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

Том 194 1972

О ПРИМЕНИМОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧАСТОТНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ПАССИВНЫХ ТРЕХПОЛЮСНИКОВ

М. С. РОЙТМАН

(Представлена научно-техническим семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

В настоящее время в связи с совершенствованием измерительной аппаратуры и расширением ее частотного диапазона в область все более высоких частот настоятельно необходимо уверенное определение весьма малых частотных искажений (ЧИ) многополюсников. Особо высокие требования к частотным свойствам предъявляются к делителям напряжения образцовых поверочных устройств, где допустимые искажения оцениваются тысячными долями процента. Непосредственное определение таких величин у многополюсников с коэффициентом передачи, отличным от 1, не представляется возможным. Это привело к тому, что для оценки малых ЧИ наиболее часто пользуются методом интерполяции. Суть его заключается в том, что считают ЧИ пропорциональным квадрату частоты и определяют искажения на более высоких частотах, а затем пересчетом находится погрешность на данной частоте.

Для апериодических минимально-фазовых цепей этот путь совершенно оправдан и весьма эффективен. Однако прежде чем им пользоваться, во избежание ошибок следует убедиться, и убедиться экспериментально, что данная цепь является апериодической и минимально-фазовой.

Необходимость в экспериментальном определении характера цепи продиктована тем, что структура даже сравнительно простой схемы на высоких частотах становится сложной. Любой трехполюсник (практически все несимметричные делители на сопротивлениях представляют собой трехполюсники) со сложной внутренней структурой можно представить в виде последовательно соединенных цепочек. Общий фазовый сдвиг схемы

$$\varphi_\Sigma = \sum_{n=1}^{m} \varphi_n,$$

а частотные искажения

$$\alpha_\Sigma = M_\Sigma - 1 = \prod_{n=1}^{m} M_n - 1 = \prod_{n=1}^{m} (1 + \alpha_n) - 1, \qquad (1)$$

где φ_n — фазовый сдвиг n-го звена.
M_n — коэффициент частотных искажений n-го звена,
m — число звеньев.

Поскольку мы рассматриваем цепи с малыми частотными и фазовыми искажениями, то в (1) произведение можем заменить суммой

$$\alpha_\Sigma = \prod_{n=1}^{m} (1 + \alpha_n) - 1 \approx \left(\sum_{n=1}^{m} \alpha_n + 1\right) - 1 = \sum_{n=1}^{m} \alpha_n.$$

Но для любого звена (апериодического или резонансного)

$$|\alpha_n| \approx \frac{1}{2} \varphi_n^2.$$

В случае, если цепи апериодические и минимально-фазовые, то

$$\alpha_\Sigma = \sum_{n=1}^{m} \frac{1}{2} \varphi_n^2 = \sum_{n=1}^{m} \frac{1}{2} (\omega\tau_n)^2 = \frac{1}{2} \omega^2 \sum_{n=1}^{m} \tau_n^2, \tag{2}$$

$$\varphi_\Sigma = \sum_{n=1}^{m} \varphi_n = \omega \sum_{n=1}^{m} \tau_n, \tag{3}$$

где τ_n — постоянная времени n-го звена.

Непосредственно из (2) следует общеизвестный вывод, что ЧИ минимально-фазовой апериодической цепи (АМФ) имеют квадратичный характер.

Фазовый сдвиг меняется по линейному закону и, следовательно, при малых ЧИ выражен намного ярче. И хотя у минимально-фазовых цепей между фазочастотной и амплитудно-частотными характеристиками имеется однозначная связь, к сожалению, по фазовому сдвигу φ_Σ (3) нельзя определить α_Σ (2), так как неизвестен порядок системы m. Здесь нет противоречия.

Найти АЧХ с приемлемой точностью можно только тогда, когда известна ФЧХ на значительном участке, что равноценно знанию порядка системы. Заметим еще раз, что (2) справедливо только при малых искажениях.

Итак, для того, чтобы обоснованно пользоваться интерполяционным методом нахождения ЧИ, следует предварительно убедиться, что система является АМФ. Для этого следует на нескольких частотных точках (минимум двух) экспериментально определить φ_Σ и α_Σ и после сопоставления получаемых результатов судить о правомочности интерполяции.