

Наряду со стандартом [1] во ВНИИМ разработаны и согласованы со СНИИМ новые требования к метрологическим характеристикам (МХ) рабочих (вторичных) эталонов и разрядных РЭ во всем рабочем диапазоне частот 40—10⁶ МГц (табл. 1, 2). Прежде вторичные эталоны применяли только при частоте 1 кГц (в табл. 1 выделены полужирным шрифтом), поэтому требования к их МХ при других частотах отсутствовали, в то время как разрядные РЭ и раньше эксплуатировали во всем частотном диапазоне. Требования к МХ для разрядных РЭ приведены в методиках поверки для мер индуктивности и взаимной индуктивности [2] и мостов переменного тока и аналогичных измерителей [3]. Однако в связи с сокращением количества разрядов и расширением диапазонов измерений (или номинальных значений) указанные выше требования к МХ уже не соответствуют новой ГПС. По этой и другим причинам указанные методики подлежат пересмотру. Поверочным органам до появления новых методик поверки при оценивании погрешностей РЭ следует руководствоваться табл. 1, 2.

В ряде случаев верхняя граница диапазона частот аттестации низкочастотных РЭ оказывается выше значения 1 МГц, смежного для обеих ГПС (например, для мер L-0170-2 и P593 эта граница составляет 3 или 10 МГц). Тогда в свидетельстве о поверке с целью однозначного толкования целесообразно отметить, какой части ГПС соответствует присвоенный разряд РЭ. Например, в строке «... признано годным к применению» указывают «в качестве РЭ 1-го и 2-го разрядов в соответствии с ГОСТ Р 8.732—2011, соответственно части 1 и 2».

Для внедрения и успешного функционирования ГПС должны быть решены следующие основные задачи:

совершенствование и обновление на современной научно-технической базе выработавшего свой 30-летний ресурс государственного первичного эталона единицы индуктивно-

сти предыдущего поколения ГЭТ 15—79. Разработка теоретической и экспериментальной баз перехода к воспроизведению единицы индуктивности на основе квантового сопоставления Холла [4];

сокращение количества разрядов РЭ с трех до двух в высокочастотной схеме и приведение ее в соответствие с системой передачи единицы при низких частотах. Это позволит исключить ситуации, когда один эталон имеет различные разряды в рамках одной и той же поверочной схемы;

пересмотр методик поверки [2, 3] с целью приведения их в соответствие с новой ГПС.

Новая ГПС отражает современные тенденции в области создания и выпуска СИ индуктивности, а именно: появление цифровых измерителей параметров иммитанса, имеющих расширенные диапазоны и повышенную точность измерений, и сокращение общего количества СИ индуктивности в стране. Разработанные требования к МХ рабочих (вторичных) эталонов и разрядных РЭ позволяют проводить поверку мер и измерителей индуктивности с учетом требований новой ГПС.

Литература

1. **ГОСТ Р 8.732—2011.** ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений индуктивности.
2. **МИ 1985—89.** Рекомендация. ГСИ. Меры индуктивности и взаимной индуктивности. Методика поверки.
3. **ГОСТ Р 8.686—2009.** ГСИ. Мосты переменного тока уравновешенные. Методика поверки.
4. **24th meeting** of the General Conference on Weights and Measures (2011). Resolution 1.

Дата принятия 28.01.2013 г.

621.316.8

Электрические параметры делителей напряжения на основе тонкопленочных резисторов

А. Н. ЛУГИН

Научно-исследовательский институт электронно-механических приборов, Пенза, Россия,
e-mail: niiemp@rambler.ru

Рассмотрены основные электрические схемы и параметры резисторных делителей напряжения и схем отношения, изготовленных по тонкопленочной технологии. Показана взаимосвязь коэффициентов деления и отношения, а также их отклонений.

Ключевые слова: тонкопленочная технология, набор резисторов, делитель напряжения, температурные характеристики.

The basic electrical circuits and parameters of thin-film resistor voltage dividers manufactured according to thin-film technology are considered. The interconnection of coefficients of the division and the relationship and of their deviations is shown.

Key words: thin-film resistor, resistors set-up, voltage divider, division and relationship, temperature characteristics.

