

ЭЛЕКТРОННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ

А. И. Костиенко, М. Н. Девятков, А. А. Лебедь

В настоящей работе изучалась возможность осуществления электронного детектирования сигналов СВЧ при помощи отражательных клистронов. Экспериментальные исследования выполнялись на стеклянных отражательных клистронах типа К-11 и К-26 в диапазонах $\lambda = 10$ см и $\lambda = 3$ см. Для получения детекторного действия сетки резонатора клистрона по постоянному току разделялись, и на них подавались различные положительные (относительно катода) напряжения. Это позволяло создавать различные распределения потенциалов в промежутке взаимодействия и в пространстве отражателя.

Напряжения на отражателе относительно катода были либо положительными, либо отрицательными (несколько единиц вольт). При этом в цепи отражателя в отсутствие СВЧ сигнала протекал небольшой начальный ток. При действии СВЧ сигнала между сетками резонатора ток в цепи отражателя менялся. Это изменение тока, представляющее собой детекторное действие, измерялось либо при помощи прибора постоянного тока (в непрерывном режиме работы генератора), либо наблюдалось на экране осциллографа (см рис. 1).

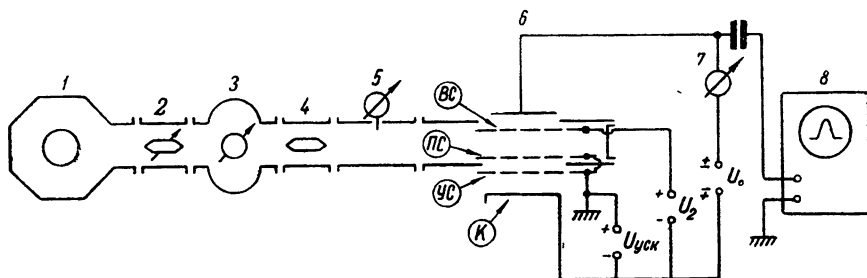


Рис. 1. Схема наблюдения сигнала:

1—СВЧ генератор, 2—аттенюатор; 3—волномер, 4—аттенюатор, 5—измерительная линия; 6—детекторный клистрон; 7—прибор постоянного тока; 8—осциллограф; К—катод детекторного клистроны; О—отражатель; УС—ускоряющая сетка, ПС—первая сетка резонатора; ВС—вторая сетка резонатора.

Более или менее значительное детекторное действие получалось только в том случае, если напряжения на электродах клистроны были подобраны так, что в пространстве отражателя возникал виртуальный катод. (Виртуальным катодом условимся называть отрицательный минимум потенциала, при наличии которого в межэлектродном промежутке движутся встречные потоки электронов.) Примерный график распределения потенциалов в различных межэлектродных промежутках клистроны для этого случая представлен на рис. 2. На этом же графике показано движение различных электронов в отсутствие СВЧ сигнала. Начальный ток в цепи отражателя при этом создается теми электронами, начальные тепловые энергии которых достаточны для преодоления тормозящего поля виртуального катода пространства этого электрода (но не тормозящего поля самого отражателя). Вторичная эмиссия опасности не представляет, так как выбитые из отражателя электроны попадают в тормозящее поле виртуального катода и возвращаются обратно.

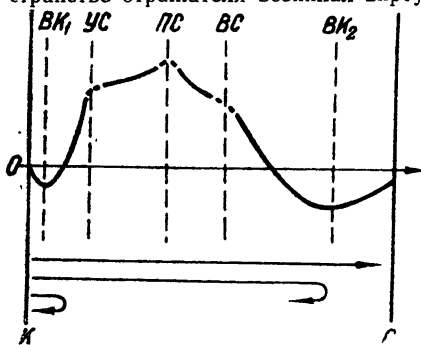


Рис. 2. Распределение потенциала в детекторном клистроне:

ВК 1—виртуальный катод в пространстве катода; ВК 2—виртуальный катод в пространстве отражателя; остальные обозначения те же, что и для рисунка 1. Стрелками показано движение электронов с разными тепловыми скоростями.

этого тока, т. е. величина детекторного эффекта, зависит как от величины изменения скоростей электронов, так и от режима работы клистроны (от того, насколько напряжения на электродах близки напряжениям, при которых происходит возникновение или исчезновение виртуального катода).

