

## ОБ ОСНОВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДНО-РЕГЕНЕРАТИВНЫХ СРАВНИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Полупроводниковые диодно-регенеративные сравнивающие устройства (ДРСУ) широко используются в автоматических измерительных системах, основанных на методе сравнения [1, 2, 3].

Элементом сравнения в этих устройствах является диод, включенный в цепь положительной обратной связи какого-либо автогенератора и меняющий свое сопротивление и, следовательно, коэффициент обратной связи при изменении знака разности сравниваемых напряжений. В качестве автогенератора обычно используется блокинг-генератор, имеющий хорошую форму импульса и малое выходное сопротивление.

Наибольшее распространение получили два типа ДРСУ на основе блокинг-генератора:

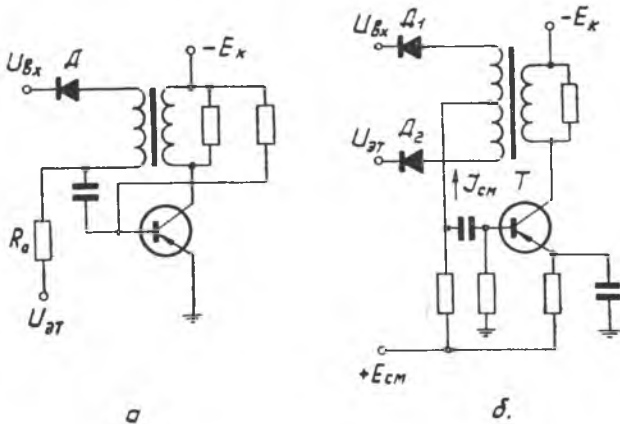


Рис. 1

а) ДРСУ с одной положительной обратной связью (ПОС) и подачей опорного напряжения на сравнивающий диод через резистор (рис. 1, а);

а) балансное ДРСУ [4], у которого сравнивающие диоды включены в цепи отрицательной и положительной ОС так, что знак и величина разности сравниваемых напряжений определяют не только коэффициент, но и знак результирующей ОС (рис. 1, б).

Применение к этим схемам результатов анализа обобщенных схем таких устройств [5] позволяет получить следующие выражения для порога срабатывания ДРСУ:

$$\Delta U_{\text{ср}} = (\varphi_T A - I_{01}) R_0 + \varphi_T \ln \frac{\varphi_T A}{I_{01}} \quad (1)$$

для ДРСУ с одной ПОС и

$$\Delta U_{\text{ср}} = 2\varphi_T \operatorname{arth} \frac{\varphi_T A}{I_{\text{см}}} - \varphi_T \ln \frac{I_{01}}{I_{02}} \quad (2)$$

для балансного ДРСУ,

где  $A$  — обобщенный параметр, зависящий от коэффициента трансформации импульсного трансформатора  $n$ , — параметров транзистора  $h$  и приведенной проводимости нагрузки  $g_n'$ .

$$A = \frac{n^2 (h_{22_{\text{э}}} + g_n')}{n h_{21_{\text{э}}} - 1},$$

$\varphi_T$  — температурный потенциал.

$I_{01}, I_{02}$  — тепловые токи сравнивающих диодов соответственно в цепи ПОС и ООС,

$I_{\text{см}}$  — ток смещения диодов в балансном ДРСУ.

Основная погрешность сравнения вызывается флуктуациями (шумами) параметров элементов схемы ДРСУ, в первую очередь шумами сравнивающих диодов и транзистора. Шумы остальных элементов (резисторов и конденсаторов) значительно ниже и не сказываются заметным образом на величине основной погрешности.

Шумы полупроводникового диода можно свести к шумам теплового тока  $I_0$  [6], шумы транзистора к шумам параметра  $A$ . Распределение шумов по амплитуде можно считать нормальным [6]. Тогда имеем для ДРСУ с одной ПОС из (1):

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\left[ \frac{\partial (\Delta U_{\text{ср}})}{\partial A} \right]^2 \Delta A^2 + \left[ \frac{\partial (\Delta U_{\text{ср}})}{\partial I_{01}} \right]^2 \Delta I_{01}^2} = \\ &= \sqrt{\varphi_T^2 \left( R_0 + \frac{1}{A} \right)^2 \Delta A^2 + \left( R_0 + \frac{\varphi_T}{I_{01}} \right)^2 \Delta I_{01}^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\sigma$  — абсолютная среднеквадратичная погрешность сравнения,  $\Delta A$  и  $\Delta I_0$  — среднеквадратичные значения шумов параметров  $A$  и  $I_0$ .

