

П. Н. ГАНСКИЙ, Э. В. ЗЕЛЯХ, А. В. ШКУЛИПА
(Одесса)

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ RC-СТРУКТУР МЕТОДОМ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ

При конструировании фильтров, генераторов и других устройств, использующих распределенные RC-структуры (которые находят все большее применение в микроэлектронике), часто необходимо знать следующие величины: сопротивление резистивного слоя, суммарную емкость и произведение этих величин — постоянную времени $RC = \tau$. Известный в литературе способ измерения параметров RC-структур [1] при высокой точности измерений обладает, однако, тем недостатком, что процесс измерения имеет сравнительно большую длительность, обусловленную необходимостью настройки двух величин (частоты и сопротивления или емкости). Кроме того, постоянная времени по этому способу не измеряется непосредственно, а вычисляется по измеренным значениям R и C. Поэтому должен представить интерес описываемый ниже способ измерения постоянной времени распределенных RC-структур, лишенный указанных недостатков.

Предлагаемый способ основан на использовании метода самовозбуждения [2, 3] и заключается в следующем: в цепь положительной обратной связи некоторого усилительного четырехполюсника включается испытуемая RC-структура. Коэффициент передачи усилительного четырехполюсника подбирается таким, чтобы в схеме возникли колебания; период этих колебаний определяется постоянной времени RC-структуры. В качестве усилительного четырехполюсника целесообразно применить любой из следующих идеальных активных четырехполюсников (ИАЧ): преобразователь напряжения в напряжение (ПНН) с инверсией и без инверсии напряжения, преобразователь тока в ток (ПТТ) с инверсией и без инверсии тока [4, 5]. Целесообразность такого выбора объясняется свойствами этих элементов, благодаря которым условия самовозбуждения устройства не зависят от параметров RC-структуры (см. табл. 1, где $Z_{вх}$ — входное сопротивление, $Z_{вых}$ — выходное сопротивление, K_u — коэффициент передачи напряжения, K_i — коэффициент передачи тока).

Очевидно, что схемы измерительных устройств (см. столбец 5) представляют собой каскадное соединение двух четырехполюсников, у которых выход соединен со входом. Матрица [a] каскадного соединения находится как произведение соответствующих матриц этих четырехполюсников:

$$[a] = [a'] [a''], \quad (1)$$

где [a'] — матрица RC-структуры [6], а [a''] — матрица ИАЧ, причем (см. столбец 4)

$$Z_c = \frac{R(1-j)}{2\theta}, \quad \gamma l = \theta(1+j), \quad \theta = \sqrt{\frac{\omega}{2} RC}. \quad (2)$$

В качестве примера проанализируем схему 1 табл. 1. Характеристическое уравнение этой схемы, согласно [7], имеет вид

$$a_{11} = 1. \quad (3)$$

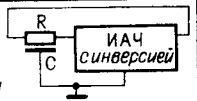

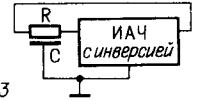

Из выражения (3) с учетом (1) и (2) и после выделения вещественной и мнимой частей получим систему

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{ch} \theta \cos \theta &= \mu; \\ \operatorname{sh} \theta \sin \theta &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Решая (4) совместно, найдем ближайшее устойчивое решение в виде

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \pi; \\ \mu &= -11,57. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Таблица 1

Активный четырех-полюсник	Матрица $[a'']$	Свойства параметров четырех-полюсника	Матрица $[a']$	Схема устройства	Условия самовозбуждения	$ S_{\tau}^{\Phi} $ [рад]
1	2	3	4	5	6	7
ПНН	$\begin{bmatrix} \frac{1}{\mu} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	$Z_{вх} = \infty$ $Z_{вых} = 0$ $K_u = \mu$ $K_i = \infty$	$\begin{bmatrix} ch\gamma l & Z_c sh\gamma l \\ \frac{1}{Z_c} sh\gamma l & ch\gamma l \end{bmatrix}$	1 	$\theta = \pi$ $\mu = -11,57$	1,57
			$\begin{bmatrix} ch\gamma l & Z_c sh\gamma l \\ \frac{ch\gamma l - 1}{Z_c(ch\gamma l - 1)} & \frac{ch\gamma l - 1}{ch\gamma l - 1} \\ sh\gamma l & 2 \end{bmatrix}$	2 	$\theta = \pi$ $\mu = 0,92$	0,1245
ПТТ	$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\alpha} \end{bmatrix}$	$Z_{вх} = 0$ $Z_{вых} = \infty$ $K_u = \infty$ $K_i = \alpha$	$\begin{bmatrix} ch\gamma l & Z_c sh\gamma l \\ \frac{1}{Z_c} sh\gamma l & ch\gamma l \end{bmatrix}$	3 	$\theta = \pi$ $\alpha = -11,57$	1,57
			$\begin{bmatrix} 2 & \frac{Z_c sh\gamma l}{ch\gamma l - 1} \\ sh\gamma l & ch\gamma l \\ \frac{sh\gamma l}{Z_c(ch\gamma l - 1)} & ch\gamma l - 1 \end{bmatrix}$	4 	$\theta = \pi$ $\alpha = 0,92$	0,1245

Знак минус при коэффициенте μ означает поворот фазы ПНН на 180° .