Тонкопленочные резисторы (ТПР) нашли широкое применение в технике благодаря своим высоким электрическим и эксплуатационным характеристикам, а также совместимости с конструктивным исполнением и технологией монтажа современных полупроводниковых микросхем. Они удовлетворяют жестким требованиям, предъявляемым к совре-

менной электронике, особенно в сфере цифровой техники, высокочастотной аппаратуры [1] и цифроаналогового преобразования сигналов.

Особое место в тонкопленочном резисторостроении занимают наборы резисторов. Благодаря положительным свойствам групповой технологии изготовления резисторы

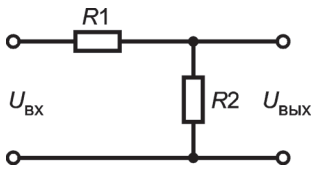


Рис. 1. Схема простейшего резисторного делителя напряжения, составленного из резисторов R_1 и R_2 :

$U_{вх}$, $U_{вых}$ — входное и выходное напряжения

одного набора мало отличаются по температурной и временной стабильности сопротивлений. В наибольшей степени это преимущество используется при построении резисторных делителей напряжения и схем отношения. Однако несмотря на широкое производство и распространение (см., например [1, 2]) до настоящего времени практически отсутству-

ет нормативная литература, в которой были бы приведены соотношения основных электрических параметров таких схем, в связи с чем их применение вызывает определенные трудности. Этого нет и в основополагающих стандартах [3—5]. Ниже рассмотрены основные электрические схемы и параметры резисторных делителей напряжения и схем отношения.

Простой делитель напряжения представляет собой четырехполюсник (рис. 1) в виде двух последовательно соединенных резисторов R_1 и R_2 . Его основной электрический параметр — коэффициент деления

$$K_d = U_{вых} / U_{вх} \text{ или } K_d = R_2 / (R_1 + R_2). \quad (1)$$

Иногда, например, для установления коэффициента усиления в операционных усилителях для характеристики делителя напряжения используют коэффициент отношения

$$K_o = R_2 / R_1,$$

и схему делителя напряжения в этом случае часто называют схемой отношения.

Таким образом, делитель напряжения и схема отношения в своей основе имеют одни и те же составляющие — резисторы R_1 и R_2 . Соответственно и их электрические параметры взаимосвязаны.

Другим основным электрическим параметром делителя напряжения, характеризующим точность преобразования напряжения, является относительное отклонение коэффициента деления от номинального значения δK_d [2, 4]:

$$\delta K_d = \Delta K_d / K_d; \quad \Delta K_d = K_{д.и} - K_d \text{ или } \Delta K_d = \frac{\Delta U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{\Delta R_2}{R_1 + R_2 + \Delta R_1 + \Delta R_2}, \quad (2)$$

где ΔK_d , $K_{д.и}$ — абсолютное отклонение и измеренное (действительное) значение коэффициента деления; $\Delta U_{вых}$, ΔR_1 , ΔR_2 — абсолютные отклонения выходного напряжения и сопротивлений резисторов.

Тогда с учетом (1), (2) получим

$$\delta K_d = (1 - K_d) (\delta R_2 - \delta R_1),$$

где $\delta R_1 = \Delta R_1 / R_1$, $\delta R_2 = \Delta R_2 / R_2$ — относительные отклонения сопротивлений резисторов R_1 и R_2 от номинальных значений.

В этом случае относительное отклонение коэффициента отношения данной схемы [3]:

$$\delta K_o = \delta R_2 - \delta R_1.$$

Таким образом, для функциональной схемы рис. 1 отклонение выходного сигнала от номинального значения будет определяться несогласованностью сопротивлений резисторов. При приемке (поставке) эти сопротивления измеряют установленными методами [6].

На температурной стабильности скажется разница температурных коэффициентов сопротивления (ТКС) резисторов, на временной стабильности — разница в временной стабильности их сопротивлений. Поскольку ТПР изготавливают по групповой технологии, т. е. группа резисторов формируется за один технологический цикл, их электрические параметры по температурной и временной стабильности будут близки друг другу и разница в изменении сопротивления при изменении температуры или времени у соседних резисторов будет минимальной. Например, в частном случае, когда относительные отклонения сопротивления резисторов в нормальных условиях равны, относительная погрешность коэффициента деления (отношения) будет нулевой, так же, как и при равных значениях ТКС и временной стабильности сопротивлений резисторов. Именно благодаря групповой технологии удается реализовать более точные делители напряжения, чем собранные из отдельных резисторов.

