

УДК 004.02:621:628.9

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ОЦЕНКИ ДОПУСТИМОСТИ ФЛИКЕРА

В. М. КОВАЛЬЧУК

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Известно, что электроприемники с резко переменной нагрузкой вызывают в электрических сетях колебания напряжения (КН) и фликер (мерцание) светового потока электрических источников света, что вызывает 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 соединённых блоков:

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

Нахождение аналитического решения для такой математической модели фликерметра даже для периодических колебаний напряжения не синусоидальной 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. 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  $m < n$ ,

суммой передаточных функций  $W_i(p)$  звеньев первого порядка

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

где  $\alpha_i$  – полюса знаменателя  $W_f(p)$ ;  $c_i$  – коэффициент передачи,

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

Например, передаточная функция взвешивающего фильтра фликерметра [1] представляется как четыре параллельно соединенных инерционных звена с коэффициентами передачи  $c_1 = 4,73 + j7,71$ ;  $c_2 = 4,73 - j7,71$ ;  $c_3 = -2,04$ ;  $c_4 = -7,42$  и  $\alpha_1 = 25,51 + j51,56$ ;  $\alpha_2 = 25,51 - j51,56$ ;  $\alpha_3 = 7,70$ ;  $\alpha_4 = 137,61$ , реакции которых суммируются.

Наиболее простое аналитическое решение таким методом достигается при периодических колебаниях напряжения типа меандр с частотой  $f$ , Гц (т. е. периодом цикла  $t_{ц} = 1/f$ ) и длительностью импульса  $t_{и} = 0,5t_{ц}$ . В этом случае стационарное решение в пределах  $t_{ц}$  находится методами припасывания сразу без вычисления всего переходного процесса. С этой целью через систему уравнений переходных процессов каждого звена первого порядка за периоды  $t_{и}$  и  $t_{ц}-t_{и}$  находятся ординаты переходного процесса на границах участков  $y_{i0}$  и  $y_{i1}$ , разность суммы которых определяет степень восприятия фликера.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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