Из (5), учитывая (2), получим связь постоянной времени RC-структуры с частотой f_0 и периодом T_0 генерируемых колебаний

$$\tau = RC = \frac{\pi}{f_0} = \pi T_0. \quad (6)$$

Аналогично выполнен анализ остальных схем, приведенных в табл. 1. Из найденных условий самовозбуждения схем (см. столбец 6 табл. 1) следует, что в схемах 2 и 4 для самовозбуждения требуются ПНН и ПТТ с коэффициентами преобразования $\mu < 1$ и $\alpha < 1$. Равенство (6) справедливо для всех схем табл. 1.

Чувствительность фазы и частоты предлагаемых схем к изменению параметра τ можно определить по формулам:

$$S_{\tau}^{\Phi} = \frac{\partial \Phi}{\partial \tau} \Big|_{f=f_0}; \quad (7)$$

$$S_{\tau}^f = \frac{S_{\tau}^{\Phi}}{\Phi} \Big|_{f=f_0},$$

где $\Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial f} f_0 \Big|_{f=f_0}$ — так называемая фиксирующая способность схем по частоте. Так, например, для схемы 1, фазовая характеристика RC-структуры которой имеет вид [8] $\Phi = -\arctg(\operatorname{th} \theta \operatorname{tg} \theta)$, на основе (7) после несложных преобразований получим:

$$S_{\tau}^{\Phi} = -\frac{\theta}{2} \operatorname{th} \theta \Big|_{\theta=\pi} = -1,57;$$

$$\Phi = -\frac{\theta}{2} \operatorname{th} \theta \Big|_{\theta=\pi} = -1,57;$$

$$S_{\tau}^f = 1.$$

Чувствительность фазы к изменению τ для всех схем приведена в табл. 1. Неодинаковая чувствительность схем объясняется различной крутизной фазочастотной характеристики RC-структуры в различных схемах включения. Что касается чувствительности частоты, то она оказывается равной единице для всех предлагаемых схем.

Параметры RC-структуры были измерены способом, предложенным в [1]. Затем постоянная времени этой же структуры была измерена предлагаемым способом по всем четырем схемам табл. 1. Данные измерений приведены в табл. 2. В первом столбце приведены схемы, во втором — данные измерений по способу, описанному в [1]. В третьем столбце приведены номера схем согласно табл. 1, а в четвертом — данные измерений τ

Таблица 2

Схемы по [1]	$\tau \cdot 10^{-4}$ [с]	Схемы по таблице 1	$\tau \cdot 10^{-4}$ [с]
1	1,09	1	1,01
2	0,96	2	1,03
3	1,21	3	1,15
4	0,96	4	1,08
$\tau_{ср} = 1,05$		$\tau_{ср} = 1,067$	

этих схем. Расхождение результатов измерений по среднему значению τ не превышает 2%.

В экспериментальном макете были использованы четырехтранзисторные ПНН и ПТТ, а также промышленные источники повторители типа МГ-8.

В заключение следует отметить, что описываемый способ, хотя и обладает меньшей точностью, чем способ, предложенный в [1], однако является более удобным, так как не требует какой-либо настройки в процессе измерения. Скорость измерения описанным здесь способом определяется быстродействием индикатора (частотомера). При измерении же способом, предложенным в [1], даже опытный оператор должен затратить на одно измерение не менее 1 мин.

Данный способ пригоден для технологического контроля постоянной времени RC-структур и легко может быть автоматизирован.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Шкулипа. Способ измерения параметров однородных распределенных RC-цепей.— «Автоматрия», 1971, № 5.
2. Э. В. Зелях. Способ определения усиления телефонных усилителей. Авт. свид-во № 27953. БИ, 1931, № 12.
3. В. А. Двинских. Измерение параметров усилителей с применением режима самовозбуждения. М., «Сов. радио», 1965.
4. Д. А. Цирельсон. Об идеальных активных элементах электрических схем.— «Электросвязь», 1961, № 8.
5. S. K. Mitra. Analysis and synthesis of linear active networks. John Wiley, New York, 1969.
6. А. С. Васильев, В. В. Галицкий. А-матрицы однородных распределенных RC-структур.— «Радиотехника», 1969, т. 24, № 6.
7. Э. В. Зелях, П. Н. Ганский. Генераторы, содержащие идеальные активные четырехполюсники и RC-структуры.— «Радиотехника и электроника», 1973, № 2.
8. К. Ф. Мазевич. Исследование RC-цепей с распределенными параметрами. Дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Одесса, ОЭИС, 1965.

Поступило в редакцию 21 декабря 1972 г.,
окончательный вариант — 13 января 1975 г.

УДК 681.2

В. М. ОРДЫНЦЕВ
(Москва)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ОТ СКОРОСТИ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГРАДУИРОВКОЙ, ОБЛАДАЮЩЕЙ ИНЕРЦИОННОСТЬЮ И ИМЕЮЩЕЙ НЕСТАБИЛЬНУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ

Под скоростью работы измерительной системы S будем понимать число измерений, выполняемое в единицу времени. Тогда время одного измерения равно $\Delta t = 1/S$.

При экспериментальном исследовании автоматической измерительной системы [1] нами было замечено интересное явление. Оказалось, что если увеличивать S , то до некоторого значения $S_{опт}$ погрешность измерений уменьшается, а затем снова начинает