармоник высокого порядка



Программируемый источник питания как источник синтезированного эталонного сигнала



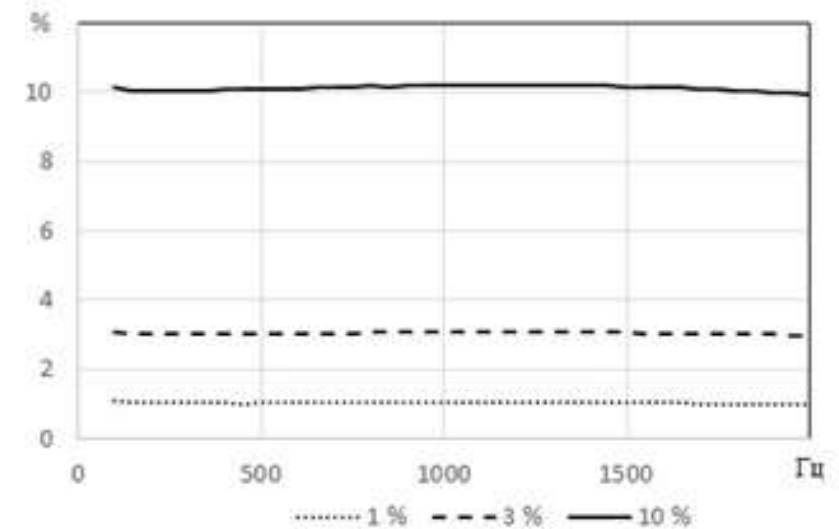
Программируемый источник
питания – синтез гармоник



Средство измерений гармоник



Предложения по МСИ гармоник тока



Результаты измерений относительного уровня
гармоник для заданного уровня гармоник.

ОТЧЕТ

о реализации раунда схемы межлабораторных сравнительных испытаний.

Раунд Д-2023-25

Межлабораторные сличения результатов измерений

значения эмиссии гармонических составляющих напряжения и тока техническими
средствами с потребляемым током не более 16 А

Дата выпуска: «28» декабря 2023 г.

1. Процедуры, используемые для статистического анализа данных

Процедуры, используемые для статистического анализа данных, с учетом ISO/IEC 17043 (пункт В.1) включали в себя следующее:

- 6.1 установление приписанных значений погрешности измерений ОПК;
 - 6.2 установление значений расширенной неопределенности для приписанных значений;
 - 6.3 оценка протоколов, полученных от участников;
 - 6.4 расчет статистических показателей для оценки результатов участников;
 - 6.5 интерпретация статистических показателей для оценки результатов участников.
-

1. Установление приписанных значений погрешности измерений ОПК

Приписанные значения определялись в референтной лаборатории с использованием методики измерений, предоставленной провайдером. Для определения приписанного значения использовался измерительный блок из системы измерительно-испытательной Proflin 2100, в модификации 2103-240, мультиметр цифровой прецизионный 8508А (зав. № 203564681), зарегистрированный в качестве эталона 4-го разряда в реестре ФИФ ОЕИ под номером 25984.08.4Р.00116716.

2. Установление значений расширенной неопределенности для приписанных значений Неопределенность приписанного значения устанавливалась в референтной лаборатории. Для учета возможности, что промежуточная прецизионность метода измерений вносит свой вклад в несоответствие критерию оценки результатов участников, значение неопределенности приписанного значения включает в себя составляющую неопределенности, связанную с предельным значением отклонения показаний ОПК от установленного значения.

3. Оценка протоколов, полученных от участников

Протоколы участников соответствуют требованиям схемы МСИ, содержат в себе всю необходимую для проведения статистического анализа информацию. Предоставленные участниками результаты измерений признаны пригодными для проведения статистического анализа.