Для балансного ДРСУ из (2) имеем

$$\sigma = \sqrt{\frac{4\varphi_T^4 I_{\text{см}}^2}{(I_{\text{см}}^2 - \varphi_T^2 A^2)^2} + \varphi_T^2 \left( \frac{\Delta I_{01}^2}{I_{01}^2} + \frac{\Delta I_{02}^2}{I_{02}^2} \right)}. \quad (4)$$

Несмотря на то, что величины  $\Delta A$  и  $\Delta I_0$ , как правило, неизвестны, выражения (3) и (4) позволяют сравнить основные погрешности рассматриваемых ДРСУ и могут быть полезными при выборе элементов их схем.

Сравнение (3) и (4) показывает, что при одинаковой величине шумов  $\Delta A$  и  $\Delta I_0$  и наиболее часто встречающихся величинах параметров схем ( $A, R_0, I_{\text{см}}$ ) ДРСУ с одной ПОС имеют основную погрешность, более чем на порядок превышающую соответствующую погрешность балансных ДРСУ.

Для экспериментального определения среднеквадратичной погрешности ДРСУ был построен двоичный преобразователь «напряжение — код», работающий по принципу ступенчатой компенсации [2] с единичным напряжением  $U_0$ , регулируемым в пределах  $0 \div 50$  мв.

Испытуемое ДРСУ устанавливалось в преобразователь, и на его вход с образцового делителя подавались постоянные напряжения с интервалом  $0,1 \div 1,0$  мв в зависимости от величины  $U_0$ , которое в свою очередь, выбиралось с учетом ожидаемой среднеквадратичной погрешности. Каждая ступень входного напряжения подвергалась цифровому преобразованию не менее 100 раз.

Если входное напряжение  $U_{\text{вх}} = (k+0,5)U_0$ , где  $k$  — любое целое положительное число в пределах емкости счетчика, то при цифровом преобразовании наиболее вероятно получение кода числа  $(k+1)$ . Если  $U_0 \gg \sigma$ , то вероятность получения этого кода практически равна единице. При уменьшении  $U_{\text{вх}}$  и приближении его к величине  $kU_0$  вероятность получения кода  $k+1$  уменьшается, соответственно возрастает вероятность получения кода  $k$ . Когда  $U_{\text{вх}} = kU_0$ , получение кодов  $k$  и  $k+1$  равновероятно.

Зависимость вероятности получения кода  $k$  от величины приращения  $U_{\text{вх}}$  относительно напряжения  $kU_0$  представляет интегральный закон распределения случайной погрешности.

Обработка результатов эксперимента показала, что распределение случайной погрешности в нашем случае действительно близко к нормальному. Следовательно, с достаточной степенью точности можно считать изменение  $U_{\text{вх}}$ , при котором вероятность получения кода  $k$  возросла от 0 до 0,5, равным  $3\sigma$ .

Величина  $\sigma$ , определенная по такой методике, состоит из интересующей нас погрешности ДРСУ и погрешности цифро-управляемого делителя напряжения (ЦУДН). Основываясь на результатах исследования схемы ЦУДН [2], можно предположить, что его среднеквадратичная погрешность, по крайней мере, не превышает погрешности ДРСУ. При их равенстве погрешность ДРСУ

составит 0,707 общей погрешности. Для простоты можно считать  $\sigma_{\text{сy}} \approx \sigma$ .

Испытания рассматриваемых ДРСУ при широкой вариации параметров их схем показали, что балансные ДРСУ могут обеспечить основную погрешность сравнения двух напряжений не более  $0,3 \div 0,5$  мв с доверительной вероятностью 0,997. Соответствующая погрешность небалансных ДРСУ составляет  $8 \div 12$  мв.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. З. Найдеров. Полупроводниковый преобразователь непрерывной величины в цифровой эквивалент. Известия вузов, «Радиотехника», 1960, № 5.
  2. А. П. Стахов. Циклический преобразователь «напряжение — код» на полупроводниковых приборах. ГОСИНИИ, 1964.
  3. А. А. Болтянский, Ю. В. Пшеничников. Авторское свидетельство № 182898. Бюллетень изобретений, 1966, № 12.
  4. Merril L. C., Slater T. L. Linear sweep — voltage generator and precision amplitude comparator using transistor. Electrical Communication, 1956, v. 33, № 5.
  5. Ю. В. Пшеничников. О температурной зависимости порога срабатывания диодно-регенеративных нуль-органов на полупроводниковых приборах. Труды вузов Поволжья, вып. 2, 1965.
  6. Н. Ван-Дер-Зил. Флуктуационные явления в полупроводниках. «Иностранная литература», 1961.
- 
-