Коэффициенты деления и отношения связаны выражениями

$$K_o = K_d / (1 - K_d); \quad K_d = K_o / (1 + K_o),$$

и поэтому всегда, зная один, можно найти другой. Так же взаимосвязаны относительные отклонения этих коэффициентов:

$$\delta K_o = \delta K_d / (1 - K_d), \quad \delta K_d = \delta K_o / (1 + K_o).$$

Важными электрическими параметрами делителей напряжения и схем отношения являются температурные коэффициенты деления (ТККД) или отношения (ТККО), которые определяются изменением отклонений этих коэффициентов при изменении температуры окружающей среды [3]:

$$\text{ТККД} = \delta K_{dT} - \delta K_{dT_0} / (T - T_0); \quad \text{ТККО} = \delta K_{oT} - \delta K_{oT_0} / (T - T_0),$$

где δK_{dT} (δK_{oT}) — относительное отклонение коэффициента деления (отношения) при рабочей температуре T окружающей среды; $T - T_0$ — диапазон рабочих температур; T_0 — нормальная температура; δK_{dT_0} , δK_{oT_0} — относительные отклонения соответствующих коэффициентов при нормальной температуре.

Необходимо отметить, что в сложных функциональных наборах резисторов — двоичных и двоично-десятичных резисторных делителях напряжения в отечественной практике в большинстве случаев используют приведенное отклонение выходного напряжения и его температурный коэффициент ТКПН [3]:

$$\delta U_{вых} = \frac{1}{U_{вх}} \sum_{i=1}^n \pm (U_{вых2} - U_{вых1}), \quad \text{ТКПН} = \frac{\delta U_{выхT} - \delta U_{выхT_0}}{T - T_0},$$

где $U_{вых1}$, $U_{вых2}$ — абсолютные действительное (измеренное) и номинальное значения выходного напряжения при включении n -разрядного резистора; n — количество разря-

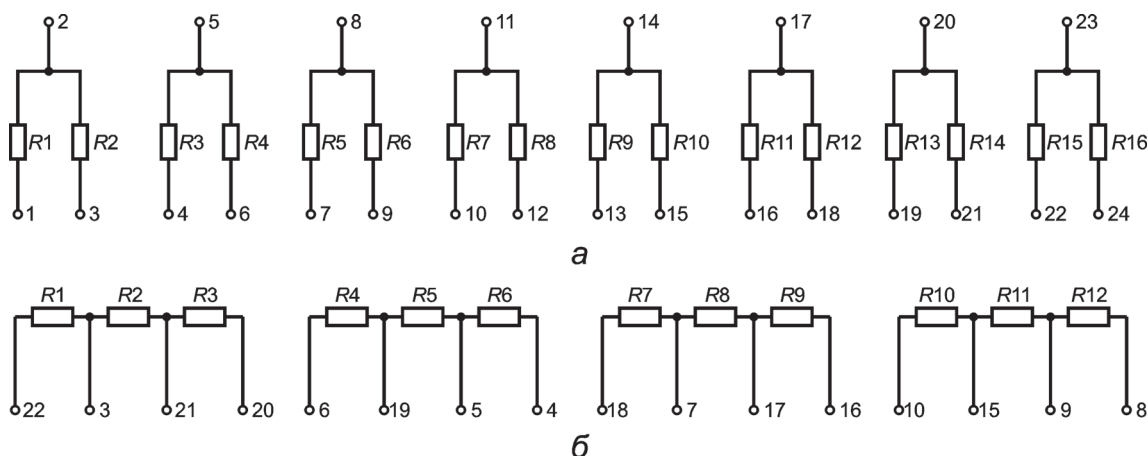


Рис. 2. Электрические схемы наборов резисторов: HP1-53-1-2 (а), HP1-53-1-1 (б)

