

Выходной импульсный сигнал транзисторного СВЧ усилителя мощности с модуляцией напряжения затвора

В.А. Пчелин, Д.С. Гринберг, М.А. Басманов, Д.В. Калита, И.П. Корчагин, Е.В. Муштайкин, С.А. Щёголев

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: представлены результаты обследования усилителей мощности с модуляцией напряжения затворов СВЧ транзисторов, позволяющей уменьшить неравномерность амплитуды импульсного выходного сигнала до долей процента. Приведены характеристики усилительных каскадов на GaAs и GaN транзисторах с модуляцией напряжения по затвору.

Ключевые слова: усилители мощности, СВЧ полевые транзисторы, огибающая СВЧ выходного сигнала

1. Введение

В выходных каналах спец. аппаратуры часто требуется огибающая СВЧ выходного сигнала (радиоимпульса) с минимальным искажением формы задающего импульса. Обычно применяемый способ получения импульсного сигнала - модуляция напряжения стоков СВЧ транзисторов (модуляция по стоку) обеспечивает устойчивую работу усилителя и хорошее подавление сигнала в паузе между импульсами. Однако, несмотря на очевидные преимущества, представленный способ имеет и недостатки: огибающая СВЧ сигнала может иметь неравномерность амплитуды до нескольких процентов, недостаточно крутые передние и задние фронты импульса.

При данном способе модуляции требуется мощный ключевой транзистор, как правило, зарубежного производства, так как импульсный ток стока достигает десятков ампер, в то время, как при модуляции по затвору импульсный ток затвора не превышает десятков миллиампер.

Ограничение применения модуляции напряжения по затвору обуславливалось несколькими причинами:

- неустойчивой работой усилителя при переходных процессах включения импульсного напряжения затвора (U_z);
- разными значениями напряжения рабочей точки (U_z) СВЧ транзисторов, особенно при использовании в усилителе множества (более десятка) транзисторов;
- необходимостью использования импульсного СВЧ входного сигнала для подавления сигнала в паузе.

2. Экспериментальные результаты

В данной работе приведены результаты исследования характеристик мощных СВЧ гетероструктурных GaAs полевых транзисторов «Принц» 4-105 Рвых 8 Вт, «Принц» 2-70 Рвых 3 Вт, «Принц» 1-50 Рвых 1 Вт с модуляцией напряжения по затвору). Транзисторы производства АО «НПП «Исток» им. Шокина».

Проблема неустойчивой работы транзистора и возможное её решение представлено в работе [1]. Принцип согласования исследуемых GaAs транзисторов приведен в этой же работе.

Измерение амплитудной характеристики и зависимости тока стока (I_c) каскада с транзистором «Принц» 4-105 (рисунок 1, 2) при разных значениях U_3 показало, что в режиме максимальной выходной мощности I_c транзистора слабо зависит от U_3 . Таким образом, выбор рабочей точки, например, минус 1,1 В для всех транзисторов вполне приемлем.

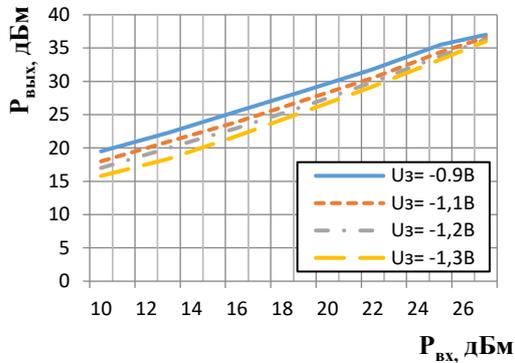


Рисунок 1. Амплитудная характеристика каскада

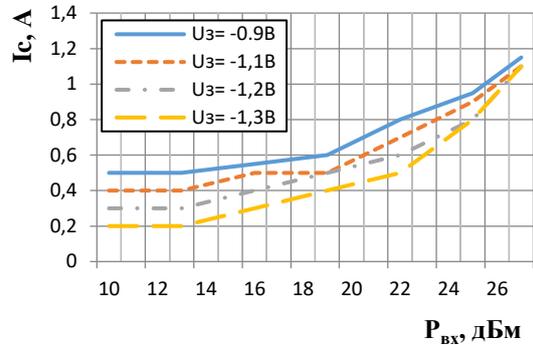


Рисунок 2. Зависимость тока стока от $P_{\text{вых}}$

Представляет интерес значение затухания мощности в паузе между импульсами для разных типов транзисторов. Измерения показали, что затухание при модуляции по стоку составляет минус 8 дБ, при модуляции по затвору минус 14...15 дБ на каскад. При модуляции по затвору были измерены затухание и ток стока каскада с разными значениями входной мощности. Результаты измерений показаны на рисунке 4, 5.

