

## ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

УДК 621.317.3

А. И. ИЛЬЕНКОВ  
 (Новосибирск)

### МЕТОДИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ЦИФРОВОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСХЕМ

В работе\* описан цифровой прибор для измерения динамических характеристик логических микросхем (ЛС), в котором используется кольцевой генератор, состоящий из нечетного числа ЛС с инвертированием. Одной из существенных составляющих погрешности измерения времен задержек включения и выключения ЛС этим прибором является методическая погрешность. Для максимального диапазона изменения времени задержки 30 нсек абсолютная методическая погрешность составила 1 нсек.

Несомненный практический интерес представляет выявление зависимости методической погрешности от измеряемого времени задержки и определение основных параметров кольцевого генератора, при которых погрешность измерения не превышает допустимую. Решению этих задач посвящена настоящая работа. Для полноты изложения целесообразно кратко повторить основные вопросы, относящиеся к кольцевому генератору и изложенные в работе\*\*.

Схема кольцевого генератора, позволяющего проводить раздельное измерение задержек включения и выключения ЛС, приведена на рис. 1. Переключение ЛС<sub>1</sub> происходит поочередно по первому и второму входам. Один полупериод частоты генератора равен времени прохождения сигнала по меньшему кольцу, а второй полупериод — по большему кольцу. Весь период равен сумме  $t^+$  и  $t^-$  всех ЛС, составляющих меньшее кольцо,  $t^-$  схемы ЛС<sub>6</sub> и  $t^+$  схемы ЛС<sub>7</sub> ( $t^+$  и  $t^-$  являются условными обозначениями времени задержки выключения и включения ЛС соответственно, причем знаки в показателях совпадают со знаком первой производной выходного напряжения по времени). Если схемы ЛС<sub>6</sub> и ЛС<sub>7</sub> принять за образцовые, то, измеряя изменение периода при пооче-

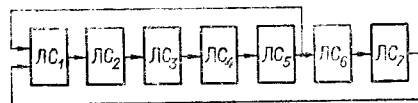


Рис. 1. Схема кольцевого генератора.

\* Г. А. Ведерникова, А. И. Ильенков, И. Я. Корчагин, Г. Г. Матушкин, В. И. Харитонов. Цифровой измеритель динамических характеристик микросхем.— Автометрия, 1970, № 1.

\*\* См. указ. соч.

редной замене их испытываемой ЛС, можно определить для последней  $t^+$  и  $t^-$ :

$$t = t_0 \pm \Delta t, \quad (1)$$

где  $t, t_0$  — время задержки включения или выключения испытываемой и образцовой ЛС соответственно;  $\Delta t$  — изменение периода кольцевого генератора.

Цифровой прибор для измерения динамических характеристик микросхем, описанный в работе\*, базируется на принципе работы цифрового частотомера. Для упрощения последующего анализа не учитываем погрешность квантования, которая определяется таким же путем, как и погрешность частотомера. В этом случае, если счет импульсов, поступающих от кольцевого генератора, производится в течение интервала времени  $\Theta$ , можно записать равенства:

$$T_0 n_0 = \Theta = T_{\text{исп}} n_{\text{исп}}, \quad (2)$$

где  $T_0$  — период частоты генератора с образцовой ЛС;  $T_{\text{исп}}$  — то же, но с испытываемой ЛС;  $n_0$  — число импульсов, поступивших на счетчик при периоде  $T_0$ ;  $n_{\text{исп}}$  — то же, но при периоде  $T_{\text{исп}}$ .

Изменение периода кольцевого генератора описывается выражением (см. работу\*)

$$\Delta t = T_0 \frac{\Delta n}{n_0 \mp \Delta n}, \quad (3)$$

где  $\Delta n$  — изменение числа импульсов, поступающих на счетчик при замене образцовой ЛС испытываемой. При  $\Delta n \ll n_0$  или  $\Delta t \ll T_0$ , что одно и то же, величиной  $\Delta n$  в знаменателе (3) можно пренебречь. Тогда

$$\Delta t \cong \Delta t_n = \frac{T_0}{n_0} \Delta n, \quad (4)$$

причем для приближенного изменения периода частоты кольцевого генератора, принимаемого в дальнейшем за измеряемое, используем обозначение  $\Delta t_n$ . Следовательно, для измеряемых величин задержек испытываемой ЛС имеем

$$t_n = t_0 \pm \Delta t_n. \quad (5)$$

Отношение  $T_0/n_0$  является шагом квантования по времени, и его целесообразно выбирать с учетом требуемой разрешающей способности прибора и кратным десяти для удобства отсчета  $\Delta t_n$ .

