

АНАЛИЗ МОДЕЛИ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ МОЩНОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Цыганаш В.Е.

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

E-mail: said@draw.donetsk.ua

Abstract. *Ziganash V. The analysis of model of a power electrical chain of powerful electrothermal installation. A qualitative analysis of the process of getting a curve at the exit of narrow-stripped modeled filter is given*

Постановка задачи. Широкие возможности модулированных фильтров [1] можно эффективно использовать в моделях, предназначенных для определения отклонений по мощности от оптимального электрического режима в силовых цепях электротермических установок (ЭТУ) [2, 3]. Чтобы использовать эти возможности в полном объеме, необходимо на микроуровне иметь математическое описание процессов, происходящих в таком фильтре. Решение задачи осложняется тем, что это параметрическая модель, содержащая управляемый колебательный контур (КК) и управляемый по частоте генератор синусоидальных колебаний.

Воздействия, характеризующие ток и напряжение силовой цепи ЭТУ, поступают одновременно на входы модели [3]. При этом сигнал, представляющий ток, преобразуется с помощью генератора в частотно-модулированный сигнал, который поступает непосредственно в КК, а сигнал, представляющий напряжение, воздействует на индуктивность КК, изменяя его резонансную частоту. В результате процессы, происходящие во временной области, в КК преобразуются в частотную область, и на выходе модели может быть сформирован сигнал, характеризующий оптимальное решение и отклонения от него. Модель в такой форме хорошо себя зарекомендовала при опытно-промышленных испытаниях на ЭТУ, но ее аппаратная реализация достаточно сложна.

Целью настоящей работы является анализ и экспериментальная проверка математической модели, описывающей внутренний механизм преобразования входных процессов в выходные.

Основное содержание. Известно [3], что на макроуровне модель характеризует коэффициент использования мощности источника питания $K_n(t)$,

представляющий отношение мощности потребляемой установкой к мощности, которая задана источнику питания. Поскольку $K_n(t)$ представляет собой отношение мощностей, то его можно представить в “квадратах” $K_n(t) \cong i^2/i_0^2$, где i — текущее значение тока КК, соответствующее текущему электрическому режиму в установке, i_0 — значение тока модели в режиме резонанса, соответствующее оптимальному электрическому режиму в установке. Так как моделируемые сигналы представлены в частотной области, то, преобразуя это отношение к уравнению приведенной резонансной кривой, можно получить [4]

$$\frac{i^2}{i_0^2} = \frac{1}{1+Q^2 \cdot (1-K)^2},$$

где Q — добротность КК при резонансе, $K = \omega^2/\omega_0^2$ — характеризует отношение текущего значения частоты ω к резонансному значению ω_0 , возведенное в квадрат. Эта формула описывает модель извне и делает упор на совместное поведение всех ее элементов, раскрывая связь между входами и выходом.

В ее структуре уже изначально заложена возможность присутствия обобщенной функции (функции в точке), в частности, при определённых условиях дельта-функции П. Дирака $\delta(\omega)$. Для получения условий, при которых правая часть формулы могла бы включать $\delta(\omega)$, необходима очень высокая добротность КК и его работа в режимах близких к следящим [1]. Оба эти условия в процессе работы модели соблюдаются.

Для выходного сигнала модели, снимаемого с индуктивности КК, можно

записать:

$$U(t) = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d(Li)}{dt} = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} \cong L\Delta i + i\Delta L, \quad (1)$$

где ψ — потокосцепление катушки контура КК; d, Δ — оператор дифференцирования и символ приращения величины.

Исходя из геометрической интерпретации составляющих $U(t)$ и симметрии их влияния на процессы в контуре, ограничимся рассмотрением только одной из них. Так, для тока, поступающего в КК от управляемого генератора, можно записать

$$i = i_m \sin \int_0^t \omega_1 dt,$$

где i_m — амплитудное значение тока, ω_1 — мгновенная частота, являющаяся следствием воздействия на модель первого входного сигнала. Тогда для приращения тока получаем $\Delta i \cong \omega_1 i_m \cos \int_0^t \omega_1 dt$. Поскольку второй сомножитель составляющей

(L) принимается фиксированным, для составляющей в целом можно записать

$$V = \omega_1 \Phi(\omega_1 t).$$

Ясно [5], что площадь, заключённая между графиком функции V и осью абсцисс, при растяжении кверху увеличится в ω_1 раз, а при сжатии с боков уменьшится во столько же раз, т.е. в конечном счёте останется без изменения. Другими словами, это функция, принимающая на узком участке большие значения, причем эти значения согласованы с шириной участка так, что выполняется основное свойство δ -функции. Для неё характерны и другие особенности. Так, при этом функция принимает и отрицательные значения. Её дельта-образность при больших значениях ω обеспечивается не быстрым убыванием функции, а её частыми колебаниями, из-за которых она на конечном расстоянии от ω_0 при интегрировании “всё равно, что тождественный нуль” [5].

