

УДК 621.383.5-1

Н.М.Шотте, Л.П.Смирнова, И.И.Первушин

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ
УМНОЖИТЕЛЕЙ РАЗНОЙ КОНФИГУРАЦИИ В АНАЛОГОВОМ
РЕЖИМЕ

Проведено исследование основных свойств каналовых электронных умножителей (КЭУ) с разной формой эмиттера: прямого, дугового, щелевого и нескольких типов спиралей. Получены данные о зависимости коэффициента усиления КЭУ от напряжения питания, входного тока и конфигурации эмиттера.

В результате проведенных исследований получены сведения о работе различных типов КЭУ в линейной части вольт-амперной характеристики, позволяющие сделать вывод о возможности успешного применения спиральных КЭУ в аппаратуре для исследования космического пространства в аналоговом режиме.

КЭУ широко применяются в различных областях техники, в частности для исследования потоков заряженных частиц в космическом пространстве [1-2], где КЭУ используются как в режиме счета [1-2], так и в аналоговом режиме. Применение КЭУ в космических приборах позволило сделать принципиально важные открытия, например, существование токового кольца в магнитосфере, в котором обнаружены протоны межпланетной плазмы с энергией 5-50 кэВ и плотностью 10^{+3} част./см³ [1].

Целью настоящего сообщения является сравнение рабочих характеристик нескольких типов КЭУ, определение наиболее перспективного типа КЭУ с точки зрения его использования в аналоговом режиме и установление критериев наиболее экономичного режима работы.

При работе прибора в аналоговом режиме используется линейный участок характеристики. Поэтому необходимо знать, какому напряжению соответствует точка перегиба характеристики и какова кру-

тизна линейного участка характеристики. Это дает возможность выбрать наиболее экономичный режим питания КЭУ при заданных требованиях к стабильности источника.

Нами проведено исследование КЭУ следующих конфигураций: прямых, дуговых, щелевых, линейных четырехканальных и пространственных спиралей. Определялись зависимости коэффициента усиления K или коллекторного тока $I_{кол}$ от входного тока $I_{вх}$ (токовые характеристики) и от напряжения питания $U_{кан}$ (вольт-амперные характеристики).

Токвые характеристики определяют рабочий динамический диапазон КЭУ при работе в аналоговом режиме, когда используется линейный участок характеристики. Вольт-амперные характеристики дают возможность непосредственного выбора наиболее экономичного режима питания КЭУ. На рис.1 на примере КЭУ типа четырехканальной линейной спирали с калибром 40 и диаметром канала 1,65 мм показана наиболее характерная картина изменения коллекторного тока (α) и коэффициента усиления (β) в зависимости от входного тока при разных величинах напряжения питания.

Из рис.1 видно, что при $U_{кан} \leq 1000$ В характеристики КЭУ линейны в диапазоне изменения $I_{вх}$ до 10^{-12} А, а коэффициент усиления - постоянен и равен 10^4 . При увеличении $U_{кан}$ величина K растет, токовая характеристика становится нелинейной. Так, при $U_{кан} = 2350$ В коэффициент усиления возрастает до $7 \cdot 10^7$, а нелинейность начинает сказываться при входном токе 10^{-14} А. Дальнейший рост потока электронов на входе КЭУ приводит к уменьшению K . Таким образом, при увеличении $U_{кан}$ характеристика смещается в сторону больших абсолютных величин K , а граница линейного и нелинейного участков - в сторону меньших $I_{вх}$. Для других типов КЭУ картина совпадает с описанной выше.

Исследования показали, что максимальная величина коллекторного тока ограничивается током нагрузки токонесущего слоя и составляет $0,1 \cdot I_{кан}$, т.е. зависит от $R_{кан}$.

На рис.2 приведены сводные данные, показывающие диапазоны изменения выходных токов в зависимости от входных для различных типов исследованных КЭУ при нескольких фиксированных величинах $U_{кан}$. Здесь по оси ординат отложены величины коллекторного, а по оси абсцисс - входного токов. Наклонные прямые представляют собой линии равного коэффициента усиления. Из рисунка видно, что максимальная величина $I_{кол}$ тем выше, чем меньше $R_{кан}$. С увеличением $R_{кан}$ граница линейного и нелинейного участков сдвигается в сторону меньших входных токов. Следовательно, точка перегиба токовой характеристики зависит как от