Рассмотрим теперь методическую погрешность, обусловленную допущением, принятым в (4). Используя (1) — (5), можно показать, что относительная погрешность описывается выражением

$$\delta = \frac{t_n - t}{t} = - \frac{\Delta t^2}{(t_0 \pm \Delta t)(T_0 \pm \Delta t)} = - \frac{(t - t_0)^2}{t(T_0 + t - t_0)}. \quad (6)$$

Для выявления функциональной зависимости  $\delta$  от переменных  $T_0, t_0$  и  $\Delta t$  необходимо рассмотреть соответствующие частные производные модуля погрешности. Легко показать, что

$$\frac{\partial |\delta|}{\partial T_0} < 0; \quad \frac{\partial |\delta|}{\partial (+\Delta t)} > 0; \quad \frac{\partial |\delta|}{\partial (-\Delta t)} > 0; \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial |\delta|}{\partial t_0} \right|_{t_0 < t} < 0; \quad \left. \frac{\partial |\delta|}{\partial t_0} \right|_{t_0 > t} > 0. \quad (8)$$

\* См. указ. соч.

Из неравенств (7) следует, что уменьшение модуля погрешности можно получить при увеличении  $T_0$  и уменьшении  $|\Delta t|$ . Уменьшение  $|\Delta t|$  эквивалентно уменьшению диапазона измеряемых времен задержек. Зависимость погрешности от  $\Delta t/t_0$  для нескольких значений  $T_0/t_0$  показана на рис. 2.

Неравенства (8) показывают, что имеется оптимальное значение  $t_0$ , при котором  $|\delta| = |\delta_{\max}|$  для предельных значений  $t_{\min}$  и  $t_{\max}$  измеряемых времен задержек. Очевидно, что  $|\delta_{\max}|$  целесообразно принять за допустимое значение рассматриваемой составляющей методической погрешности измерения времен задержек, изменяющихся в диапазоне от  $t_{\min}$  до  $t_{\max}$ .

Перейдем теперь к определению оптимального значения  $t_0$ . Для предельных значений  $t_{\min}$  и  $t_{\max}$  модуль погрешности должен иметь максимальное значение. Следовательно, используя (6), получаем

$$\frac{(t_{\max} - t_0)^2}{t_{\max} (T_0 + t_{\max} - t_0)} = |\delta_{\max}| = \frac{(t_{\min} - t_0)^2}{t_{\min} (T_0 + t_{\min} - t_0)}. \quad (9)$$

Из правого и левого равенств (9) находим, что

$$T_0 = \frac{(t_{\max} - t_0)^2}{|\delta_{\max}| t_{\max}} - (t_{\max} - t_0) = \frac{(t_{\min} - t_0)^2}{|\delta_{\max}| t_{\min}} - (t_{\min} - t_0). \quad (10)$$

Отсюда

$$t_0 = \sqrt{(1 - |\delta_{\max}|) t_{\max} t_{\min}} \approx \sqrt{t_{\max} t_{\min}}. \quad (11)$$

Следовательно, время задержки образцовой ЛС, оптимальное с точки зрения получения наибольшего диапазона измеряемых времен задержек при допустимой методической погрешности, практически равно средней геометрической величине предельных значений измеряемых времен задержек.

Выражения (10) и (11) позволяют определить минимальное значение периода кольцевого генератора, при котором методическая погрешность не превышает допустимую:

$$T_{0 \min} = \frac{1}{|\delta_{\max}|} [(1 - |\delta_{\max}|) (t_{\max} + t_{\min}) - (2 - |\delta_{\max}|) t_0], \quad (12)$$

или для  $|\delta_{\max}| \ll 1$

$$T_{0 \min} \approx \frac{1}{|\delta_{\max}|} [(t_{\max} - t_0) - (t_0 - t_{\min})]. \quad (13)$$

Выражения (11) — (13) позволяют определить исходные данные для расчета кольцевого генератора при заданных предельных значениях измеряемых времен задержек и рассмотренной выше составляющей методической погрешности. По выбранным значениям  $T_0$  и шага квантования  $T_0/n_0$  легко найти длительность интервала времени  $\Theta$ , используя (2).

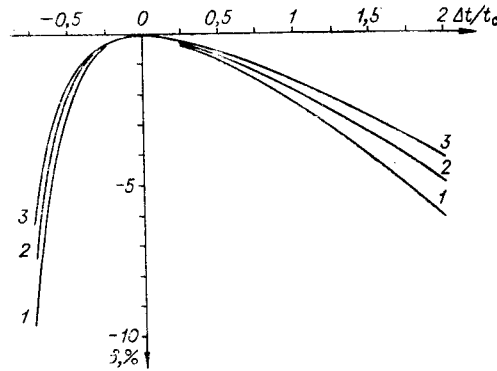


Рис. 2. Зависимость относительной методической погрешности от  $T_0$ ,  $t_0$  и  $\Delta t$ :  
1 —  $T_0/t_0 = 20$ ; 2 —  $T_0/t_0 = 25$ ; 3 —  $T_0/t_0 = 30$ .

Поступила в редакцию  
29 июня 1970 г.