

## Совершенствование инструментальных методов оценки электромагнитной совместимости по дозе фликера

*В. М. Ковальчук*

*Рассматриваются вопросы совершенствования методов оценки электромагнитной совместимости с помощью фликерметра на основе понятия светлоты и кибернетического подхода к синтезу модели «электрический источник света – зрительный анализатор» и обоснованию показателя – доза фликера.*

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, фликерметр, доза фликера, светлота, модель источник света – зрительный анализатор.

## Improvement of methods for assessing electromagnetic compatibility by flicker dose

*V. M. Kovalchuk*

*The issues of improving methods for assessing electromagnetic compatibility using a flickermeter are considered based on the concept of lightness and a cybernetic approach to the synthesis of the model “electric light source - visual analyzer” and substantiation of the indicator - flicker dose.*

**Keywords:** electromagnetic compatibility, flickermeter, flicker dose, lightness, model light source - visual analyzer.

Под электромагнитной совместимостью (ЭМС) понимается [10] возможность нормальной работы электроприемников в электрических сетях без нарушения показателей качества электрической энергии.

Известно [10], что электроприемники с резко переменной нагрузкой (дуговые сталеплавильные печи, электросварочное оборудование, прокатные станы и т. п.) вызывают в электрических сетях колебания напряжения (КН) и фликер (мерцание) светового потока электрических источников света, что приводит к нежелательным физиологическим и психическим реакциям работающих в условиях электрического освещения.

Именно поэтому в отечественных и зарубежных стандартах на качество электрической энергии всегда присутствуют показатели допустимых КН на зажимах осветительных приборов. Например, в отечественных стандартах до 1989 года на качество электроэнергии использовался показатель в виде графика кривой допустимых размахов (КДР) КН типа меандр от частоты их появления. В современных стандартах [2, 3] используется более универсальный показа-

тель – доза фликера (ДФ), который применим для оценки как периодических, так и случайных КН.

Под ДФ согласно [2] понимается мера ощущения неустойчивого зрительного восприятия, вызванного световым источником, яркость которого изменяется во времени и измеряется специальным прибором – фликерметром. Основу фликерметра [2] составляет взвешивающий фильтр (ВФ), с амплитудно-частотной характеристикой  $A(f)$ , моделирующий отклик зрительной системы человека на КН синусоидальной формы в диапазоне частот  $f$  0,5–25 Гц, подаваемых на газонаполненную электрическую лампу с биспиральной нитью накаливания (60 Вт, 230 В и/или 60 Вт, 120 В), как наиболее распространенную и восприимчивую к КН источником света.

На выходе ВФ стоит блок квадратичной обработки сигналом с фильтром низкой частоты (КФ) первого порядка с постоянной времени 0,3 секунды. ВФ и КФ, по мнению [2], является моделью восприятия фликера системой «лампа – глаз – мозг человека» при подаче КН на эталонную лампу и выполняют две функции:

- возводит в квадрат значения взвешенного сигнала фликера, моделируя нелинейность характеристик восприятия цепи «глаз – мозг»;
- сглаживает сигнал, моделируя эффект накопления в памяти мозга.

Сигнал на выходе блока КФ обозначается как мгновенное значение фликера  $P_{inst}$ , единичное значение которого принимается за порог восприимчивости фликера человеком. Затем в режиме реального времени производится процедура статистической обработки  $P_{inst}$ , которая позволяет на интервале наблюдения 10 мин определить кратковременную ДФ  $P_s$ , и длительную ДФ  $P_{lt}$ , оцененную в течение 2 часов.

Передаточные функция ВФ и КФ при испытаниях фликерметра должна обеспечивать на выходе прибора одинаковые значения:

- мгновенной ДФ  $P_{inst} = 1$  при подаче на вход КН типа меандр или синусоиды с размахом и частотой согласно таблицам 1 и 2 [2];
- кратковременной ДФ  $P_{st} = 1$  при подаче на вход КН типа меандр с размахом и частотой, соответствующим табл. 5 [2].

Широкое применение новых энергоэффективных источников света, таких как светодиодных и энергосберегающих, вызвали справедливое сомнение [7] в использовании фликерметра [2] для оценки ЭМС сети и таких ламп. Отсутствует связь между ДФ, как мерой ощущения фликера и опытными КДР КН типа меандр на зажимах ламп, вызывающих допустимый уровень утомления человека, что явно завышает требования к ЭМС с использованием фликерметра. Кроме того, аналитические расчеты ДФ показали, что испытательные и калибровочные сигналы, используемые для проверки функционирования фликерметра [2], выдают результат, существенно отличающийся от КДР [5].

Эти недостатки фликерметра, по мнению автора, обусловлены:

- объединением в ВФ моделей двух объектов: лампа и зрительная система, структура и параметры которых определяются кибернетическим методом «черного ящика» по выходному логическому сигналу (вижу или не вижу), не имеющему количественной метрики;

– использование не подтвержденного физиологическими исследованиями способа моделирования КФ нелинейных преобразований и эффекта накопления в системе «зрение – мозг»;

– отсутствием количественной интерпретации понятия ДФ как меры ощущения фликера.

В середине восьмидесятых годов в Донецком политехническом институте с участием автора и под руководством профессора Э. Г. Куренного был разработан первый отечественный фликерметр [10], структура которого практически повторена в [2]. Основное принципиальное отличие между этими фликерметрами состоит в значениях постоянных времени низкочастотного фильтра КФ (4,4 мин против 0,3 с) и наличием в ВФ реально дифференцирующего звена с постоянного времени 70 с, воспроизводящее, как и в моделях [9], один из видов адаптационных процессов. В ВФ фликерметра [10] модель лампы представлена отдельным инерционным звеном первого порядка, с коэффициентом передачи  $\lambda$  и некоторой постоянной времени, числовые значения которых зависят от типа источника света. На основе опыта этих работ предлагаются следующие направления совершенствования фликерметра [2].