4. Расчет статистических показателей

В качестве статистического показателя для оценки результатов участников выбран показатель E_n (приложение В, ГОСТ ISO/IEC 17043-2013). Для каждого среднего результата измерений значение E_n рассчитывалось по формуле:

4. Расчет статистических показателей

В качестве статистического показателя для оценки результатов участников выбран показатель E_n (приложение В, ГОСТ ISO/IEC 17043-2013). Для каждого среднего результата измерений значение E_n рассчитывалось по формуле:

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{pt}^2}}$$

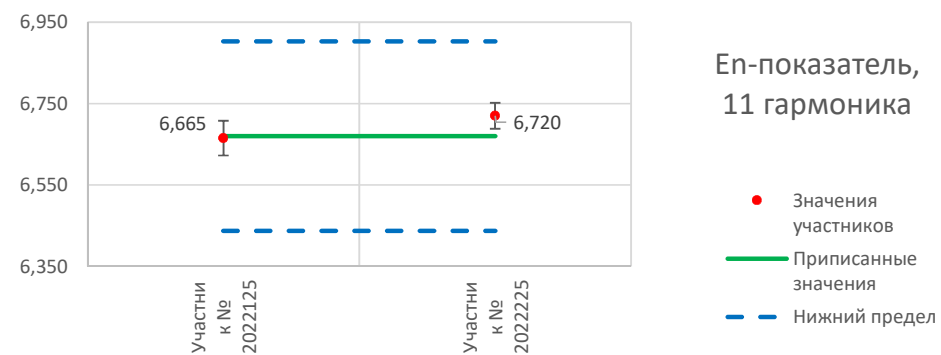
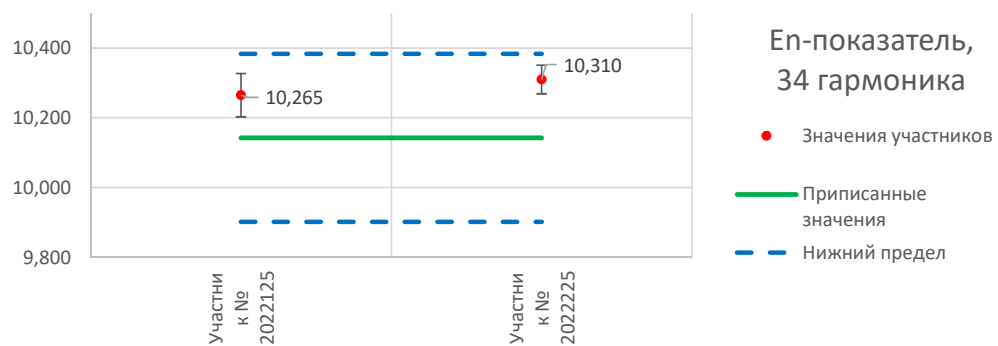
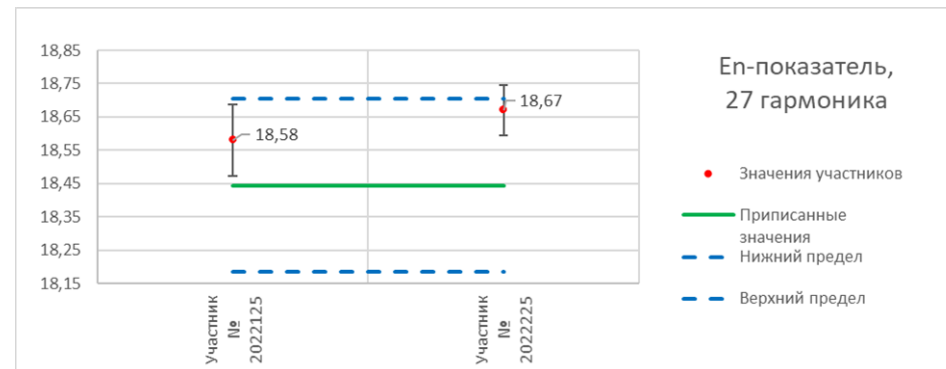
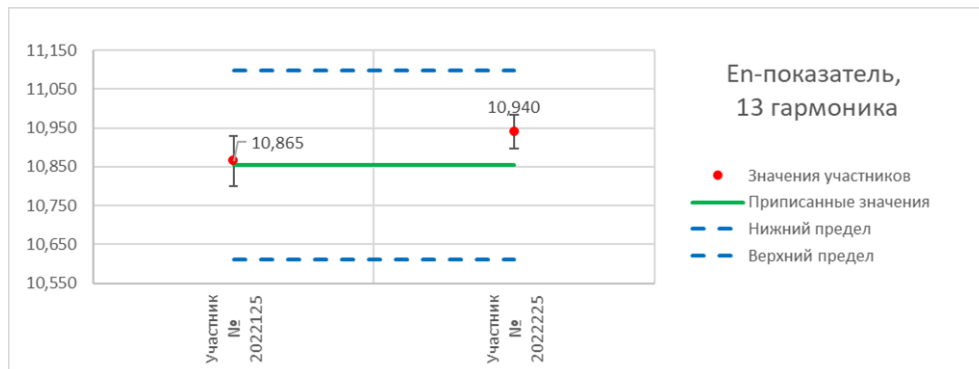
где: x – среднее значение, определенное в лаборатории участника; X – приписанное значение; U_{lab} – расширенная неопределенность результата участника x ; U_{pt} – расширенная неопределенность приписанного значения X .

