ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 231 1971

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ УСИЛИТЕЛЯ, СОСТОЯЩЕГО ИЗ НЕЛИНЕЙНЫХ ЧАСТОТОНЕЗАВИСИМЫХ ЗВЕНЬЕВ

М. С. РОЙТМАН

(Представлена научным семинаром кафедры радиотехники)

Рассмотрим систему с несколькими последовательно соединенными нелинейными звеньями (см. рис. 1).

Задача сводится к замене системы последовательно соединенных нелинейностей одной эквивалентной. Такая замена связана с очень громоздкими вычислениями и снижением «прозрачности» анализа.

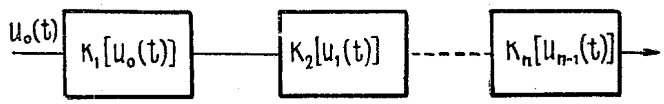

Рис. 1.

В общем виде мы могли бы написать:

$$u_{\Sigma\,\text{вых}}(t) = U_m \sin \omega t \prod_{g=1}^{n} \cdot K_g \left\{ 1 + \frac{\Delta K_g}{K_g} \left[u_{g-1}(t) \right] \right\}, \tag{1}$$

где $K_g \left\{ 1 + \frac{\Delta K_g}{K_g} \left[u_{g-1}(t) \right] \right\}$ — коэффициент передачи g-го звена.

Коэффициент передачи усилителя может быть переписан в виде:

$$K_\Sigma \left[u(t) \right] = \prod_{g=1}^{n} \cdot K_g + \sum_{g=1}^{n} \frac{\Delta K_g}{K_g} \left[u_{g-1}(t) \right] \prod_{g-1}^{n} \cdot K_g +$$

$$+ \sum_{g=2}^{n} \frac{\Delta K_g}{K_g} \left[u_{g-1}(t) \right] \frac{\Delta K_{g-1}}{K_{g-1}} \left[u_{g-2}(t) \right] \prod_{g=1}^{n} \cdot K_g + \tag{2}$$

$$+ \prod_{g=1}^{n} \cdot K_g \prod_{g=1}^{n} \frac{\Delta K_g}{K_g} \left[u_{g-1}(t) \right].$$

Но так как $\frac{\Delta K_g}{K_g} \ll 1$, то можно ограничиться первыми 3-мя членами ряда.

Третий член отражает комбинационные продукты в многозвенной нелинейной цепи и его учет при анализе генераторов принципиально необходим [1].

Во многих же случаях правомочно ограничиваться лишь первыми двумя членами. Если принять аппроксимацию всех звеньев полиномиальной, то учитывая (2), можно получить удобные, резко сокращающие громоздкие выкладки формулы, позволяющие определить коэффициенты полинома аппроксимирующего эквивалентную нелинейность всей цепи.

В случае расчета в обычном порядке, на выход 1-го звена подаем сигнал $U_m \sin \omega t$.

На его выходе получим

$$u_{n\,\text{вых}}(t) = K_1 U_m \sin \omega t + K_1' (U_m \sin \omega t)^2 + K_1'' (U_m \sin \omega t)^3 + \cdots$$

На выходе второго звена

$$u_{\text{вых}}(t) = K_2 u_{1\text{вых}}(t) + K_2 [u_{1\text{вых}}(t)]^2 + K_2'' [u_{1\text{вых}}(t)]^3 + \cdots$$

и т. д. Проведя последовательно все вычисления и сгруппировав подобные члены, можем найти эквивалентную аппроксимацию

$$u_{n\,\text{вых}}(t) \approx K_э U_m \sin \omega t + K_э' (U_m \sin \omega t)^2 + K_э'' (U_m \sin \omega t)^3.$$

Но этот путь, как уже указывалось, приводит к весьма громоздким выкладкам и затрудняет анализ.

Коэффициенты полинома аппроксимирующего n-последовательно соединенных звеньев могут быть сразу получены по формулам*):

$$K_э = \prod_{q=1}^{n} \cdot K_q - \sum_{q=2}^{n} \frac{K_q'}{K_q} \cdot K_{э(q-1)} \cdot U_m^2; \tag{3}$$

$$K_э' = \prod_{q=1}^{n} \cdot K_q \left[\frac{K_1^1}{K_1} + \frac{K_2^1}{K_2} \cdot K_1 + \cdots + \frac{K_q'}{K_q} \prod_{q=1}^{n-1} \cdot K_q \right] =$$

$$\prod_{q=1}^{n} \cdot K_q \left[\frac{K_1^1}{K_1} + \sum_{q=2}^{n} \frac{K_q^1}{K_q} \prod_{1}^{q-1} \cdot K_{q-1} \right]; \tag{4}$$

$$K_э'' = \prod_{q=1}^{n} \cdot K_q \left[\frac{K_1''}{K_1} + \sum_{q=2}^{n} \frac{K_q''}{K_q} \prod_{1}^{q-1} (K_{q-1})^2 \right] +$$

$$+ 2 \sum_{q=2}^{n} \frac{K_q'}{K_q} \cdot K^1_{э\,(q-1)}, \tag{5}$$

где $$K^1_{э\,(q-1)} = \prod^{q-1} \cdot K_{(q-1)} \left[\frac{K_1^1}{K_1} + \sum_{q=2}^{q-1} \frac{K_q'}{K_q} \prod_{1}^{q-2} \cdot K_{q-2} \right] -$$

коэффициент при втором члене эквивалентного полинома для последовательно соединенных звеньев от 1 до $q-1$.

При $q = 1 \prod^{q-1} \cdot K_{q-1} = 1$ Последний член в (5) определяет комбинационные составляющие.

В частном случае двух звеньев имеем

$$K =_э K_1 \cdot K_2 - \frac{K_1' K_2'}{K_2}$$

*) Выкладки, вследствие громоздкости, опущены.

$$K_э^1 = K_2 K_1^1 + K_2^1 K_1^2 = K_1 K_2 \left(\frac{K_1^1}{K_1} + \frac{K_2^1}{K_2} \cdot K_1 \right);$$

$$K_э'' = K_2 K_1'' + K_1^3 K_2'' + 2\, K_1 K_1' K_2' = K_1 K_2 \left(\frac{K_1''}{K_1} + \frac{K_2''}{K_2} K_1^2 + \frac{2K_1^1 K_2^1}{K_2} \right).$$

Полученные нами выражения просты, наглядны и достаточно точны для анализа нелинейных искажений в усилителях и в автогенераторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. С. Ройтман. Об одном методе нахождения стационарного решения для автогенераторов. Настоящий сборник.