

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗВЕНЬЕВ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

И. Н. Печорина

Приведено описание методики и схемы установки для определения эквивалентных комплексных передаточных коэффициентов нелинейных звеньев систем регулирования. Эту методику целесообразно использовать в том случае, когда синусоидальное колебание существенно искажается при прохождении через нелинейное звено.

В [1] описана методика определения эквивалентных комплексных передаточных коэффициентов нелинейных четырехполюсников. В некоторых случаях эта методика может быть использована и для анализа нелинейных звеньев систем регулирования [2]. Однако необходимость подбора передаточной функции линейного звена с таким расчетом, чтобы в полученной системе могли возникнуть автоколебания, затрудняет использование подобной методики при исследовании сложных нелинейных звеньев систем регулирования.

В настоящей работе рассматривается методика экспериментального определения эквивалентных комплексных передаточных коэффициентов нелинейных звеньев при помощи снятия фигур Лиссажу. Указанный способ может быть использован для получения семейства частотных характеристик и в том случае, когда выходное колебание существенно отличается от синусоидального. Экспериментальное определение передаточных коэффициентов позволит внести уточнения в выражения этих коэффициентов, полученных расчетным путем.

1. Для определения эквивалентных комплексных передаточных коэффициентов необходимо иметь генератор низких частот, который выдает одновременно два колебания, сдвинутые по фазе на  $90^\circ$ . Электронные низкочастотные генераторы, широко применяющиеся для снятия частотных характеристик систем, позволяют получать одновременно синусоидальное и косинусоидальное колебания. При использовании в качестве источника низкочастотных колебаний сельсина с приводом от двигателя постоянного тока с широким диапазоном регулирования скорости для получения сдвинутых на  $90^\circ$  составляющих напряжения необходимо внести в прибор небольшие дополнения.

Определение комплексных передаточных коэффициентов производится следующим образом (см. рис. 1). Синусоидальное напряжение  $u_1$  подается на вход исследуемого звена 1. На выходе этого звена установится периодическое колебание  $f(\omega t)$ , отличное от синусоидального. Исследуемое колебание подается на вертикальный вход осциллографа 2, трубка которого имеет заметное послесвечение. Развертка производится напряжением  $u_1$  (положение 1 переключателя  $\Pi_1$ ) или напряжением  $u_2$  (положение 2 переключателя

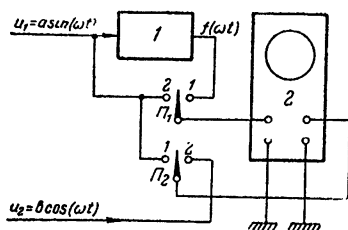


Рис. 1.

$\Pi_2$ ). Напряжения  $u_1$  и  $u_2$  гармонические и сдвинуты по фазе на  $90^\circ$  относительно друг друга. Для определения масштабов предусмотрен переключатель  $\Pi_1$ , при помощи которого можно подавать на вертикальный вход напряжение  $f(\omega t)$  (положение 1) или  $u_1$  (положение 2).

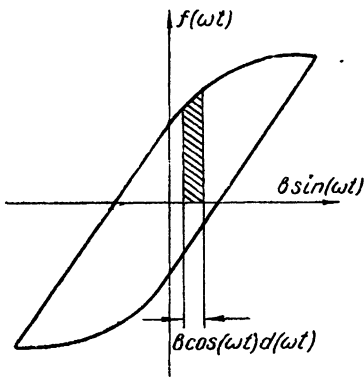


Рис. 2.

На рис. 2 представлена возможная картина фигуры Лиссажу, которая получится при синусоидальной развертке колебания  $f(\omega t)$ . Площадь этой замкнутой фигуры  $S_1$  определится следующим образом:

$$S_1 = \int_0^{2\pi} f(\omega t) b \cos(\omega t) d(\omega t). \quad (1)$$

Совершенно аналогично можно получить площадь фигуры Лиссажу при косинусоидальной развертке колебания  $f(\omega t)$ :

$$S_2 = \int_0^{2\pi} f(\omega t) b \sin(\omega t) d(\omega t). \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2)  $b$  — амплитуда колебания, при помощи которого осуществляется развертка.

Разложим колебание  $f(\omega t)$  в ряд:

$$f(\omega t) = f_0 + c_1 \sin \omega t + c_2 \cos \omega t +$$

Коэффициенты  $c_1$  и  $c_2$  определяются по формулам:

$$c_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin(\omega t) d(\omega t); \quad (3)$$

$$c_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos(\omega t) d(\omega t).$$

Сопоставляя формулы (1), (2) и (3), видим, что

$$\begin{aligned} c_1 &= S_2/\pi b; \\ c_2 &= S_1/\pi b. \end{aligned} \quad (4)$$

Из выражений (4) получим мнимую и вещественную части комплексного передаточного коэффициента  $W_n$  исследуемого нелинейного звена при амплитуде входного колебания, равной  $a$ :

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} W_n &= S_2/\pi ab; \\ \operatorname{Im} W_n &= S_1/\pi ab. \end{aligned} \quad (5)$$

2. Схема установки для определения эквивалентных комплексных передаточных коэффициентов представлена на рис. 3. Через редуктор 2 двигатель постоянного тока 1 вращает сельсин 3. Модулированное напряжение, снятое с сельсина, поступает на вход фазочувствительного усилителя 4. Напряжение на выходе усилителя сглаживается при помощи фильтра 5 и может быть подано на вход нелинейного звена 6, характеристики которого определяются. Параллельно основному сельсину подключается однотипный сельсин 3' (с усилителем 4' и фильтром 5). Напряжение, снятое с однофазной обмотки сельсина 3', пре-

образуется так же, как и напряжение основного сельсина. Таким образом, получается два идентичных канала. Поворачивая ротор второго сельсина, можно установить на выходе второго канала напряжение низкой частоты, сдвинутое на  $90^\circ$  по отношению к напряжению на выходе первого канала. Для второго канала можно с успехом использовать испытатель сельсинов.

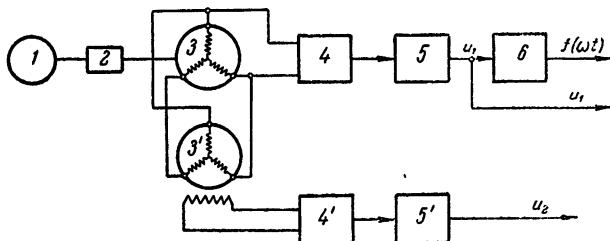


Рис. 3.

Сдвиг по фазе напряжений низкой частоты на выходе первого и второго сельсинов несколько изменяется при увеличении частоты, что требует или специальной градуировки поворота ротора вспомогательного сельсина, или проверки правильности фазы напряжения  $u_2$  по отношению к напряжению  $u_1$  перед измерением на данной частоте.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Двинских, Изв. высш. уч. зав.— Радиофизика, **1**, 4, 170 (1958).
2. J. C. Slegg, K. M. Chirgwin, Applications and Industry, **73**, 14, 155 (1954).

Уральский политехнический институт

Поступила в редакцию  
29 мая 1959 г.