5 Интерпретация статистических показателей

При оценивании показателя E_n устанавливались следующие уровни оценки:

- 1) Если $|E_n| \leq 1$ – результат лаборатории участника признается удовлетворительным, оценка неопределенности соответствует установленной расширенной неопределенности по ГОСТ 34100.1-2017;
- 2) Если $|E_n| > 1$ – результат лаборатории участника признается неудовлетворительным, оценка неопределенности не соответствует установленной расширенной неопределенности по ГОСТ 34100.1-2017.

Результаты МСИ по измерениям гармоник тока



ГОСТ IEC 61000-3-3-2015. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в общественных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током не более 16 А (в одной фазе)....

ГОСТ IEC 61000-3-11-2022. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в общественных низковольтных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током не более 75 А

ГОСТ Р 51317.4.15-2012. ФЛИКЕРМЕТР. Функциональные и конструктивные требования

3.3 d_c : Максимальное изменение установившегося состояния напряжения в течение периода наблюдения.

Примечание — Более подробную информацию о расчете d_c см. в приложении С и IEC 61000-4-15:2010.

3.4 d_{max} : Максимальное абсолютное изменение напряжения в течение периода наблюдения.

Примечание — Более подробную информацию о расчете d_{max} см. в приложении С и IEC 61000-4-15:2010.

3.5 T_{max} : Максимальная продолжительность времени в течение периода наблюдения, когда отклонение напряжения $d(t)$ превышает норму d_c .

Важный критерий – напряжение установившегося состояния (установившееся напряжение) – динамический показатель

Состояние установившегося режима заканчивается, когда последующее значение $U_{hp}(t = t_x)$ превышает диапазон допусков: $d_{hp}(t = t_x) > d_{hp,avg} + 0,002$ или $d_{hp}(t = t_x) < d_{hp,avg} - 0,002$.

Последнее значение, находящееся в пределах допуска обозначается $d_{end,i} = d_{hp}(t = t_{x-1})$. Значение $d_{hp}(t = t_x)$ используют в качестве начального значения для определения следующего состояния установившегося режима $d_{c,i+1} = d_{start, i+1}$.

Если какое-либо значение $d_{hp}(t > t_x)$ не попадает в диапазон допуска до требуемых 100 полупериодов для достижения установившегося режима, это новое значение U_{hp} используют в качестве начального значения для определения следующего состояния установившегося режима $d_{c,i+1}$. Поскольку возможно новое состояние установившегося режима, может быть определено мгновенное значение $U_{hp,avg}$.

- Основу методики измерений изменений составляет анализ изменения полупериодного напряжения на эталонной нагрузке;
- В процессе изменений оценивается установившийся режим, в течение которого проводится измерение некоторых параметров;
- В различных версиях основополагающего стандарта основные понятия трактуются неоднозначно, что связано с ошибками перевода
- Возможны погрешности измерений, обусловленные особенностями реализаций алгоритмов

Например (ГОСТ Р 51317.4.15-2012. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования

3.1.2 **среднеквадратическое значение напряжения, измеряемое для каждого полупериода** (half-period rms value of the voltage) U_{hp} : Среднеквадратическое значение напряжения сети электропитания, определяемое на интервале времени, равном одному полупериоду между смежными пересечениями нуля и напряжением основной частоты.



