

УДК 621.311

ФЛИКЕР-МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.А. Булгаков, Д.В. Шевякин

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

В статье рассмотрены вопросы определения и нормирования показателя качества электроэнергии по фликеру, отмечены основные нормативные документы в этой области. Показана структурная схема фликер-модели и выполнен анализ её элементов для оценки фликера в электрических системах. Представлена последовательность статистической обработки для расчета дозы фликера по мгновенному значению фликера.

Ключевые слова: *качество электроэнергии, фликер, доза фликера, фликерметр*

The paper discusses the issues of determining and normalizing the flicker quality indicator of electricity, and highlights the main regulatory documents in this field. A structural diagram of the flicker model is shown and an analysis of its elements is carried out to evaluate flicker in electrical power systems. A sequence of statistical processing is presented for calculating the flicker dose from the instantaneous flicker value.

Keywords: *power quality, flicker, flicker dose, flickermeter*

Постановка задачи. Качество электроэнергии – это совокупность ее основных свойств, которые оцениваются показателями качества электроэнергии, численно характеризующими уровни электромагнитных помех в системе электроснабжения. Задача обеспечения качества электроэнергии в электрических системах является одной из определяющих надежность и эффективность функционирования потребителей. Непрерывный рост мощности нелинейных несимметричных и резкопеременных нагрузок приводит к ухудшению качества электроэнергии, что, в свою очередь, может приводить к экономическому ущербу, поэтому актуальной является задача исследования и анализа методов и моделей оценки качества электроэнергии.

Показатели качества электроэнергии определяются в стандарте [1], который различает медленные изменения напряжения (отклонения) и быстрые изменения (колебания). Колебания напряжения

характеризуются двумя параметрами: размахом изменения напряжения и дозой фликера. Фликер – ощущение неустойчивости зрительного восприятия, вызванное световым источником, яркость или спектральный состав которого изменяются во времени [2].

Целью статьи является рассмотрение и анализ структуры фликер-модели для оценки качества электроэнергии, а также норм, определяющих дозы фликера в электрических сетях общего назначения.

Нормативными документами, регламентирующими фликер, являются стандарты [1, 3-4]. В [1] определены показатели качества электроэнергии по фликеру и установлены нормы на эти показатели в электрических сетях общего назначения. Стандарт [3] предназначен для применения при ограничении фликера, вызываемого оборудованием с потребляемым током не более 16 А, подключаемым к электрическим сетям низковольтных систем электроснабжения общего назначения. Технические требования для измерения фликера устанавливаются согласно [4].

Фликер-модель – математическая модель канала воздействия фликера, образованного источником освещения, на глаз и мозг человека. Фликер-модель реализуется в специальном приборе – фликерметре.

Структурная схема фликер-модели, принципиально состоит из двух основных частей, выполняющих следующие задачи:

- моделирование реакции цепи «лампа-глаз-мозг»;
- статистический анализ сигнала фликера в реальном времени и отображение результатов измерений.

На рис. 1 приведена структурная схема фликер-модели. Для выполнения первой задачи используются блоки 2, 3 и 4, для второй задачи – блок 5.

Рассмотрим подробнее работу каждого из блоков:

Блок 1 – адаптер входного напряжения. Служит для приведения напряжения сети к внутреннему опорному напряжению. Благодаря этому, измерения фликера могут производиться независимо от действительного уровня входного напряжения прибора и выражаться в процентах.

Блок 2 – квадратичный множитель. Воспроизводит колебания напряжения путем возведения в квадрат входного напряжения, приведенного к внутреннему опорному напряжению, для имитации характеристик лампы накаливания.

