

Аналитические методы оценки допустимости фликера по его заметности

В. М. Ковальчук

Предлагается для аналитической оценки допустимости фликера напряжения по его заметности использовать модифицированную модель фликерметра, когда решение сводится к нахождению размахов колебаний сигнала на выходе линейного фильтра фликерметра.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, модель фликерметра, метод парциальных реакций, аналитический метод.

Analytical methods for assessing the admissibility of flicker by its visibility

V. M. Kovalchuk

It is proposed to analytically assess the admissibility of voltage flicker by its visibility using a modified flickermeter model, when the solution is reduced to finding the range of signal oscillations at the output of the flickermeter linear filter.

Keywords: electromagnetic compatibility, flickermeter model, partial reaction method, analytical method.

Известно, что электроприемники с резко переменной нагрузкой вызывают в электрических сетях колебания напряжения (КН) и фликер (мерцание) светового потока электрических источников света, что провоцирует отрицательную реакцию работающих в условиях электрического освещения.

На стадии проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий для решения задач обеспечения электромагнитной совместимости по фликеру приходится использовать методы аналитических расчетов на основе математической модели фликерметра [1], состоявшей из трех последовательно соединенных блоков:

- взвешивающего фильтра с передаточной функцией $W_f(p)$;
- квадратора;
- инерционного звена первого порядка с постоянной времени 0,3 с.

Нахождение аналитического решения для такой математической модели фликерметра даже для периодических колебаний напряжения несинусоидальной формы приводят к громоздким выражениям. Например, при использовании метода парциальных реакций [2] процесс на выходе фликерметра представляется суммой более 70 слагаемых. Более громоздкие выражения получаются при использовании частотных методов, если разложить процесс на входе фликерметра в ряд Фурье.

Поскольку фликерметр [1] оценивает допустимость фликера по порогу его заметности, автор предлагает для аналитических расчетов использовать модифицированную модель фликерметра [3], в котором допустимость фликера оценивается по степени превышения единичного значения размахов сигнала на выходе взвешивающего фильтра фликерметра. В этом случае аналитическое решение сводится к нахождению размахов колебаний сигнала на выходе линейного фильтра с передаточной функцией $W_f(p)$.

Проведенные исследования показали, что и для модифицированной модели фликерметра частотные методы аналитического решения не преодолевают трудности с выбором числа учитываемых гармоник ряда Фурье и воспроизведения ступенчатого входного процесса (явление Гиббса).

Наилучший результат достигается при использовании метода парциальных реакций [2]. Суть этого метода состоит в замене передаточной функции фильтра $W_f(p)$, представленной в виде отношений многочленов порядка m и n :

$$W_f(p) = k \frac{R(p^m)}{M(p^n)},$$

где k – коэффициент передачи фильтра, p – оператор дифференцирования при $m < n$, сумма передаточных функций $W_i(p)$ звеньев первого порядка:

$$W_i(p) = \frac{c_i}{\frac{p}{-\alpha_i} + 1},$$

где α_i – полюса знаменателя $W_f(p)$, c_i – коэффициент передачи:

$$c_i = (p - \alpha_i)W_f(p)|_{p=\alpha_i}.$$

На выходе каждого звена имеем парциальные реакции $y_i(t)$, сумма которых дает искомую реакцию фильтра:

$$Y(t) = \sum_{i=0}^l y_i(t), \quad (1)$$

где l – число звеньев. Реакции звеньев $y_i(t)$ может носить комплексный характер, но при суммировании мнимые величины сокращаются.

Аналитические методы нахождения реакции звена первого порядка на сигналы детерминированного и случайного характера известны [2] и не вызывают проблем. Например, колебания напряжения $\delta U(t)$ можно представить в виде ступенчатой функции ΔU_j с шагом Δt_j , в диапазоне которого ΔU_j с заданной точностью можно принять постоянной.

В этом случае, как известно, для i -го инерционного звена первого порядка реакция $y_{ij}(t)$ на ступенчатое воздействие ΔU_j длительностью Δt_j имеет вид:

$$y_{ij}(t) = y_{i0}e^{-T_i t} + c_i \Delta U_j (1 - e^{-T_i t}) \text{ при } 0 \leq t \leq \Delta t_j, \quad (2)$$

где $T_i = -\alpha_i$, y_{i0} – реакция i -го звена в начале нулевого интервала Δt_j , t – время, отчитываемое от начала интервала Δt_j . Вычисления можно начинать, когда $y_{i0} = 0$. Рассчитанная в этом случае, согласно (2), конечная ордината $y_{i0}(\Delta t_0)$

будет начальной для следующего интервала Δt_1 и т. д. С учетом (1) находим искомые ординаты реакции $Y(t_j)$ фильтра фликерметра. Расчеты необходимо продолжать до достижения временем $t = \sum \Delta t_j$ значения, превышающего не менее трех постоянных T_i самого инерционного звена.

Колебания напряжения считаются допустимыми, если

$$|Y_{max}(t_j)| + |Y_{min}(t_j)| > 1,$$

где $|Y_{max}(t_j)|$ и $|Y_{min}(t_j)|$ – максимальные и минимальные ординаты по абсолютному значению процесса $Y(t_j)$.

Библиографический список

1. ГОСТ 51317.4.15–2012. (МЭК 61000.4.15:2010). Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования. М.: Стандартинформ, 2014.
2. Куренный, Э. Г. Метод парциальных реакций для анализа на выходе линейных фильтров в модели электромагнитной совместимости / Куренный Э. Г., Лютый А. П., Черникова Л. В. // *Электричество*. – 2006. – №10. – С.11–18.
3. Ковальчук, В.М. Оценка электромагнитной совместимости по дозе фликера / В. М. Ковальчук // *Вестник Белорусско-Российского университета* – 2021. – № 2(71). – С. 50–56.

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