В русском переводе возникает непонятное “...и напряжением основной частоты”

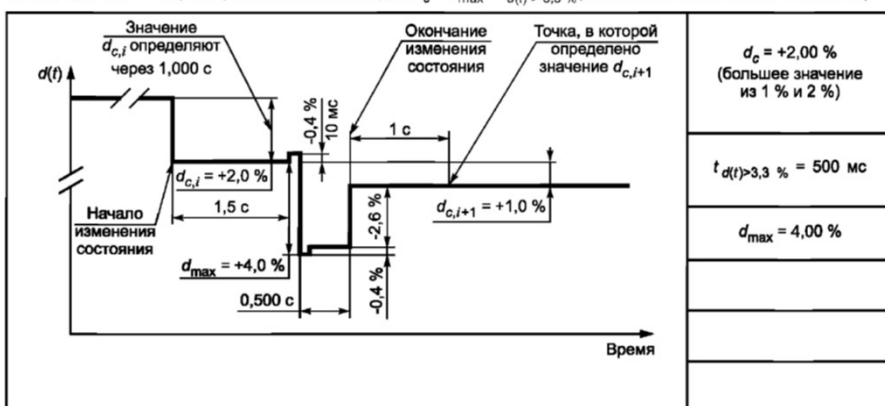
3.1.4 **относительная характеристика изменений во времени среднеквадратических значений напряжения, измеряемых для каждого полупериода** (relative half-period rms value characteristics)



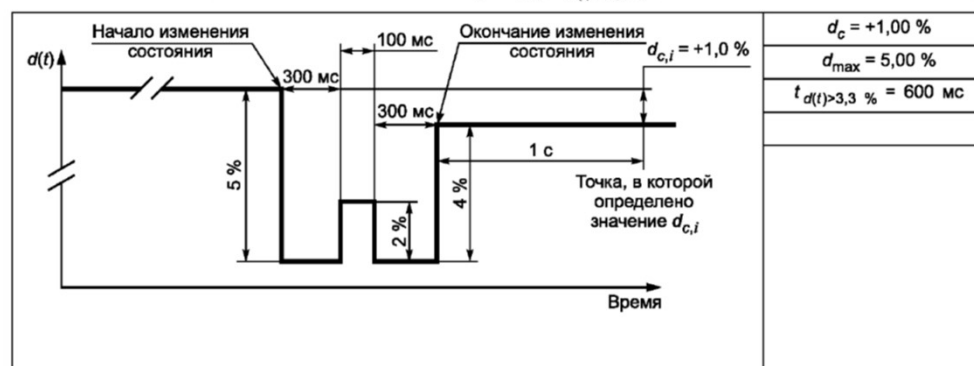
Правильный русский перевод “характеристики относительных полупериодных СКЗ”

Контрольные профили напряжения для проверки фликерметра – для измерений отклонений

Т а б л и ц а С.1 — Характеристики испытаний для $d_c - d_{\max} - t_{d(t) > 3,3\%}$ (по таблице 12 IEC 61000-4-15:2010)



Т а б л и ц а С.2 — Характеристики испытаний для $d_c - d_{\max} - t_{d(t) > 3,3\%}$ (по таблице 13 IEC 61000-4-15:2010)



Можно расширить номенклатуру профилей изменения напряжения при проведении МСИ, в том числе для уровней отклонения и изменения напряжения, соизмеримых с погрешностью измерений

Программируемый источник питания – синтез профилей U Средство измерений отклонений напряжений

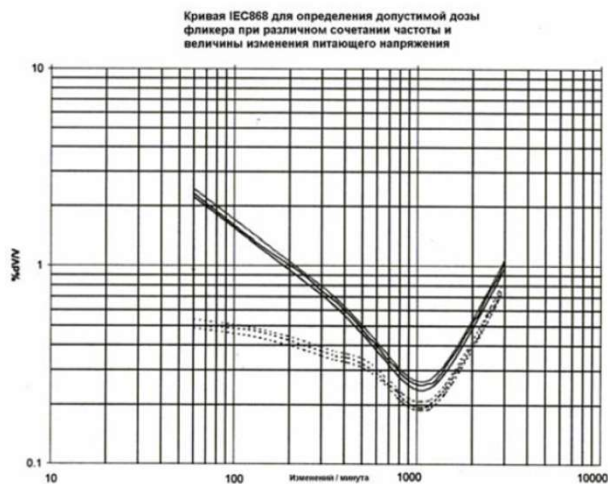




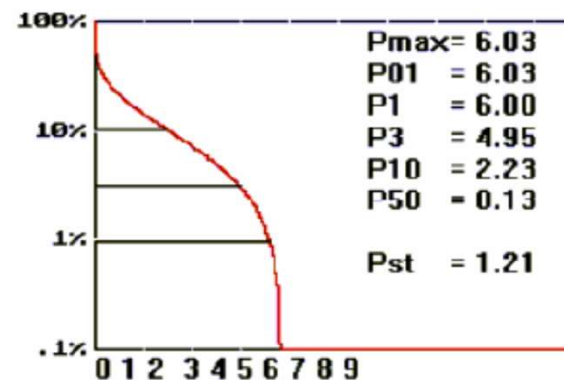
Фликер является мерой физического восприятия мерцания светового потока некоей лампы под действием изменения напряжения в сети, оценивается как результат статистической обработки изменяющегося относительного напряжения сети при подключении ТС.