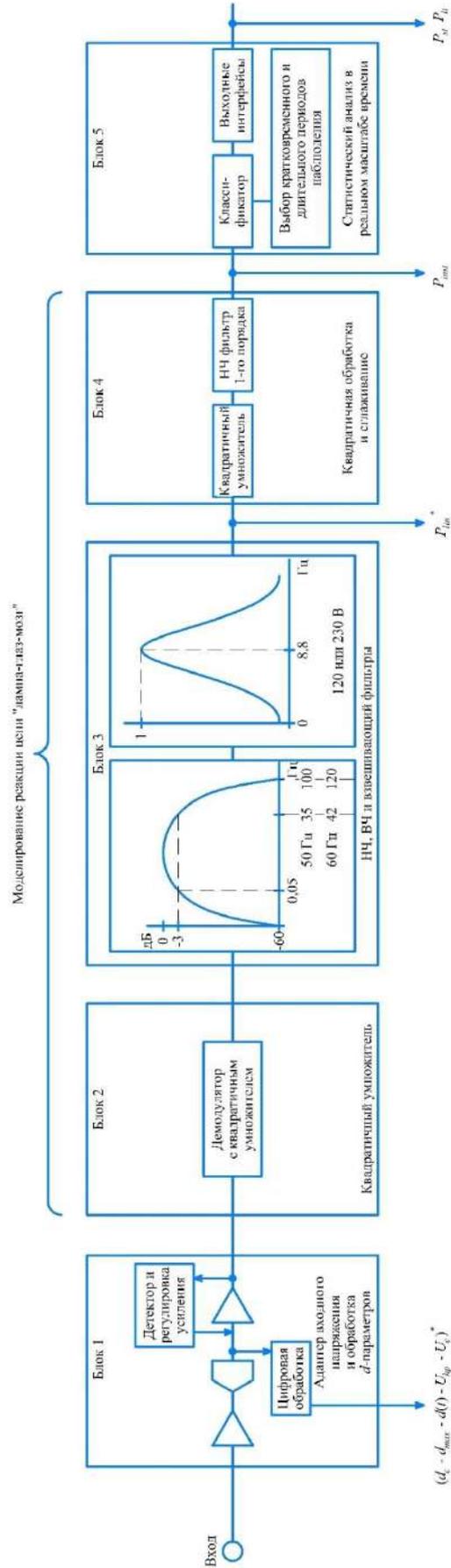


Рисунок 1 – Структурная схема фликер-модели

Блок 3 – взвешивающие фильтры. Блок состоит из каскада двух последовательно включенных фильтров и селективного фильтра (может быть установлен до или после каскада последовательно включенных фильтров).

Первый из двух последовательных фильтров является низкочастотным и служит для исключения компонентов пульсаций удвоенной частоты сети на выходе демодулятора. Также может быть использован высокочастотный фильтр для исключения любых компонентов напряжения постоянного тока.

Второй последовательный фильтр является взвешивающим, он моделирует частотный отклик зрительной системы человека при колебаниях напряжения синусоидальной формы, подаваемого на газонаполненную лампу с биспиральной нитью накаливания (60 Вт, 230 В или 60 Вт, 120 В).

Блок 4 – квадратичная обработка и сглаживание. Блок состоит из устройства квадратичной обработки сигналов и низкочастотного фильтра первого порядка. Восприятие фликера с учетом характеристик глаза и мозга человека моделируется характеристикой, которую обеспечивают блоки 2, 3 и 4. Выход блока 4 представляет собой мгновенное значение фликера P_{inst} .

Блок 5 – текущий статистический анализ. С помощью данного блока осуществляется анализ уровня фликера в режиме реального времени, и непосредственное вычисление основных оцениваемых параметров.

Доза фликера определяет меру восприимчивости человека к воздействию фликера за определенный промежуток времени.

Различают кратковременную (10 мин) P_{St} и длительную (120 мин) P_{Lt} дозы фликера, измеряемые в точке передачи электрической энергии.

Действующий стандарт [1] устанавливает следующие нормы в сетях общего назначения:

– кратковременная доза фликера P_{St} не должна превышать значения 1,38;

– длительная доза фликера P_{Lt} не должна превышать значения 1,0.

Метод оценки дозы фликера устанавливается [4]. Измерение на интервале $T_S = 10$ мин позволяет определить кратковременную дозу фликера P_{St} . Сначала находят уровни фликера P (%), соответствующие интегральной вероятности 0,1; 0,7; 1,0; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 17,0; 30,0; 50,0; 80,0 %. Затем определяют сглаженные уровни

фликера P_s при интегральной вероятности равной 1,0; 3,0; 10,0; и 50,0 %:

$$P_{1s} = \frac{P_{0,7} + P_{1,0} + P_{1,5}}{3}, \quad (1)$$

$$P_{3s} = \frac{P_{2,2} + P_{3,0} + P_{4,0}}{3}, \quad (2)$$

$$P_{10s} = \frac{P_{6,0} + P_{8,0} + P_{10,0} + P_{13,0} + P_{17,0}}{5}, \quad (3)$$

$$P_{50s} = \frac{P_{30,0} + P_{50,0} + P_{80,0}}{3}. \quad (4)$$

Используя полученные значения, вычисляют кратковременную дозу фликера P_{St} на интервале времени T_S согласно формуле:

$$P_{St} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_{1s} + 0,0567 \cdot P_{3s} + 0,28 \cdot P_{10s} + 0,08 \cdot P_{50s}} \quad (5)$$

Длительную дозу фликера P_{Lt} определяют на интервале времени T_L , равном 2 ч по формуле:

$$P_{Lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_{k=1}^{12} (P_{St_k})^3}, \quad (6)$$

где P_{St_k} – кратковременная доза фликера на k -ом интервале времени T_S в течение периода наблюдения T_L .

Определение уровня фликера, соответствующего заданной вероятности выполняют по интегральной функции распределения (рис. 2).

