

Описанная базовая модель сенсора может использоваться для измерения любых других внешних воздействий с соответствующей заменой чувствительного элемента, к которому предъявляются лишь два требования.

Во-первых, он должен быть генератором тока (ток не зависит от напряжения на элементе) и, во-вторых, иметь линейную зависимость тока от измеряемого внешнего воздействия. При измерении интенсивности света, например, этим требованиям соответствуют фотодиоды и полевые фототранзисторы [2], для измерения магнитных полей подходят магнитотранзисторы [4], при измерении гамма-излучения эффективны диоды на основе синтетических алмазов [5] и т. д.

В качестве чувствительных элементов одновременно могут быть использованы и другие элементы генератора. Так, при измерении интенсивности света одновременно с освещением фотодиода (ЧЭ) может освещаться и ОПТ, напряжение включения которого V_{β} при этом уменьшается. Частота генератора (I) будет увеличиваться уже по двум причинам — уменьшения V_{β} ОПТ и увеличения I_{ϕ} фотодиода, что увеличивает фоточувствительность сенсора. Аналогичные варианты возможны и при использовании в качестве конденсатора МДП-фотоварикапа, емкость которого зависит от освещения.

Поскольку выходным параметром сенсора является частота импульсов, информация с него может быть легко введена в любую ЭВМ.

Таким образом, предложена схема сенсора, содержащего генератор на однопереходном транзисторе с чувствительным элементом, ток через который зависит от определенного внешнего воздействия — температуры, давления, радиации и т. д. Изменение тока через элемент приводит к изменению частоты выходных импульсов, считываемых счетчиками с выходом информации на световое табло.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Викулин И. М., Майстренко И. Е., Прохоров В. А. Термостабильные генераторы тока на полевых транзисторах // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО.— 1991.— Вып. 1.— С. 34—39.
2. Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов.— М.: Радио и связь, 1990.
3. Пат. 2058019 РФ. Электронный датчик температуры / И. М. Викулин, В. И. Гречан, И. Р. Халимов.— Б.И.— 1996, № 10.
4. Викулина Л. Ф., Глауберман М. А. Физика сенсоров температуры и магнитного поля.— Одесса: Маяк, 2000.
5. Богданов А. В., Викулин И. М. Приборы на основе полупроводниковых алмазов.— М.: Электроника, 1987.

К. ф.-м. н. А. Г. ГОЛОВКО

Украина, г. Кизомыс, НПФ «Артур»
E-mail: argo_m@ukr.net

Дата поступления в редакцию
13.08 2003 г.

Оппонент д. ф.-м. н. В. А. ДРОЗДОВ
(ОИСВ, г. Одесса)

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ В ДАТЧИКАХ

Описанный принцип позволяет более надежно прогнозировать флуктуационные свойства и стабильность работы датчиков преобразования неэлектрических параметров в напряжение.

Работа множества используемых в электронной аппаратуре датчиков основана на преобразовании неэлектрического параметра в напряжение. При этом общим для них является изменение электропроводности вследствие изменения внешних воздействий. Вид функции такого преобразования часто содержится в вольт-амперной характеристике (ВАХ) датчика. Одновременно внешние помехи и внутренние флуктуации проводимости преобразуются в датчике во флуктуации падения напряжения, что определяет уровень нестабильности его работы.

В [1] на основе экспериментальных исследований было сделано заключение, что в цепи, состоящей из датчика, нагрузочного резистора и источника питания, элементарная флуктуация электропроводности $\delta g(t)$ датчика вызывает флуктуацию силы тока $\delta i(t)$, пропорциональную смещению U :

$$\delta i(t) = \delta g(t)U. \quad (1)$$

В случае нелинейной ВАХ действует известная взаимосвязь между флуктуацией силы тока и флуктуацией напряжения $\delta u(t)$ [2]—

$$\delta u(t) = r_d \delta i(t), \quad (2)$$

где r_d — дифференциальное сопротивление датчика.

Объединив (1) и (2), получим уже известную [3] важную и применимую для различных типов датчиков и видов флуктуаций функцию преобразования датчиком мгновенных значений флуктуации электропроводности во флуктуацию падения напряжения на нем.

$$\delta u(t) = -\delta g(t)r_d U. \quad (3)$$

Знак «минус» отражает факт, что рост проводимости приводит к уменьшению падения напряжения на образце.

Для омического датчика, сопротивление которого R , соотношение (3) принимает вид

$$\delta u(t) = -\delta g(t)RU. \quad (4)$$

Рассмотренное выше позволяет сделать полезное и удобное для использования на практике разработчиками электронной аппаратуры обобщение — раскрыть физический принцип, лежащий в основе флуктуационных преобразований в датчиках.

Сперва рассмотрим наиболее простой случай — датчик с линейной ВАХ. Для него

$$r_d = R = 1/G = U/I, \quad (5)$$

где G — электропроводность датчика;
 I — сила тока в цепи.