1. Разделить ВФ на два блока: модель источника света и модель восприятия фликера. Статические и динамические параметры модели ламп определять на основе эксперимента. Для упрощения структуры фликерметра и аналитических методов оценки ЭМС при иных источниках света достаточно, как показано в [6, 7], учитывать только различие в статических параметрах ламп через поправочные коэффициенты  $\lambda$ .

2. Расширить частотный диапазон оценки воздействия фликера принятием предложения авторов [6] по добавлению в ВФ блока, учитывающего медленные адаптационные процессы зрительного анализатора и уточнением параметров этого блока.

3. Исключить из КФ квадрат, поскольку квадратичное соотношение между яркостью  $L$  и степенью ее восприятия зрением экспериментально не подтверждается и отсутствует в известных моделях [1,9]. Нелинейное преобразование яркости в светлоту  $B$  принято выражать через закон Вебера – Фехнера [1, 8, 9]:

$$B - B_0 = \frac{1}{\varepsilon} \ln \frac{L}{L_n},$$

где  $B$  – светлота, измеренная в порогах  $\varepsilon = \Delta L/L$ , который в большом диапазоне освещения постоянен и равен 0,007...0,008 о.е., а  $L_n$  – пороговая яркость, где светлота  $B_0$  принимает значение 1. Включение процедуры логарифмирования во фликерметр необязательно. Показано [10], что при небольшом диапазоне колебаний яркости  $\pm \Delta L$  от базовой  $L_0$  логарифмирование можно заменить коэффициентом  $1/(\varepsilon \cdot L_0)$ . Для выполнения условия линеаризации логарифмического преобразования, примем за базовую номинальную яркость  $L_n$  при номинальном

напряжении на зажимах лампы. Тогда преобразования изменения яркости  $\Delta L$  относительно номинального значения  $L_n$  в светлоту  $B$  примет вид:

$$B = \frac{1}{\varepsilon} \frac{|\Delta L|}{L_n} + 1.$$

Из этого уравнения видно, что изменение светлоты (ощущения)  $B > 1$  произойдет, если относительные изменения яркости  $\Delta L$  лампы и соответственно напряжения  $\Delta U$  на ее зажимах от номинальных значений превысят порог  $\varepsilon$ .

$$\frac{|\Delta L|}{L_n} > \varepsilon; \quad \lambda \frac{|\Delta U|}{U_n} > \varepsilon.$$

Для ламп накаливания при  $\lambda \approx 3,6$  [10] пороговое изменение напряжения от номинального на ее зажимах будет не менее  $\Delta U \approx 0,195\%$ . Это значение практически совпадает с минимумами всех известных КДР КН типа меандр [2, 4, 7].

Поэтому под мгновенной дозой  $P_{inst}$  нужно поминать сигнал на выходе ВФ как меру изменений ощущения зрительного восприятия (светлоты), вызванного световым источником, яркость которого изменяется во времени, выраженную в долях порога заметности фликера. Такой подход можно использовать и для оценки допустимости фликера по степени его отрицательного воздействия на человека с помощью фликерметра, но это требуют дополнительных исследований.

### Список использованных источников и литературы

1. *Бондаренко, М. Ф.* Модель инерции зрения / М. Ф. Бондаренко, С. Ю. Шабанов-Кушнарченко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Бионика интеллекта. – 2008. – № 1 (68). – С. 3–12.
2. ГОСТ 51317.4.15–2012. (МЭК 61000.4.15:2010). Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования. – Москва : Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ 32144–2013. (EN 50160:2010, NEQ). Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва : Стандартинформ, 2014.
4. 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 16А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения. Нормы и методы испытаний. – Москва : Стандартинформ, 2014.
5. *Дмитриева, Е. Н.* Погрешности расчета доз фликера напряжения и проверка функционирования фликерметра / Е. Н. Дмитриева, Э. Г. Куренный, В. А. Топчий // Электричество. – 2013. – № 2. – С. 28–33.
6. Совершенствование модели фликерметра / Э. Г. Куренный, Е. Н. Дмитриева, Д. Куренный, Н. В. Цыганкова // Электричество. – 2003. – № 2. – С. 17–23.

7. *Лисицкий, К. Е.* Совершенствование метода и средств оценки фликера при использовании источников света с разной чувствительностью к колебаниям напряжения в электрической сети / К. Е. Лисицкий // Проблемы энергетики. – 2018. – Т. 20, № 5-6. – С. 55–66.

8. *Мешков, В. В.* Светлота и яркость / В. В. Мешков // Светотехника. – 1958. – № 12. – С. 1–5.

9. *Шабанов-Кушнарченко, Ю. П.* Математическое моделирование некоторых функций человеческого зрения / Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Проблемы бионики. – Москва : Наука, 1973. – С. 39–45.

10. Электромагнитная совместимость электроприемников промышленных предприятий / А. К. Шидловский, Б. П. Борисов, Г. Я. Вагин, Э. Г. Куренный, И. Г. Крахмалин. – Киев : Наукова думка, 1992.

### **Сведения об авторе**

*Владимир Михайлович Ковальчук*, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления» МОУВО «Белорусско-Российский университет» (Республика Беларусь, г. Могилев), vladmix@inbox.ru