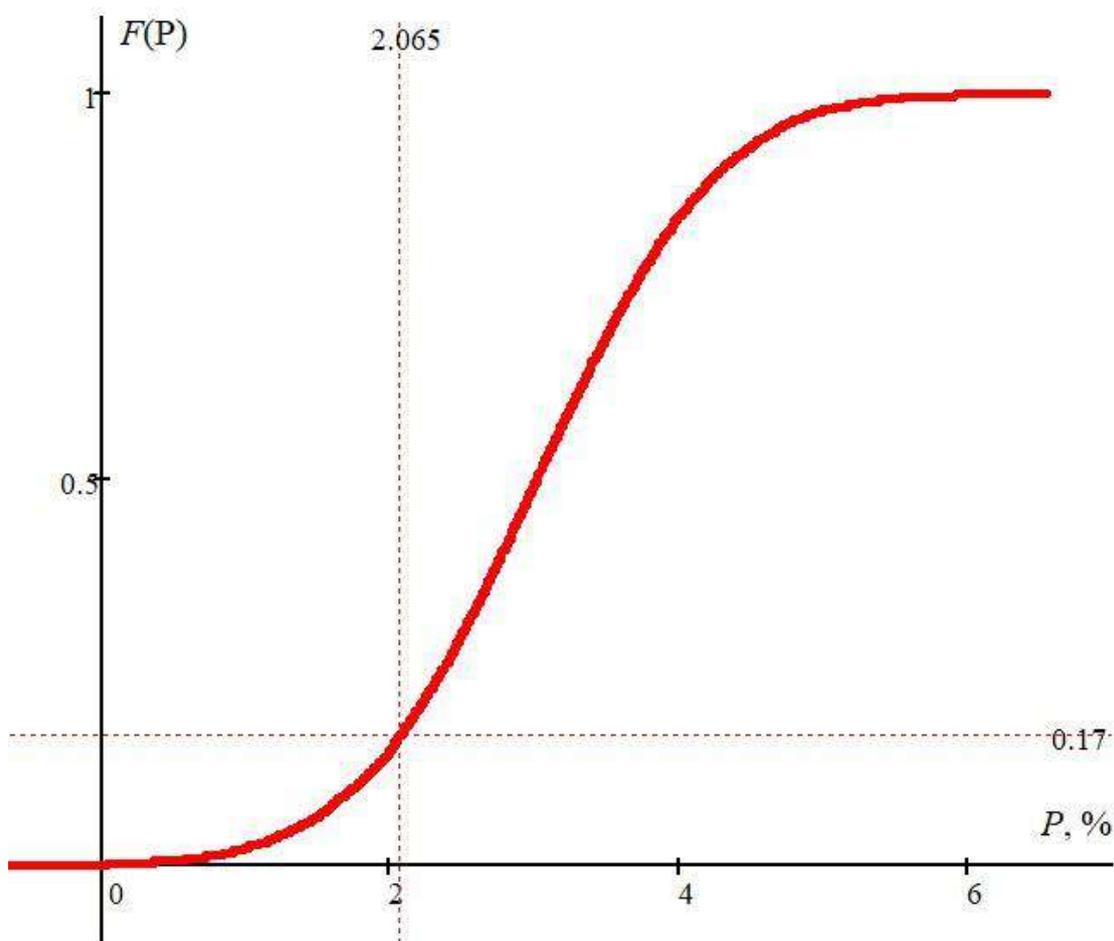


Рисунок 2 – Определение уровня $P_{17,0}$ по интегральной функции распределения фликера

Стандарт [3] устанавливает метод оценки фликера с использованием фликерметра как опорный. В случае, если известна характеристика относительного изменения напряжения $d(t)$, то для оценки кратковременной дозы фликера может быть применен метод моделирования с использованием компьютера. Для характеристик изменения напряжения некоторых видов, значение кратковременной дозы фликера может быть определено аналитическим методом с применением коэффициентов приведения.

При компьютерном моделировании фликера автоматизация расчетов может быть реализована при помощи современных математических пакетов. Для моделирования и исследования структурную схему фликер-модели удобно выполнить в *Matlab*, а статистическую обработку – в *Mathcad* или *SMathStudio*.

Выводы

Показателем качества электроэнергии по фликеру выступает доза фликера, которая является интегральной величиной и характеризует субъективное восприятие человеком колебаний светового потока искусственных источников освещения, вызванных колебаниями напряжения в электрической сети, питающей эти источники. Различают кратковременную и длительную дозы фликера. В основе действующего стандарта реализована фликер-модель на основе ламп накаливания..

Перечень ссылок

1. ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (EN 50160:2010, NEQ)». – Введ. 01.07.2014г.
2. ГОСТ 30372-2017 «Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. (IEC 60050-161:1990)». – Введ. 01.12.2018г.
3. ГОСТ 30804.3.3-2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения (IEC 61000-3-3:2008 EMC)» – Введ. 01.01.2014г.
4. ГОСТ Р 51317.4.15-2012 «Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования (МЭК 61000-4-15:2010)» – Введ. 01.01.2013 г.