

УДК 621.381.5-1

Л.П.Смирнова, Н.М.Шутге,  
Л.А.Гречаник, Ю.Н.Ульяно, В.И.Пановкина

О СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ В АНАЛОГОВОМ РЕЖИМЕ  
КАНАЛОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ (КЭУ) С РАЗНОЙ ФОРМОЙ  
КАНАЛОВЫХ ЭМИТТЕРОВ ИЗ ВОССТАНОВЛЕННОГО СТЕКЛА

Проведено сравнительное исследование стабильности работы в аналоговом режиме канальных электронных умножителей (КЭУ) различных конфигураций: дуговых (длина дуги  $150^\circ$ ), целевых, пространственных и четырехканальных линейных спиралей. Исследование проводилось на образцах разного диаметра и калибра. Изучены токоустойчивость КЭУ и воспроизводимость их показаний при режиме последовательных выключений и выключений высоковольтного питания. Установлено, что токоустойчивость КЭУ тем больше, чем меньше отношение выходного тока к току нагрузки токонесущего слоя и чем больше диаметр канала. Исследован эффект "утомления", который проявляется в необратимой потере эмиссионных свойств полупроводникового слоя и определяет общий срок службы приборов этого типа. Проведено сравнение токоустойчивости различных типов КЭУ.

КЭУ представляет собой умножитель с непрерывным динодом той или иной формы. Одним из наиболее перспективных материалов для КЭУ является высококачественное свинцово-силикатное стекло, восстановленное в водороде [1,2]. Принцип работы умножителя с непрерывным динодом и основные свойства его описаны в работах [3-8].

Специфика работы КЭУ в целом ряде приборов требует обеспечения довольно длительных измерений на протяжении от нескольких месяцев до нескольких лет, причем в ряде случаев с длительными перерывами. Поэтому одним из параметров, определяющих успеш-

ность использования этих приборов для исследований, является стабильность их работы.

Под стабильностью работы КЭУ следует понимать: воспроизводимость показаний при режиме последовательных выключений и выключений; токоустойчивость, характеризуемую степенью изменения выходного тока в течение первых часов работы; постоянство коэффициента усиления в процессе длительной эксплуатации. В этом случае уменьшение коэффициента усиления называют "утомлением".

Природа наблюдаемого эффекта уменьшения тока коллектора КЭУ пока не выяснена окончательно, хотя ведутся интенсивные исследования в этой области [7-9]. Целью данной статьи являлось изучение стабильности работы различных типов КЭУ, а также определение их общего срока службы в зависимости от различных условий работы в аналоговом режиме. При этом все исследования проводились без предварительной тренировки перед каждым циклом измерений. Также неблагоприятные с точки зрения стабильности условия эксперимента ставились с целью более детального исследования причины нестабильности. Кроме того, в некоторых исследованиях КЭУ приходится использовать без предварительной тренировки.

В общей сложности было исследовано несколько десятков образцов КЭУ. Обобщенные данные по этим измерениям сведены в таблицу. Для сравнения токоустойчивости канальных умножителей различного типа в таблице даны величины изменения выходных токов за первый и второй час работы эмиттера, отнесенные к первоначальному выходному току.

Сопоставляя кривые зависимости токов коллектора КЭУ различных конфигураций, представленные на рис.1, видим, что для всех КЭУ имеет место общая закономерность поведения. Во всех случаях наиболее интенсивное уменьшение коллекторных токов  $I_{кол}$  КЭУ приходится на первый час работы. При дальнейшей работе КЭУ уменьшение  $I_{кол}$  со временем незначительно. Так, снижение  $I_{кол}$  за первый час составляло 30-60%, а за второй час работы было существенно меньше (5-15%). Воспроизводимость данных по измерениям токоустойчивости разных образцов КЭУ одной и той же конфигурации достаточно высокая (кривые 1 и 2 на рис.1а относятся к разным образцам дуговых КЭУ).

Канальные умножители с целевой формой канала (рис.1б), образованного двумя параллельными изогнутыми пластинами, существенно отличаются от КЭУ других конфигураций тем, что коэффициент усиления у них в сильной степени зависит от разности потенциалов на входных концах пластины  $U_{пл}$ . Проведенные исследования показали что токоустойчивость умножителей данного типа также зависит от

этой величины. Если разность потенциалов такова, что коэффициент усиления КЭУ максимален ( $U_{пл} = 200+250$  в), то и токоустойчивость значительно выше (кривая 1). Видно, что в этом случае уменьшение тока коллектора за первый час работы составляет 30%.