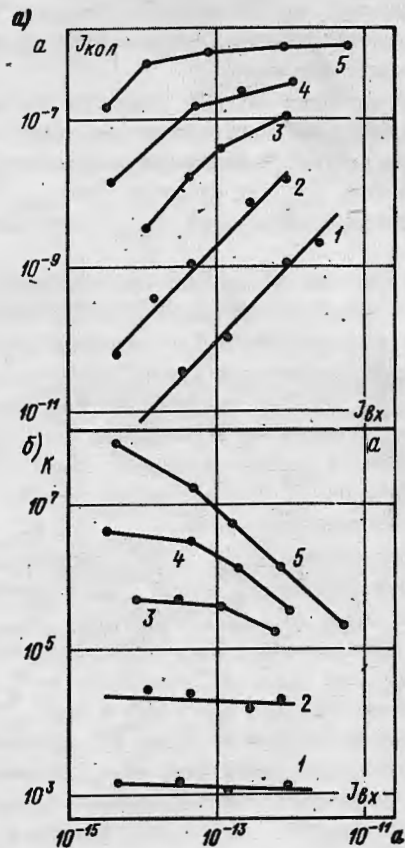


Рис.1. Изменение коллекторного тока (а) и коэффициента усиления (б) в зависимости от входного тока при разных величинах напряжения питания:

1- $U_{\text{кан}} = 650\text{В}$; 2- $U_{\text{кан}} = 850\text{В}$; 3- $U_{\text{кан}} = 1100\text{В}$;
4- $U_{\text{кан}} = 1300\text{В}$; 5- $U_{\text{кан}} = 2400\text{В}$

напряжения питания, так и от сопротивления эмиттирующего слоя. Чем меньше $R_{\text{кан}}$, тем шире динамический диапазон КЭУ при работе в аналоговом режиме. Форма канала на вид токовых характеристик существенного влияния не оказывает.

Сравнение различных типов КЭУ показано на рис.3 при одном и том же $I_{\text{вх}} = 5 \cdot 10^{-13}\text{А}$ и калибре 50, в диапазоне изменения $U_{\text{кан}}$ от 600 до 3000В. Видно, что прямолинейные КЭУ (кривая 1) имеют

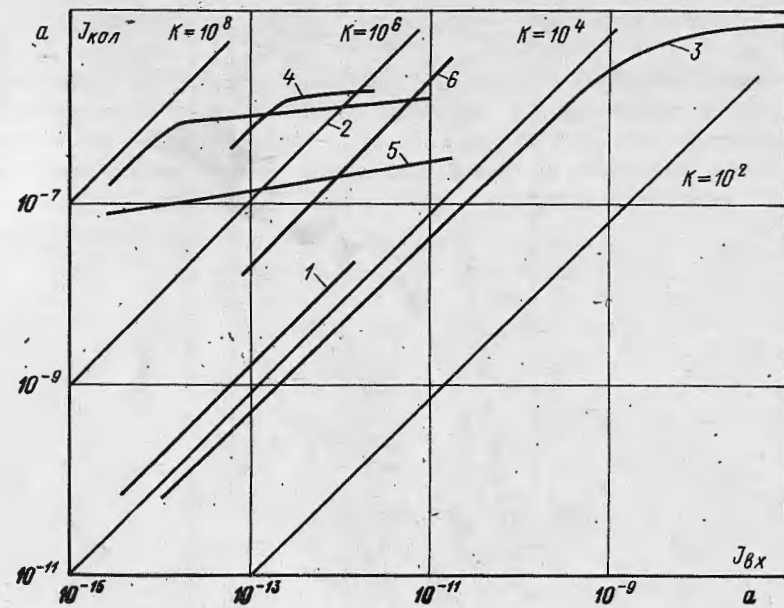


Рис.2. Изменение выходных токов в зависимости от входных для различных типов исследованных КЭУ при нескольких фиксированных величинах $U_{\text{кан}}$.

наименьший по абсолютной величине коэффициент усиления, а его характеристика близка к линейной. Кривые других типов КЭУ имеют большую крутизну. При этом дуговой КЭУ (кривая 2), щелевой (кривая 3) и КЭУ с синусоидальной формой канала (кривая 4) имеют характеристику, близкую к линейной. Для КЭУ типа пространственной (кривая 5) и линейной спирали (кривая 6, больший радиус кривизны) переход от линейной зависимости к нелинейной происходит более резко. Линейный участок характеризуется большой крутизной, а начальное рабочее напряжение — меньше $K = 5 \cdot 10^{-7}$ достигается при $U_{\text{кан}} = 1300\text{В}$. Причиной этих различий является, по-видимому, зависимость коэффициента усиления от формы канала. Действительно, при одном и том же градиенте потенциала коэффициент умножения в электронном потоке на единицу длины канала будет тем выше, чем больше кривизна канала, как вследствие увеличения вероятного числа соударений вторичных электронов со стенками канала, так и благодаря