В качестве иллюстрации на рис. 3 представлены типичные для клистроны типа К-11 графики зависимости начального тока отражателя I_0 и детекторного тока ΔI_0

от напряжения на ускоряющей сетке $V_{\text{уск}}$. Из рисунка видно, что при напряжении на отражателе $V_0 = 0$ и $V_0 = -2$ в кривые I_0 в окрестностях $V_{\text{уск}} \approx -197$ в и $V_{\text{уск}} = 173$ в претерпевают быстрое (почти скачкообразное) изменение. В окрестностях этих напряжений имеет место значительное увеличение детекторного действия (кривые ΔI_0 имеют четко выраженные экстремумы). Анализ показал, что отмеченные особенности в поведении кривых I_0 и ΔI_0 обусловлены исчезновением виртуального катода в пространстве отражателя. При $V_0 = -4$ в виртуальный катод в пространстве отражателя не возникает; поэтому кривая I_0 имеет монотонный ход, а приращения ΔI_0 всюду невелики. Графики рис. 3 показывают, в частности, что наибольшее детекторное действие может иметь место только при таких напряжениях на электродах клистрона, при которых в пространстве отражателя существует виртуальный катод.

Интересные результаты были получены на клистронах типа К-26 с большими расстояниями между сетками резонатора. Изменение скоростей электронов при однократном взаимодействии электронного потока с полем сигнала здесь оказалось недостаточным для значительного изменения глубины виртуального катода в пространстве отражателя. Поэтому приходилось выбирать такие режимы, при которых в пространстве отражателя существует виртуальный катод, причем электронный поток несколько раз взаимодействует с полем сигнала (например, один раз—при прямом проходе от катода к отражателю; второй раз—при обратном проходе из пространства отражателя в прикатодное пространство; и третий раз—при вторичном прямом проходе из прикатодного пространства к отражателю и т. п.).

На рис. 4 для примера приведены графики зависимости тока на отражателе I_0 ,

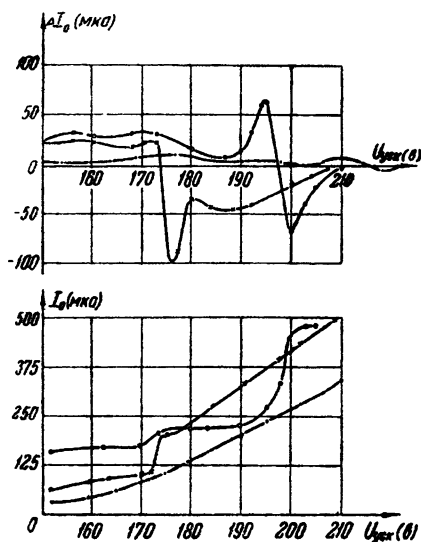


Рис. 3. Графики зависимости I_0 и ΔI_0 от $V_{\text{уск}}$ для клистрона типа К-11, $\lambda = 3$ см; мощность на нагрузке $P = 1,93$ мвт; кривая 1. $V_0 = 0$ в, $V_2 - V_{\text{уск}} = -80$ в; кривая 2. $V_0 = -2$ в, $V_2 - V_{\text{уск}} = -80$ в; кривая 3. $V_0 = -4$ в, $V_2 - V_{\text{уск}} = -80$ в.

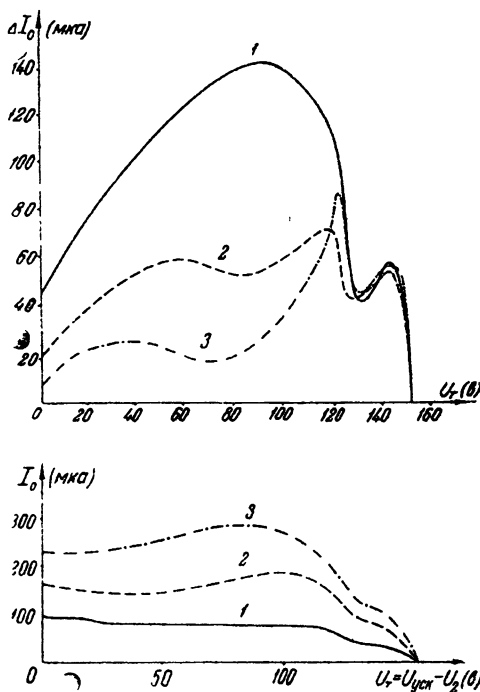


Рис. 4. Графики зависимости I_0 и ΔI_0 от $V_T = V_{\text{уск}} - V_2$ для клистрона типа К-26, $\lambda = 13,8$ см; мощность на нагрузке $P = 0,32$ мвт; кривая 1. $V_0 = 2,6$ в, $V_{\text{уск}} = 154$ в, кривая 2. $V_0 = 3,0$ в, $V_{\text{уск}} = 154$ в; кривая 3. $V_0 = 3,5$ в, $V_{\text{уск}} = 154$ в.