Тип КЭУ	Входной ток $10^{-12}$ , а	Коллекторный ток в начальный момент времени, а	Изменения коллекторного тока в относительных единицах		Отношение тока коллектора к току канала
			за первый час работы, %	за второй час работы, %	
Дуговые	0,04	$3 \cdot 10^{-6}$	60	44	0,125
	0,13	$7,2 \cdot 10^{-7}$	30	2	0,0315
Дуговые (дуга $150^\circ$ )	-	$10^{-6}$	50	27	0,0645
Пространственные спирали	0,1	$1,5 \cdot 10^{-7}$	50	3	0,151
	2,7	$3 \cdot 10^{-7}$	30	1	0,0125
Щелевые	0,086	$1,1 \cdot 10^{-6}$	4	-	0,5
Четырехканальные линейные спирали	0,86	$3 \cdot 10^{-7}$	5	-	0,25
		$8,4 \cdot 10^{-7}$	25	3	0,150
		$2,7 \cdot 10^{-7}$	40	20	0,150

Если же разность потенциалов между пластинами не соответствует максимальному усилению (например,  $U_{пл} = 0+180$  в), то уменьшение коллекторного тока в начальный период работы - 70% (кривая 2).

Измерения КЭУ проводились как при длительной непрерывной работе с последующим продолжительным перерывом (более десяти часов), так и при чередовании кратковременных периодов работы и "отдыха" продолжительностью от 10 мин до одного часа. Что касается вопроса воспроизводимости показаний тока коллектора КЭУ при одинаковых условиях в разные моменты времени, то установлено следующее: если длительность нерабочего состояния КЭУ велика, то эмиссионные свойства практически полностью восстанавливаются. На рис.2, а представлены кривые зависимости тока коллектора для четырехканального усилителя типа линейной спирали, снятые через промежуток времени порядка 15 ч, в течение которых усилитель не работал. Кривые иллюстрируют восстановление коэффици-

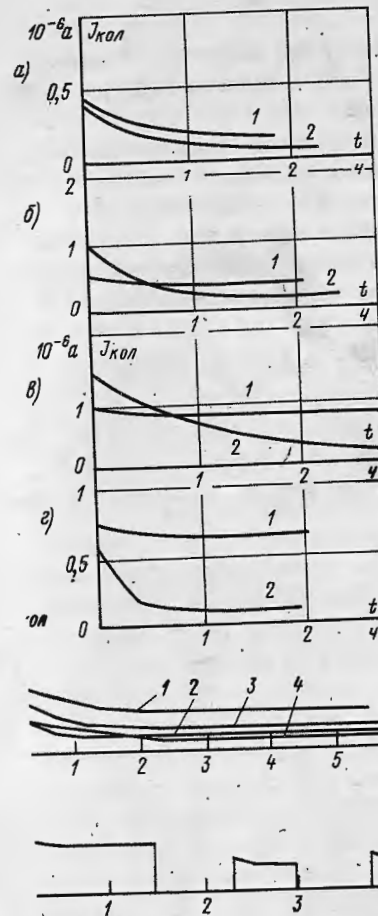


Рис.1. Кривые зависимости тока коллектора от времени для КЭУ различных типов: а) дуговой (дуга  $150^\circ$ , калибр  $l/d = 40$ , диаметр входного отверстия  $d = 1$  мм); б) щелевой (площадь входного отверстия  $20 \times 2$ , калибр 50); в) четырехканальные линейные спирали ( $1 - l/d = 40$ ,  $d = 1,6$  мм;  $2 - l/d = 70$ ,  $d = 0,5$  мм); г) пространственные спирали ( $1 - d = 3$  мм;  $2 - l/d = 50$ ,  $d = 1,5$  мм)

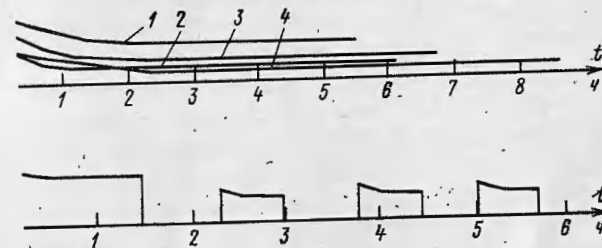


Рис.2. Воспроизводимость значений тока коллектора во времени для случаев: а) длительных перерывов между рабочими циклами (цифры, указанные возле кривых, соответствуют различным циклам измерений); б) кратковременных перерывов

циента усиления и четкую повторяемость работы КЭУ после продолжительного перерыва. Разброс первоначальных величин  $J_{кол}$  обусловлен разбросом тока накала пушки.