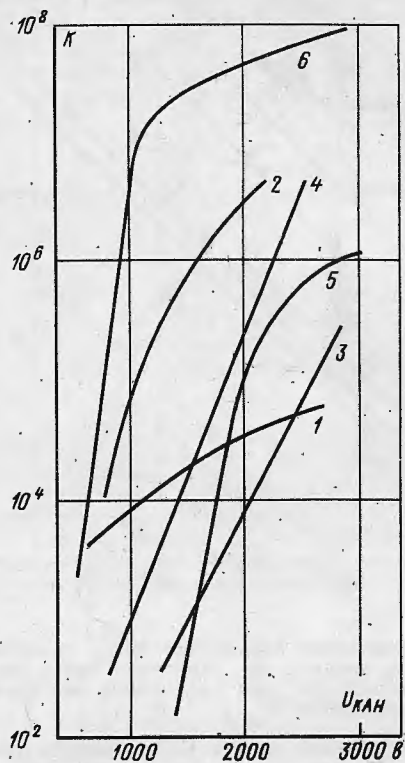


Рис.3. Сравнительные характеристики различных типов КЭУ

более эффективному использованию функции углового распределения вторичных электронов. Кроме того, существование нелинейного участка на рабочих характеристиках КЭУ можно объяснить проявлением эффекта насыщения, связанного со следующими двумя механизмами, снижающими эмиссию и тормозящими развитие лавины: образованием положительного поверхностного заряда на стенках трубки в результате интенсивной эмиссии вторичных электронов [3] и образованием отрицательного пространственного заряда [3-9] на выходном конце канала. Эти пространственные и поверхностный заряды искажают аксиальное электрическое поле и уменьшают эффективную длину канала, на котором происходит умножение электронов. Величина поверхност-

ного заряда пропорциональна сопротивлению эмиттерного слоя и интенсивности лавины вторичных электронов, бомбардирующих поверхность трубки, т.е. в конечном счете коэффициенту усиления. Отсюда ясно, почему форма токовых характеристик зависит от величин $U_{кан}$ и $R_{кан}$.

На рис.4 на примере целевых КЭУ представлена типичная картина изменения вольт-амперных характеристик КЭУ при увеличении входного тока. Чем больше величина $I_{вх}$, тем медленнее происходит нарастание абсолютной величины коллекторного тока на нелинейном участке характеристики. На линейном участке - коэффициент усиления практически не зависит от $I_{вх}$.

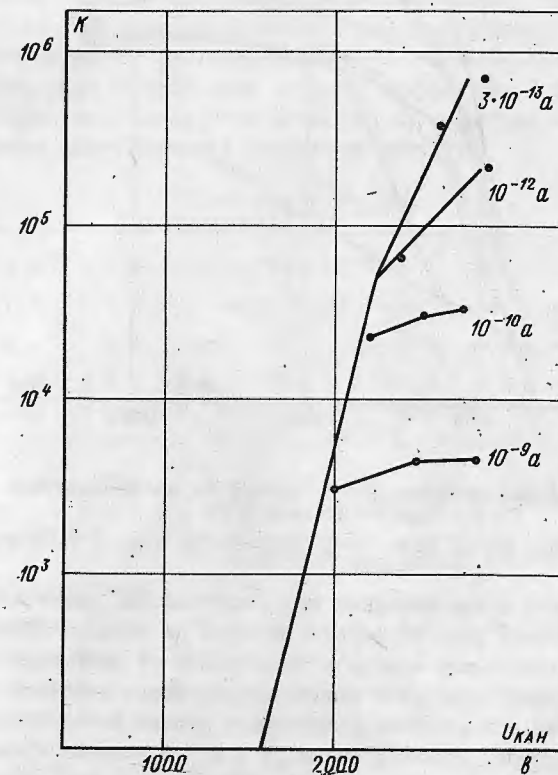


Рис.4. Изменения вольт-амперных характеристик КЭУ при увеличении входного тока

Влияние поверхностного заряда на вольт-амперные характеристики иллюстрируется рис.5.