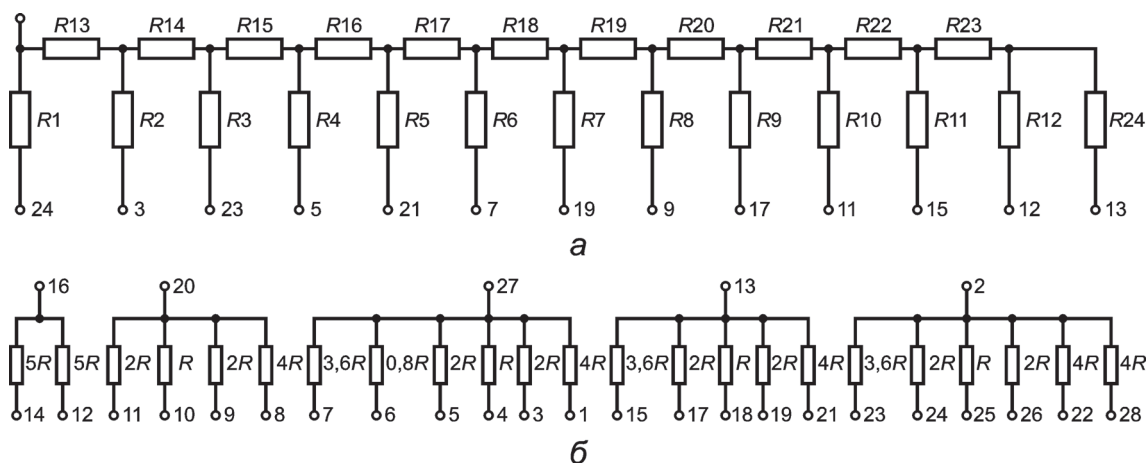


Рис. 3. Электрические схемы набора резисторов HP1-53-2-5 (а) и резистивной микросхемы 302НР4 (б, где $R = 10$ кОм)

дов функционального набора резисторов; $\sum_{i=1}^n \pm (U_{\text{вых}2} - U_{\text{вых}1})$

— сумма поразрядных абсолютных отклонений напряжений со знаком «+» или «-»; $\delta U_{\text{вых}1}$, $\delta U_{\text{вых}2}$ — приведенные отклонения выходного напряжения при рабочей и нормальной температурах окружающей среды.

Изменение δK_d при воздействии температуры окружающей среды на делитель напряжения можно выразить в виде

$$\Delta \delta K_d = \delta K_d - \delta K_{dT}. \quad (3)$$

С учетом (1) с достаточной степенью точности можно принять $R_{1T} = R_{1T_0} (1 + \alpha_1 \Delta T_1)$, $R_{2T} = R_{2T_0} (1 + \alpha_2 \Delta T_2)$, где R_{1T} ,

R_{2T} , R_{1T_0} , R_{2T_0} — сопротивления резисторов $R1$ и $R2$ соответственно при рабочей и нормальной температурах; $\Delta T_1 = T_1 - T_0$, $\Delta T_2 = T_2 - T_0$ — изменения температуры резисторов $R1$ и $R2$ относительно нормальной T_0 ; T_1, T_2 , α_1 , α_2 — температуры резисторов $R1$ и $R2$ и их ТКС. Тогда (3) можно записать в общем виде

$$\Delta \delta K_d = (1 - K_d) (\alpha_2 \Delta T_2 - \alpha_1 \Delta T_1), \quad (4)$$

При $T_1 = T_2 = T$; $\Delta T_1 = T - T_0 = \Delta T_2$ выражение (4) преобразуем как

$$\Delta \delta K_d = (1 - K_d) [(\alpha_2 - \alpha_1) (T - T_0)],$$

и при $\alpha_2 = \alpha_1 + \Delta \alpha$, где $\Delta \alpha$ — разница (разброс) ТКС резисторов $R1$ и $R2$, получим

$$\Delta \delta K_d = (1 - K_d) [\Delta \alpha (T - T_0)].$$

При $\Delta \alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ и $T_2 = T_1 + \Delta T$ выражение (4) можно записать в виде

$$\Delta \delta K_d = (1 - K_d) [\alpha_2 \Delta T + \Delta \alpha (T_1 - T_0)].$$

Отсюда следует, что $\Delta \delta K_d$ зависит от ТКС резистора $R2$ и разброса температур резисторов $R1$, $R2$, а также от разности ТКС этих резисторов и отклонения температуры резистора $R1$ от нормальной. Если T_1 , T_0 и α_2 принять постоянными, то $\Delta \delta K_d$ будет обусловлено разбросом ТКС и разницей температур нагрева резисторов, которые необходимо минимизировать для снижения $\Delta \delta K_d$ в диапазоне рабочих температур.