Симметричность влияния на процессы в КК находит отражение и в симметрии огибающих. Причем огибающие из-за вращения векторов могут менять своё положение относительно друг друга, так как составляющие формулы (1) могут менять величину и знак. В результате поочередного появления “точек” в огибающих завершается процесс перехода в частотную область и формируется из непрерывного сигнала дискретный сигнал, представляющий последовательность отсчетов. Таким образом, информация о взаимодействующих входных сигналах модели представляется в форме огибающей на ее выходе.

Математическая интерпретация этих процессов наиболее полно проявляется при переходе к комплексным значениям независимого переменного. Этот переход вскрывает внутренний механизм функционирования и взаимодействия между сигналами силовой цепи установки и выходным сигналом модели. Учитывая, что $U(t)$ характеризуется не только величиной, но и направлением, выделим действительную часть x и мнимую часть y . Тогда положим

$$U(t) = x + jy = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} + j \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right); \quad (2)$$

первый множитель как положительное действительное число имеет действительный логарифм и характеризует амплитуду выходного сигнала модели, а второй множитель, модуль которого равен единице, имеет, как известно из математики, чисто мнимый логарифм $j\varphi_0$, причём φ_0 получается из уравнений

$$\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \cos \varphi_0, \quad \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \sin \varphi_0.$$

Подчеркнём, что между амплитудой и фазой выходного сигнала модели существует однозначная связь, поскольку в КК физически реализуется условие Д. Гильберта. Ввиду того, что в величину φ_0 входит слагаемым произвольное целочисленное кратное 2π , формула (2) даёт все значения точек огибающих, укладывающихся на интервале, определяемом периодом входного сигнала.

В общем случае для амплитуды выходного сигнала модели, находящейся под воздействием двух входных сигналов, в покоординатной форме можно записать [6]

$$\tilde{U} = U_0 \cos \int_0^t [(\omega_1 - \omega_2)/2] dt,$$

где \tilde{U} — амплитуда огибающей выходного напряжения модели; U_0 — амплитуда огибающей выходного напряжения модели при резонансном режиме КК; $\omega_1 = \omega_0 + a_1 \cos \Omega t$, $\omega_2 = \omega_0 + a_2 \cos(\Omega t + \varphi_0)$ — мгновенные частоты, являющиеся следствием воздействия на модель соответственно первого и второго входных сигналов; $a_1 \cos \Omega t$, $a_2 \cos(\Omega t + \varphi_0)$ — соответственно первое и второе входные воздействия, представленные в частотной области; a_1 , a_2 — амплитудные значения девиации частоты входных воздействий; Ω — частота входного сигнала, равная в данном случае промышленной частоте силовой цепи установки; φ_0 — фазовый сдвиг между входными воздействиями, представленный в частотной области.

Правомерность такого подхода к процессам, происходящим в КК, можно подтвердить экспериментально. Так, например, если между входными воздействиями имеется только фазовый сдвиг, т.е. $\varphi_0 \neq 0$, $a_1 = a_2$, то для огибающей выходного напряжения можно записать

$$\tilde{U} = U_0 \cos \frac{a_1}{\Omega} \left[\sin\left(-\frac{\varphi_0}{2}\right) \cos\left(\Omega t + \frac{\varphi_0}{2}\right) \right].$$

Если принять во внимание параметры модели и то, что частота входных воздействий равна 50Гц, а фазовый сдвиг между ними равен φ , получим

$$\tilde{U} = 1,6 \cos 1,6 [\sin(-0,5\varphi_0) \cdot \cos(100\pi + 0,5\varphi_0)].$$

Результаты проверки этой зависимости для различных значений фазового угла φ (градусы) и φ_0 (радианы) приведены на рисунке 1.