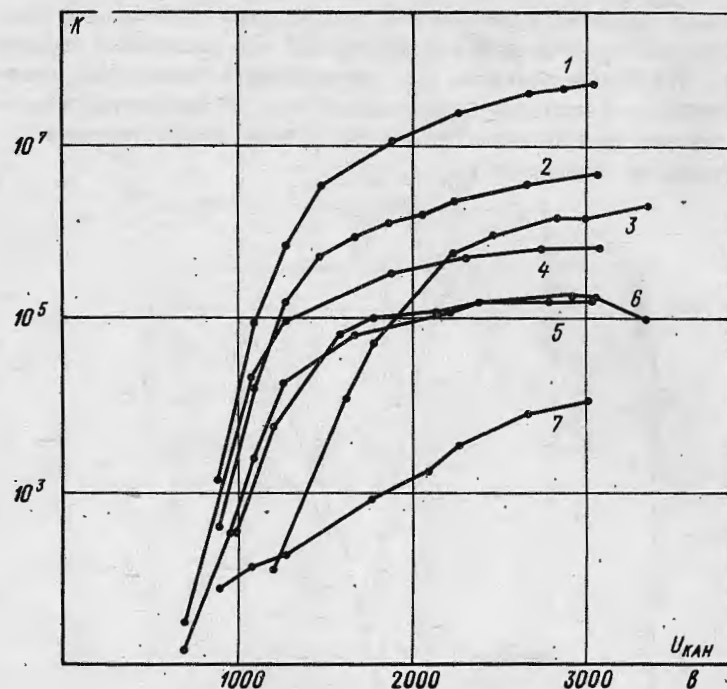


Рис.5. Влияние поверхностного заряда на вольт-амперные характеристики КЗУ:

1-320 Мом; 2-420 Мом; 3-400 Мом; 4-700 Мом; 5-700 Мом; 6-700 Мом; 7-2 Гом

Различные формы вольт-амперных характеристик КЗУ различных типов можно объяснить разной степенью влияния на процесс умножения облака пространственного заряда в зависимости от конфигурации канала. В КЗУ с малой кривизной канала в результате действия обратной ионной связи облако пространственного заряда имеет большую протяженность в сторону входного конца, а в КЗУ с большой кривизной — локализуется у выходного конца канала. Поэтому в первом случае происходит плавное выравнивание градиента потенциала вдоль оси канала. Отсюда меньшее значение коэффициента усиления на единицу длины и плавное возрастание K при увеличении $U_{\text{кан}}$. Во втором случае — искажение поля за счет пространственного заряда происходит

лишь вблизи выходного конца. В результате требуется меньшая величина градиента потенциала вдоль слоя для реализации тех же коэффициентов усиления, чем и объясняется большая крутизна вольт-амперных характеристик спиральных КЗУ. Экранирующее действие облака пространственного заряда тем интенсивнее, чем выше K . Отсюда более резкий переход к нелинейному участку при увеличении кривизны канала.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Рабочее напряжение и сопротивление токонесущего слоя существенным образом влияют на токовые характеристики КЗУ.

2. Вольт-амперные характеристики зависят от формы канала и сопротивления слоя.

3. Наиболее перспективными при использовании в аналоговом режиме являются КЗУ с большим динамическим диапазоном, то есть малым сопротивлением токонесущего слоя.

4. Снижение потребляемой мощности прибора при малой величине $R_{\text{кан}}$ может быть достигнуто путем выбора геометрии канала, обеспечивающей малую величину напряжения питания.

Л и т е р а т у р а

1. Франк Л.А. JGR, 1970, в.75, 4.
2. Westerglund L.H. JGR, 1969, в.74, No.1, p.351.
3. Evans D.S. RSI, 1965, в.36, N 3, pp.375-382.
4. Рябинина М.А., Шерешевский А.М., Смирнов И.В. Доклад на I Всесоюзной конференции по масс-спектрометрам, сентябрь, 1969 г., Ленинград.
5. Чуйко Г.А., Файнберг Е.А., Сиприков И.В., Ощепков Л.А. ПТЭ, 1968, № 2.
6. Чуйко Г.А., Якобсон А.М. Радиотехника и электроника, 1966, т. II, № 9.
7. Чуйко Г.А., Якобсон А.М. Радиотехника и электроника, 1968, т. I, № 13, стр.129.
8. Якобсон А.М., Чуйко Г.А., Глуховской Б.Н., Евстихьева В.П. ПТЭ, 1967, т.5.
9. Adams J., Wanley V.W. IEEE, Trans.Nucl.Sci. 1966, No.3, NS-13.