Флуктуация сопротивления $\delta R(t)$ и флуктуация проводимости $\delta g(t)$ — это лишь различное описание одного и того же изменения в образце. Для них справедлив взаимный переход в описании:

$$\delta R(t) = -\delta g(t)/G^2 = -R\delta g(t)/G = -\delta g(t)R^2. \quad (6)$$

В режиме постоянного смещения на датчике ($U = \text{const}$) флуктуация проводимости вызовет флуктуацию силы тока в цепи (указана причинно-следственная связь):

$$\delta i(t) = \delta g(t)U. \quad (7)$$

В режиме постоянного тока в цепи ($I = \text{const}$) эта же флуктуация вызвала бы флуктуацию падения напряжения $\delta u(t)$:

$$\delta u(t) = \delta R(t)I = \delta R(t)U/R = -\delta g(t)R^2I = -\delta g(t)U/G. \quad (8)$$

Соотношения (4)—(8) позволяют записать следующее тождество пропорций с учетом режимов подключения датчика:

$$\delta u(t)/U = \delta R(t)/R = -\delta i(t)/I = -\delta g(t)/G. \quad (9)$$

Это — выражение физического принципа взаимных преобразований флуктуаций в датчике: *мгновенные значения относительных величин преобразуемых флуктуаций равны между собой.*

Можно глубже проникнуть в причинно-следственные связи флуктуационных преобразований. Так, проводимость образца можно определять через его геометрические размеры и удельную электропроводность материала σ или удельное сопротивление $\rho = 1/\sigma$. Известно [4, с. 48], что

$$\sigma = qn\mu, \quad (10)$$

где q — элементарный заряд;
 n — концентрация носителей заряда;
 μ — их подвижность.

Очевидно, что флуктуация электропроводности $\delta g(t)$ вызвана флуктуациями удельной проводимости материала образца $\delta\sigma(t)$, в которых для металлов доминирующую роль проявляют флуктуации подвижности носителей зарядов $\delta\mu(t)$, а для полупроводниковых образцов — флуктуации концентрации носителей зарядов $\delta n(t)$. С учетом этого ряд пропорций выражения (9) можно продолжить за счет относительных величин мгновенных значений определенным образом усредненных по объему образца (усреднение обозначено угловыми скобками) удельной проводимости, удельного сопротивления, подвижности и концентрации носителей заряда:

$$\delta u(t)/U = \delta R(t)/R = -\delta i(t)/I = -\delta g(t)/G = -\langle \delta\sigma(t)/\sigma \rangle = -\langle \delta\mu(t)/\mu \rangle = -\langle \delta n(t)/n \rangle. \quad (11)$$

Разработчик аппаратуры вправе из приведенного ряда выбрать важные, на его взгляд, пропорции, позволяющие записать требуемые (искомые) функции преобразования флуктуаций. Отметим, что составить их можно лишь на основе использования физического принципа мгновенности флуктуационных превращений. Это обязывает исключать из рассмотрения высокочастотные флуктуации. Однако для сред-

не- и низкочастотных флуктуационных процессов спектральные распределения взаимно преобразуемых величин должны быть одинаковыми.

В случае стационарных первичных флуктуаций к выражению (9) можно применить Фурье-анализ, и для спектральных плотностей $G(f)$ соответствующих величин, обозначаемых индексами, можно записать:

$$G_u(f)/U^2 = G_i(f)/I^2 = G_R(f)/R^2 = G_g(f)/G^2. \quad (12)$$

Это менее значимое соотношение, чем (11). В то же время в научной литературе широко известно применяемое на практике эмпирическое соотношение Хуга [4, с. 483] для $1/f$ -шумов

$$G_u(f)/U^2 = G_i(f)/I^2 = G_R(f)/R^2 = G_g(f)/G^2 = C_{1/f}/f, \quad (13)$$

где $C_{1/f}$ — подбираемый коэффициент;
 f — частота.

Видно, что в (13) пропорции левой части совпадают с (12), хотя относятся к более узкому классу флуктуационных явлений. Они установлены эмпирическим путем, однако могут служить демонстрацией действия раскрытого выше физического принципа преобразований флуктуаций.

Для датчиков с нелинейными ВАХ выражение этого принципа должно быть скорректировано, учитывая справедливость функции преобразования (3).

$$\delta u(t)/U = \delta r(t)/r_d = -\delta i(t)/I = -\delta g(t)/g_d, \quad (14)$$

где g_d — крутизна ВАХ или дифференциальная проводимость;
 $\delta r(t)$ — флуктуация сопротивления базы барьера.

Для нелинейных образцов еще далеко не все понятно и раскрыто. Требуются еще значительные усилия исследователей. Так, если для омических образцов спектральное распределение для всех параметров должно быть одним и тем же при всех уровнях смещения, то для датчиков с нелинейными ВАХ картина сложнее. При небольших смещениях в спектре флуктуаций напряжения присутствует больше высокочастотных составляющих, чем при больших смещениях.

Таким образом, нами предложено описание физического принципа флуктуационных преобразований в датчиках, знание которого даст возможность разработчикам более надежно прогнозировать флуктуационные свойства и стабильность работы датчиков преобразования неэлектрических параметров в напряжении. Согласно ему, мгновенные значения относительных величин взаимно преобразуемых флуктуационных параметров равны между собой.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Головки А. Г. Преобразование низкочастотных флуктуаций электропроводности в датчиках с нелинейной ВАХ // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2003. — № 4. — С. 50—51.
2. Hooge F. N., Kleinpenning T. G. M., Vandamme L. K. J. Experimental studies of $1/f$ noise // Rep. Prog. Phys. — 1981. — Vol. 44, N 5. — P. 479—532.
3. Головки А. Г., Головки Т. А. Новый флуктуационный закон для стационарных процессов переноса зарядов / Тр. междунар. семинара «Шумы и деградационные процессы в полупроводниковых приборах». — Московский энергетический институт. — 1998. — С. 264—268.
4. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Энергия, 1973.