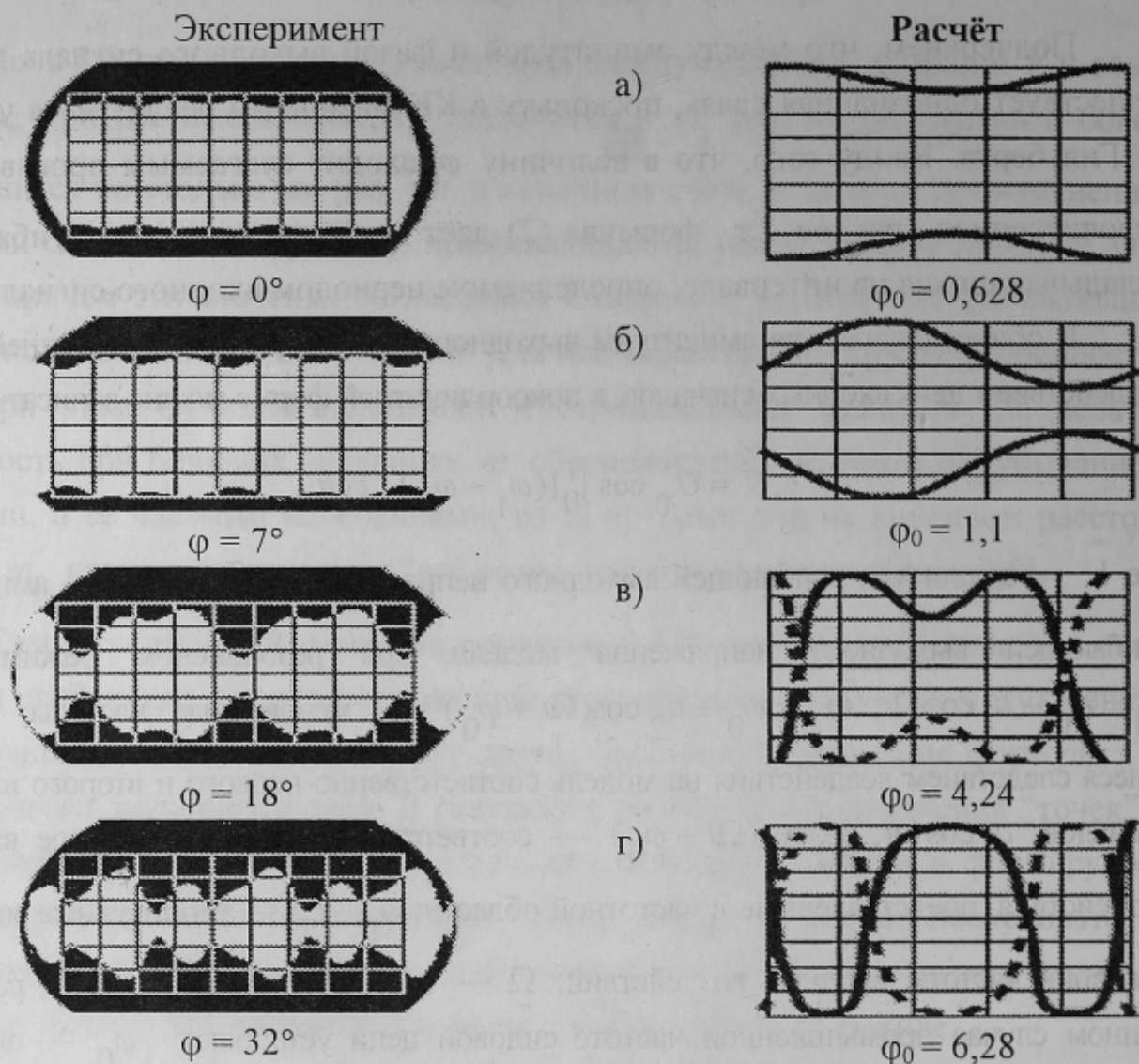


Рисунок 1 — Иллюстрация качественной проверки результатов анализа выходных сигналов модели

При сопоставлении огибающих, полученных экспериментальным и расчетным путем, заметно, что они характеризуют один и тот же механизм функционирования и преобразования входных сигналов в выходные. Отличие огибающих проявляется в том, что амплитудные значения расчётных кривых постоянны при увеличении φ_0 , а у экспериментальных кривых наблюдается уменьшение амплитуды. Это связано с

тем, что не учитывалось изменение добротности КК с увеличением φ_0 и влияние динамических параметров КК на выходные сигналы.

Выводы:

1. Аналитическое описание внутреннего механизма функционирования модели подтверждается экспериментально.

2. Предложенный подход обеспечивает естественный, плавный переход из непрерывной области в дискретную.

3. Полученные результаты открывают перспективу реализации модели не только аппаратными, но и программными средствами, что позволяет значительно упростить реализацию модели.

Литература

1. Виницкий А.С. Модулированные фильтры и следящий прием ЧМ сигналов. — М.: Сов. радио, 1969. — 548с.
2. Пищулина Е.В., Цыганаш В.Е. Критериальная оценка качества управления электрическим режимом печи электрошлакового переплава//Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научн. трудов. — Донецк: ДонГТУ, 2000. — Вып 13. — С.85–89.
3. Цыганаш В.Е. Метод моделирования электрического режима индукционной электротермической установки // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії: Зб. наук пр. Краматорськ — Слов'янськ, 2000. — с.316–317.
4. Калинин В.И., Герштейн Г.М. Введение в радиофизику. — М.: Госиздат техн. и теор. литературы, 1957. — 660 с.
5. Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д. Элементы прикладной математики. — М.: Изд-во “Наука”, 1972. — 592с.
6. Цыганаш В.Е. Определение огибающей на выходе узкополосного модулированного фильтра. // Изв. Вузов МВ и ССО СССР. Радиоэлектроника, 1984. — т.27, №11. — С.89–91.

Сдано в редакцию: 10.03.2003г.

Рекомендовано к печати: д.т.н., проф. Зори А.А.