и изменений этого тока ΔI_0 от $V_T = V_{\text{уск}} - V_2$ для клистрона типа К-26. Максимум детекторного действия в этом случае имел место при трехкратном взаимодействии электронного потока с полем сигнала, когда изменение скоростей электронов уже достаточно велико, а потери в электронном потоке еще не слишком сильны.

Хотя в проведенной работе оптимальные результаты получены не были, все же небезынтересно отметить тот факт, что чувствительность по току десятисантиметровой головки на клистроне типа К-11 была порядка 1 а/вт, т. е. не хуже хорошего кристаллического детектора. Такого же порядка чувствительность по току имела

десятисантиметровая головка на клистроне типа К-26. Чувствительность по току нерезонансных трехсантиметровых головок была порядка $6 \cdot 10^{-2} \text{ а/вт}$, т. е. более чем на порядок хуже чувствительности по току хороших кристаллических детекторов.

В заключение отметим те обстоятельства, которые позволяют надеяться на возможность использования описанного механизма детектирования в миллиметровом диапазоне длин волн. Чувствительность по току детекторного клистрона зависит от величины изменения глубины виртуального катода под действием СВЧ сигнала (если оставить в стороне неустойчивый режим внутри границ возникновения и исчезновения виртуального катода в пространстве стражателя). Изменение глубины виртуального катода определяется изменением скоростей электронов. Изменение скоростей электронов,

в свою очередь, пропорционально коэффициенту $M = \frac{\sin \varphi/2}{\varphi/2}$, где φ — пролетный угол

электронов в пространстве между сетками резонатора (при линейном распределении потенциала в пространстве между сетками резонатора). Это обстоятельство заставляет уменьшать расстояние между сетками резонатора (для обеспечения значительного изменения скоростей электронов). В миллиметровом диапазоне такой путь получения большой чувствительности детектора мало привлекателен. Однако при создании детекторного клистрона миллиметрового диапазона можно будет расстояние между сетками резонатора делать большим. В этом случае значительное изменение скоростей электронов под действием СВЧ сигнала может быть достигнуто за счет кумуляции изменений скоростей, подобно тому, как это осуществляется в диодах [1]. Необходимый для этого квадратичный закон распределения потенциала можно обеспечить при большой плотности тока пучка тормозящим напряжением на верхней сетке резонатора

ЛИТЕРАТУРА

1. A. B. Bronwell, T. C. Wang, I. C. Nitz, J. May, H. Machowsky, Proc. IRE, 42, 1117 (1954).

Московский государственный университет

Поступила в редакцию 25 ноября 1957 г.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СРЕДНЕГО КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ НЕЛИНЕЙНЫХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

В. А. Двинских

Одной из наиболее важных характеристик нелинейного четырехполюсника является средний комплексный коэффициент передачи, равный отношению первой гармоники выходного сигнала к амплитуде входного синусоидального сигнала. Определение этого коэффициента путем подачи на вход от специального генератора синусоидальных сигналов известной амплитуды и последующим измерением амплитуды первой гармоники выходного сигнала из-за несинусоидальности последнего представляет собой относительно сложную задачу.

Для измерения среднего комплексного коэффициента передачи нелинейных четырехполюсников целесообразно воспользоваться косвенным методом, сущность которого состоит в следующем. Пусть мы имеем нелинейный четырехполюсник с малой нелинейностью, выполненный таким образом, что его выходная цепь не влияет на входную (например, нелинейный усилитель на электронных лампах). В общем случае между синусоидальным входным сигналом частоты ω_1 и первой гармоникой выходного сигнала будет иметь место сдвиг по фазе ψ_k . Подберем такой линейный четырехполюсник, чтобы при подаче на его вход синусоидального сигнала частоты ω_1 выходной сигнал был сдвинут по фазе по отношению к входному на угол ψ_3 , удовлетворяющий условию: $\psi_k + \psi_3 = 0$. Затем составим автономную замкнутую систему из исходного нелинейного четырехполюсника и дополнительного линейного четырехполюсника так, чтобы модуль коэффициента передачи последнего был больше обратной величины модуля среднего комплексного коэффициента передачи нелинейного четырехполюсника при $4 \rightarrow 0$. При выполнении указанных выше условий в системе возникнут незатухающие колебания. Дальнейшее развитие колебаний определяется зависимостью среднего комплексного коэффициента передачи нелинейного четырехполюсника от амплитуды колебаний. Поскольку в практически важных задачах нелинейные элементы обладают такими характеристиками, для которых средний комплексный коэффициент