Конструктивно фликерметр состоит из ряда блоков, моделирующих цепь восприятия “свет-человек-мозг”, и блок статистической обработки для вычисления дозы фликера (различают кратковременную и долговременную дозу фликера).

Кривая восприимчивости изменений



Конечные результаты измерений фликера – гистограмма распределения



- граничные значения для синусоидальной модуляции
- - - граничные значения для прямоугольной модуляции

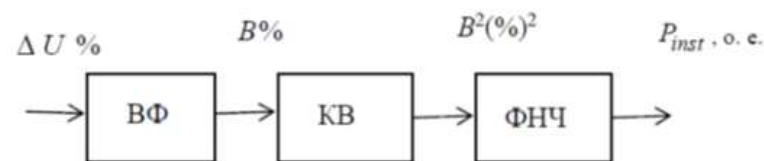


Рис. 1. Структурная схема фликерметра [3]: ВФ – взвешивающий фильтр; КВ – квадратор; ФНЧ – фильтр низкой частоты первого порядка с постоянной времени 0,3 с

Кратковременная доза

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

где $P_{0,1}, P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$ – уровни фликера, значения которых были превышены в течение 0,1; 1; 3; 10 и 50 % времени за интервал наблюдения T_s . Индекс «s» в формуле указывает на сглаженные значения P_1, P_3, P_{10}, P_{50} . Сглаженные значения рассчитывают по следующим формулам:

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3;$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5;$$

$$P_{3s} = (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3;$$

$$P_{1s} = (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3.$$

Долговременная доза

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{stl}^3}{3}}$$

Имитация фликера АМ напряжения питания :

- Закон распределения мгновенного напряжения – арксинус;
- Диапазон выборки определяется индексом АМ
- Частота АМ определяется точкой на частотной характеристике фликерметра



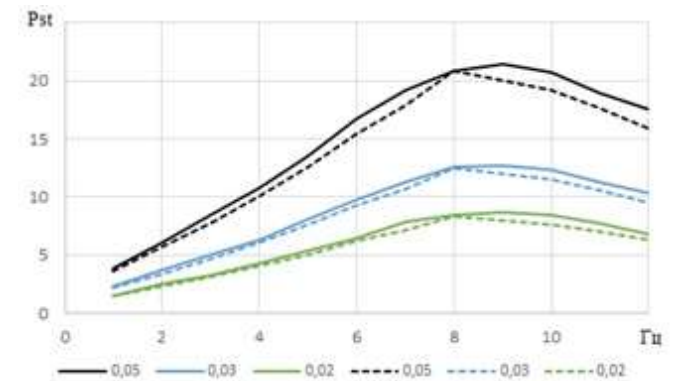
Программируемый источник питания –
синтез нестабильного АМ напряжения



Средство измерений фликера



Результаты измерений фликера



Результаты измерений фликера
(кратковременной дозы)

Заключение

1. Для проведения межлабораторных сличений при измерениях вносимых искажениях в линиях питания предложено использовать программируемый источник питания с вводимыми априорно искажениями сети питания.
 2. Результаты опробования подхода для измерений вносимых гармоник, изменений и отклонений напряжения, а также фликера показали работоспособность предложенного подхода
-



**Спасибо
за внимание!**

**Да будем
совместимы!**

Санкт-Петербург

Большая Монетная ул., д. 16

Тел./факс (812) 325-14-78, 702-12-66

pribor@dipaul.ru

Москва

Огородный проезд, д. 5

Тел./факс (495) 645-20-02

msk@dipaul.ru

Нижний Новгород

пр. Гагарина, д. 50, корпус 15
офис 106/2 ("Сити-Центр")

Тел./факс: (831) 464-97-27

nnov@dipaul.ru