

Р. АЛЛИКАС

## КОСВЕННОЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

R. ALLIKAS. MUUNDURITE ÜLEKANDEFUNKTSIOONIDE KAUDNE EKSPERIMENTAALNE MÄÄRAMINE

R. ALLIKAS. INDIRECT EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE TRANSFER FUNCTION OF THE POWER CONVERTER

(Представил И. Эпик)

Рассмотрим обычную ситуацию: имеется работающий преобразователь параметров электроэнергии или его макет, а характеристики нагрузки определены заранее теоретически или экспериментально. Требуется исследовать совмещение работы данного преобразователя с заданной нагрузкой. Обычно по известным характеристикам нагрузки строится соответствующий макет и необходимые исследования физических процессов проводятся экспериментальным путем. Но иногда построение макета нагрузки или осуществление совместной работы преобразователя с нагрузкой связано с трудностями.

Приведем два примера. Во-первых, дуговые нагрузки имеют отрицательное динамическое сопротивление. Трудность заключается в совмещении работы управляемого выпрямителя или широтно-импульсного модулятора с фильтром и с дуговой нагрузкой на реальных макетах. Во-вторых, соленоиды для создания сверхсильных магнитных полей имеют частотную характеристику, отличную от таковой обыкновенных индуктивностей (наклон менее 20 дБ в диапазоне высоких частот). Построение макета нагрузки с такой характеристикой также связано со сложностями. Для решения таких задач предложено использовать следующую методику.

Сначала определяется математическая модель исследуемого преобразователя, а затем вычисляются на ее основе необходимые физические процессы и характеристики с учетом заданных или заранее определенных характеристик нагрузок.

Рассмотрим случай, когда требуется исследовать регулировочные свойства (соответствующие частотные характеристики) компенсационного устройства, частота работы которого приблизительно в десять раз больше частоты коммутации вентиля управляемого выпрямителя. Такое ограничение частотного диапазона позволяет применять линейную математическую модель для анализа физических процессов в преобразователе. Динамическое сопротивление дуги вблизи рабочей точки аппроксимируется тоже линейным отрицательным сопротивлением.

Составим систему уравнений, описывающую процессы в исследуемом преобразователе. Решая эту систему в отношении выходного тока  $ik$  с учетом комплексных сопротивлений в ветвях, получим

$$ik = T3 * e / (T1' + T2' * zk), \quad (1)$$

где  $e$  — выходное напряжение (эдс);  $zk$  — комплексное сопротивление выходной ветви;  $T2'$  — сумма миноров, соответствующая  $zk$ ;  $T1'$  — остальная часть детерминанта системы.

После деления числителя и знаменателя дроби уравнения (1) на комплексное число  $T3 \neq 0$  получим

$$20 \lg(ik/e) = 20 \lg(1/(T1 + T2 * zk)). \quad (2)$$

Для нахождения передаточных функций преобразователя необходимо знать величины  $T1$  и  $T2$ . Эти, от частоты зависящие комплексные числа, удобно определить из эксперимента. Для этого необходимо иметь по меньшей мере два разных макета нагрузки, частотные характеристики которых известны. Проводится два эксперимента с этими нагрузками и вычисляются величины  $T1$  и  $T2$  из системы уравнений (4). В эксперименте сначала регистрируется временной ход входного и выходного сигналов (напряжения или тока), а затем находятся их гармонические. Эксперимент можно провести и классически — по отдельным гармоникам. Для вычисления  $T1$  и  $T2$  получим

$$\begin{vmatrix} 1 & zk1 \\ 1 & zk2 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} T1 \\ T2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} e1/ik1 \\ e2/ik2 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

откуда

$$T1 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} 1 & e1/ik1 \\ 1 & e1/ik2 \end{vmatrix}, \quad D = \begin{vmatrix} 1 & zk1 \\ 1 & zk2 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

$$T2 = \frac{1}{D} \begin{vmatrix} e1/ik1 & 1 \\ e2/ik2 & 1 \end{vmatrix},$$

где  $zk1, zk2$  — комплексные сопротивления известных нагрузок.

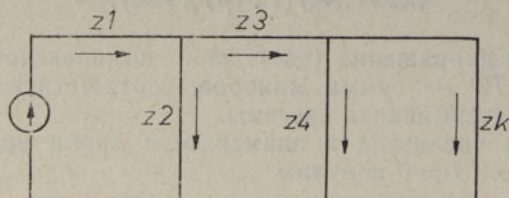
В качестве простого примера выпишем уравнения топологической схемы, приведенной на рисунке.

Предположим, что эдс  $e$  является входным сигналом, а ток в нагрузке  $zk$  — выходным. Для выходного тока получим (см. уравнение (1))

$$\begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -z4 & zk \\ 0 & -z2 & z3 & z4 & 0 \\ z1 & z2 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} i1 \\ i2 \\ i3 \\ i4 \\ ik \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ e \end{vmatrix}, \quad (5)$$

$$T1' = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & -z2 & z3 & z4 \\ z1 & z2 & 0 & 0 \end{vmatrix}, \quad T2' = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -z4 \\ 0 & -z2 & z3 & z4 \\ z1 & z2 & 0 & 0 \end{vmatrix},$$

$$T3 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & z4 \\ 0 & -z2 & z3 & z4 \end{vmatrix}. \quad (6)$$



Из уравнений (6) определяются величины  $T1'$ ,  $T2'$  и  $T3$  (см. уравнение (1)), которые далее преобразуются по изложенной выше методике. Отметим, что с помощью уравнений типа (1) и (6) удастся ускорить процесс вычислений, если комплексные сопротивления ( $z1$ ,  $z2$ ,  $z3$ ,  $z4$ ) заданы, а переходные характеристики необходимо рассчитывать для разных нагрузок.

Искомую переходную частотную характеристику можно определить при необходимости и в кусочно-линейном приближении, используя для этого несколько известных пар нагрузок и те частотные области, где выполняется условие линейности модели. Независимость величин  $T1$  и  $T2$  от амплитуды входного сигнала и от выбора разных пар известных экспериментальных нагрузок характеризует линейность найденной математической модели преобразователя в данной частотной области.

Полученные из эксперимента временные кривые входного и выходного сигналов можно вводить непосредственно в ЭВМ, предварительно преобразовав их в дискретный код. Если входные и выходные величины содержат достаточное количество гармонических, амплитудные и фазовые соотношения между входными и выходными гармониками определяются с помощью быстрого преобразования Фурье [1]. По этим соотношениям строятся соответствующие частотные характеристики преобразователя.

В рассматриваемых случаях число параметров математической модели ( $T1$  и  $T2$ ), определенных из эксперимента, не зависит от сложности топологической схемы преобразователя с фильтром. Используя их, удастся косвенно, на уровне математической модели, определить физические процессы и передаточные функции в макетах преобразователей, минуя весьма трудоемкую операцию совмещения работы преобразователя с нагрузкой или построение сложных макетов некоторых типов нагрузок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рабинер Л., Гоулд Б., Теория и применение цифровой обработки сигналов, М., «Мир», 1978.

*Институт термофизики и электрофизики  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
27/IV 1981