При повторном включении через промежуток времени меньше часа, коллекторный ток и его снижение во времени несколько меньше, чем при первоначальном включении. При продолжительной эксплуатации КЭУ с периодическим выключением высоковольтного питания на период 30-40 мин величина коллекторного тока в момент включения и его снижения во времени одинаковы в каждом цикле измерений (рис.2, б). На рис.1 в, г представлены кривые стабильности линейных четырех-

каналовых и пространственных одноканальных спиралей с разными диаметрами канала эмиттера. Из рисунков и таблицы видно, что КЭУ с большими диаметрами более стабильны.

Были проведены эксперименты по определению зависимости токоустойчивости на примере КЭУ типа пространственной спирали от величины входного и коллекторного токов. Было установлено, что в режиме насыщения величина входного тока мало влияет на временной спад коэффициента усиления. Поэтому в качестве критерия для оценки токоустойчивости было выбрано отношение тока коллектора к току нагрузки в цепи КЭУ  $\alpha = I_{кол} / I_{кан}$ .

Действительно, коэффициент усиления падает тем круче, чем ближе величина тока коллектора к величине тока через канал. Это хорошо иллюстрируется рис.3, где представлены данные по всем исследованным КЭУ, показывающие зависимость величины уменьшения коэффициента усиления КЭУ за первый час работы, выраженной в процентах, от  $\alpha$ .

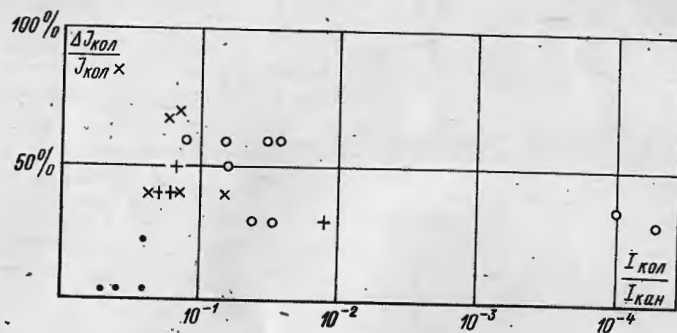


Рис.3. Зависимость уменьшения тока коллектора КЭУ в первые часы работы от соотношения тока через канал к току коллектора  $I_{кол} / I_{кан}$ :

о — дуговые КЭУ; + — пространственные спирали; x — четырехканальные линейные спирали ( $d=0,7$  мм,  $l/d=75, 100$ ); • — четырехканальные линейные спирали ( $d=1,6$  мм,  $l/d=45$ )

На рис.3 обращает на себя внимание точки, относящиеся к четырехканальным линейным спиралью, для которых величина уменьшения тока коллектора в течение первого часа не превышает 5% при  $\alpha = 0,1$  (см. кривую 1, рис.1, в). Связывая величину отношения  $\alpha$  с

диаметром канала эмиттера, можно дать следующее объяснение кривых токоустойчивости для КЭУ разных поперечных сечений. Чем больше коэффициент усиления КЭУ и чем больше ток вблизи выходного конца канала, тем более интенсивно облако пространственного заряда, затрудняющего отбор вторичных электронов с выходного конца эмиттирующего слоя и уменьшающего эффективную длину канала [8], на которой происходит умножение вторичных электронов. Поэтому с увеличением диаметра плотность пространственного заряда падает и шунтирующее действие потока вторичных электронов уменьшается.

Описанную выше нестабильность каналовых умножителей в первые часы работы, видимо, не следует смешивать с эффектом "утомления". Если нестабильность в первые часы работы КЭУ имеет тенденцию к восстановлению после 12-15 ч "отдыха", то утомление связано с необратимой потерей эмиссионных свойств полупроводникового слоя при длительной эксплуатации каналовых умножителей.

Эффект утомления, видимо, связан с изменением состава или "истощением" эмиттирующей поверхности вблизи выходного отверстия умножителя, т.е. обуславливается изменением самой природы полупроводникового токонесущего слоя [9]. Отсюда следует, что утомление будет тем сильнее, чем больше интенсивность потока частиц на входе канала и чем длительнее облучение.

С целью исследования эффекта утомления и определения общего срока службы электронного умножителя были проведены измерения стабильности работы четырехканальных линейных спиралей в течение продолжительного периода времени с периодическим снятием вольт-амперных характеристик. Измерения проводились при облучении умножителей интенсивным потоком электронов в течение 5 ч, с промежутками между циклами облучения по 20 ч. При этом величина входного тока и напряжение питания поддерживались постоянными в каждом цикле измерения. Общее время испытания одного умножителя 67 ч при входном токе  $10^{-9}$  а, а для другого — 16 ч при входном токе  $5 \cdot 10^{-11}$  а. На рис.4 даны выборочно вольт-амперные характеристики первого умножителя, снятые до и после окончания каждого цикла облучения КЭУ (сплошные и пунктирные линии, соответственно). Нумерация кривых введена для того, чтобы показать последовательность проведения измерений. Из рисунка видно, что коэффициент усиления КЭУ на каждый цикл облучения снижается на два порядка (см. сплошные и пунктирные линии с одним и тем же порядковым номером). Измерение коэффициента усиления после 20-часового перерыва в работа показало, что эмиссионные свойства канала восстанавливаются не полностью. Сдвиг кривых в сторону больших напряжений питания и характеризует необратимый процесс утомления, о котором говорилось выше. Кривая 5, снятая через полтора месяца,