Уменьшение ТКС резисторов в большей степени достигается конструктивно-технологическими способами при разработке и производстве наборов резисторов. Разброс же температуры резисторов зависит как от конструктивно-технологических особенностей набора, так и совершенства методов измерения. Так, этот разброс может быть связан с воздействием джоулева тепла, неравномерностью нагрева в динамическом электрическом режиме и нестационарными условиями работы. Поэтому при измерениях δK_d при воздействии температуры необходимо уделять особое внимание, в первую очередь, разбросу температур резисторов и системе перемешивания воздуха внутри камеры. Аналогичный анализ можно провести для определения изменения δK_d делителей напряжения в процессе эксплуатации из-за наличия и разброса неустойчивости сопротивления резисторов.

Примерами реализации наборов резисторов могут служить тонкопленочные делители напряжения, в которых имеются несколько групп делителей, необязательно соответствующих показанным на рис. 1, но параметры которых нормируются именно так, как это сделано для делителя согласно этому рисунку. Например, набор резисторов НР1-53-1-2 (рис. 2, а) имеет восемь групп делителей, подобно приведенным на рис. 1. В наборе резисторов НР1-53-1-1 (рис. 2, б) имеется четыре группы резисторов по три резистора в каждой, и в каждой группе измерения проводятся как на двух делителях напряжения, аналогичных представленным на рис. 1.

Примером реализации наборов резисторов, которые представляют сложные функциональные схемы, являются

резистивные сетки [1] двоичные, например $R-2R$ типа НР1-53-2-5 (рис. 3, а), и двоично-десятичные, например $R-2R-2R-4R$, типа 302НР4 (рис. 3, б).

Дополнительно необходимо отметить, что нормирование δK_d (δK_o) тонкопленочных делителей напряжения (схем отношения) проводится для любого рабочего значения входного напряжения в пределах допустимого. Это позволяет получать изделия с более высокими характеристиками, чем при их изготовлении из отдельных резисторов того же класса, поскольку контроль и нормирование электрического сопротивления согласно [6] проводится при мощности не выше 0,1 номинальной, т. е. в отсутствие нагрева от джоулева тепла.

Л и т е р а т у р а

1. **Крюков М.** Высокостабильные тонкопленочные чип-резисторы фирмы Rhysompr// Компоненты и технологии. 2003. № 4.
2. **Резисторы:** Справочник / Под ред. И. И. Четверткова, В. М. Терехова. М.: Радио и связь, 1991.
3. **ОСТ В 11 0658—88.** Наборы резисторов. Общие технические условия.
4. **ГОСТ 21414—75.** Резисторы. Термины и определения.
5. **ОСТ 11 072.009—81.** Наборы резисторов. Основные параметры.
6. **ГОСТ 21342.20—78.** Резисторы. Методы измерения сопротивления.

Дата принятия 22.08.2012 г.

621.3.049.77.002

Исследование влияния схемы включения на характеристики трехколлекторного магнитотранзистора

В. В. АМЕЛИЧЕВ, Р. Д. ТИХОНОВ, А. А. ЧЕРЕМИСИНОВ

Научно-производственный комплекс «Технологический центр» МИЭТ, Москва, Россия,
e-mail: CheremisinovAA@gmail.com

Экспериментально исследованы чувствительность и начальный разбаланс напряжения между коллекторами двухколлекторного латерального биполярного магнитотранзистора npn-типа с базой, сформированной в кармане, который служит третьим коллектором. Показано, что магниточувствительность по напряжению достигает 11 В/Тл в схеме с общим смещением базы и кармана, при этом можно получить начальный разбаланс напряжения между коллекторами менее 1 мВ.

Ключевые слова: биполярный магнитотранзистор, начальный разбаланс, магниточувствительность.

The sensitivity and the initial offset of voltage between collectors of double-collector lateral bipolar npn-type magnetotransistor with the base formed in pocket serving as the third collector are investigated experimentally. It is shown that the voltage magnetosensitivity is 11 V/T in the circuit with the total drift of the base and pocket and the initial offset of the voltage between collectors could be reduced to less than 1 mV.

Key words: bipolar magnetotransistor, initial offset, magnetosensitivity.

Наиболее подробно исследованным вариантом биполярного магнитотранзистора (БМТ) является латеральный магнитотранзистор в кармане и с поверхностным охранным кольцом, который назван в [1] магнитотранзистором с по-

давлением боковой инжекции SSIMT (Suppressed Sidewall Injection MagnetoTransistor) и механизмом чувствительности, определяемым двойным отклонением носителей заряда. Полное описание характеристик SSIMT дано в [2]. Введе-