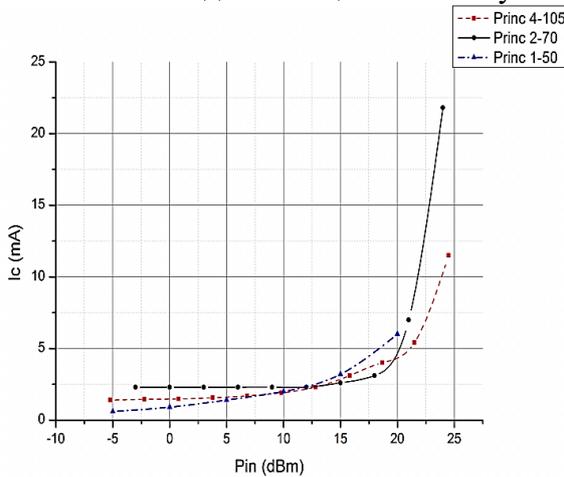


Рисунок 3. Ток стока в паузе в зависимости от $P_{\text{вх}}$

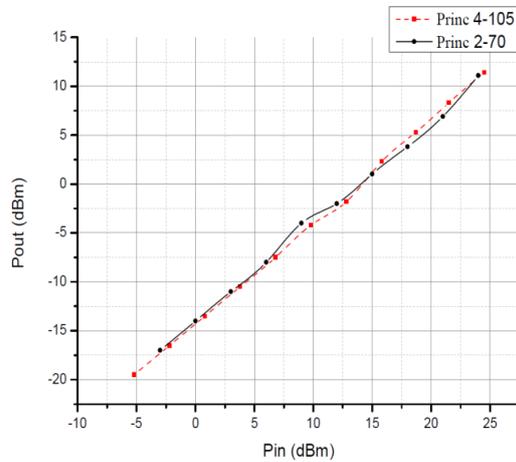


Рисунок 4. Зависимость просачивающейся мощности от $P_{\text{вх}}$ в паузе

Как видно из рисунков, просачивающаяся мощность в паузе для всех типов транзисторов имеет линейную зависимость от $P_{\text{вх}}$, однако, I_c резко возрастает при значении входной мощности 15-17 дБм. По представленным графикам можно оценить, какое затухание будет у усилителя с выходной импульсной мощностью 10 Вт на частоте 10 ГГц с модуляцией по затвору. Усилитель должен быть 4-х каскадным, предвыходной на транзисторе «Принц» 4-70, выходной каскад - на транзисторах «Принц» 4-105, входной на транзисторе «Принц» 1-50 и промежуточный - на транзисторе «Принц» 2-70. Таким образом, затухание в паузе будет составлять 55...60 дБ относительно входного сигнала, при этом $P_{\text{вх}}$ (непрерывная) не должна превышать

17 дБм. Уменьшение каскадов усилителя возможно только при наличии мощного входного импульсного сигнала, конечно же, правильной формы.

Характеристики огибающей СВЧ каскада на транзисторе «Принц» 4-105 в режиме максимальной отдаваемой мощности (8 Вт) при модуляции по затвору: $T_{\text{имп}} = 50$ мкс, передний фронт=9 нс, задний фронт=16 нс, скос=0,2% при скважности 10.

Подобные измерения были проведены на 10-ваттном GaN транзисторе ПП9137А

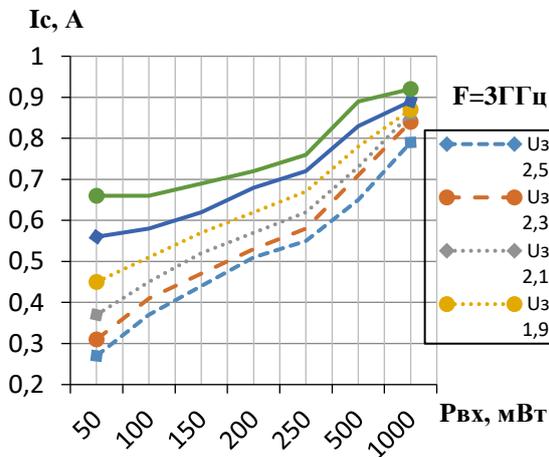


Рисунок 5. Зависимость тока стока от $P_{\text{вх}}$ каскада на GaN транзисторе

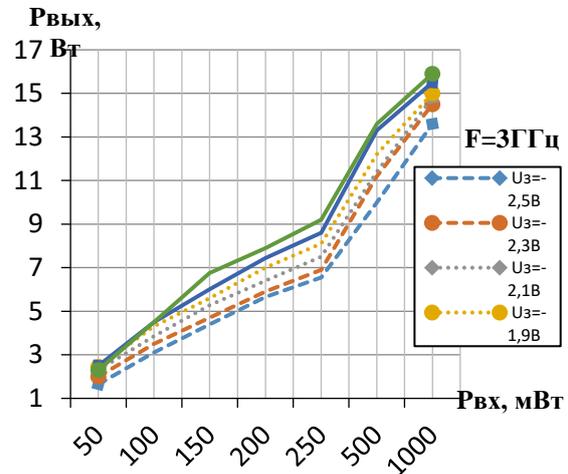


Рисунок 6. Амплитудная характеристика каскада на GaN транзисторе

На рисунке 5 и 6 показаны амплитудная характеристика каскада и зависимость, I_c от входной мощности при разных значениях напряжения затвора. Как видно из рисунка, в режиме максимально отдаваемой мощности I_c так же слабо зависит от U_z , что позволяет включать транзисторы при одном значении U_z . При модуляции по затвору были получены следующие параметры огибающей СВЧ каскада на транзисторе ПП9137А: скос 0,3%, фронт 5 нс, спад 6 нс, $P_{\text{вых}} \text{ имп.}$ не менее 10 Вт на частоте 3 ГГц при напряжении стока 28 В.

3. Заключение

Представлены результаты обследования импульсных усилительных каскадов на гетероструктурных GaAs и на GaN полевых транзисторах с модуляцией по затвору. Показаны преимущества такой модуляции и ограничения в применении.

Список литературы

1. Манченко Л.В., Пчелин В.А., Трегубов В.Б. Двухкаскадный усилитель мощности X-диапазона на гетероструктурных полевых транзисторах ФГУП «НПП «Исток». 20-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2010), 13-17 Сент., Севастополь, стр. 127-128.