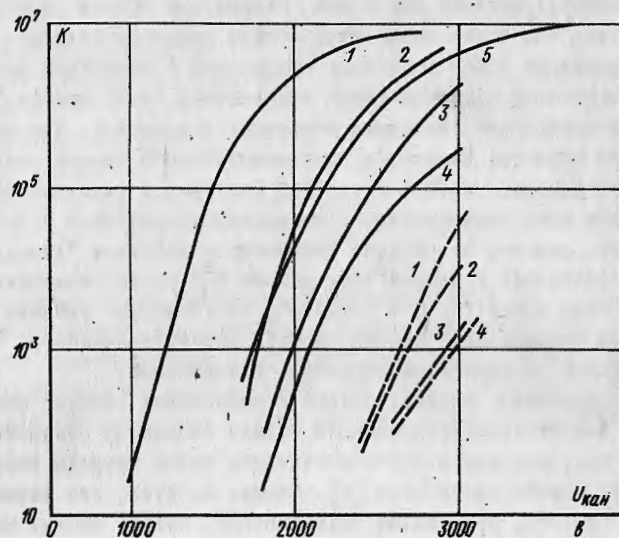


Рис.4. Зависимость коэффициента усиления от напряжения для четырехканального КЭУ типа линейной спирали

показывает, что длительный перерыв в работе способствует восстановлению эмиссионных свойств полупроводникового слоя.

Следовательно, для исследования четырехканального умножителя утомление характеризуется понижением коэффициента усиления при рабочем напряжении 2,5 кв от величины  $10^7$  до величины  $3 \cdot 10^5$ . Для получения коэффициента усиления прежней величины следует повысить напряжение питания до 4 кв. При эксплуатации каналовых умножителей при меньших входных токах общий срок службы КЭУ в непрерывном режиме увеличивается.

#### Выводы

При работе КЭУ в аналоговом режиме наблюдается снижение коэффициента усиления независимо от формы канала. Изменение коэффициента усиления существенным образом зависит от отношения выход-

ного тока КЭУ к току нагрузки эмиссионного слоя и диаметра канала. Токоустойчивость тем выше, чем меньше выходной ток по сравнению с током нагрузки, и чем больше диаметр канала.

Следовательно, могут быть, по-видимому, выбраны такие режимы работы и размеры КЭУ, при которых изменение коэффициента усиления не будет превышать нескольких процентов.

В результате продолжительной эксплуатации КЭУ наблюдается эффект утомления. Проведенные исследования позволяют рассчитывать, что при относительно малых входных сигналах эффект утомления может сказаться только по прошествии года непрерывной работы КЭУ.

В заключение выражаем благодарность доктору технических наук К.И.Грингаузу за большую помощь в работе и обсуждение результатов и кандидату физико-математических наук Л.А.Гречанику за плодотворную дискуссию и полезные советы.

#### Литература

1. Китайгородский И.И., Файнберг Е.А., Гречаник Л.А. "Стекло и керамика", 1962, № 12, стр.8.
2. Файнберг Е.А. Изв.АН СССР, "Неорганические материалы", 1966, № 2, стр.6.
3. Арамович М.Ф., Андришин Н.Ф., Булатов Б.П., Ощепков П.К. ПТЭ, 1968, № 2.
4. Чуйко Г.А., Файнберг Е.А., Сиприков И.В., Гречаник Л.А. Изв.АН СССР, сер.физ., 1964, т.28, № 9, стр.1516.
5. Чуйко Г.А., Якобсон А.М. "Радиотехника и электроника", 1966, № II, стр.9.
6. Чуйко Г.А., Якобсон А.М. "Радиотехника и электроника", 1968, т.1, № 13, стр.129.
7. Якобсон А.М., Чуйко Г.А., Глуховской Б.Н., Евстихиева В.П. ПТЭ, 1967, № 5.
8. Evans D.S. RSI, 1965, v.36, N 3, p.375.
9. Frank L.A., Henderson N.K., Swisher R.L. RSI, 1969, v.40, N 5, p.685.