

ИМПУЛЬСНЫЙ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОНАВИГАЦИИ

© 2011 г. А. А. Титов, В. П. Пушкарев, Д. Ю. Пелявин, И. В. Шухлов

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 40

Поступила в редакцию 22.03.2011 г.

Приведены особенности реализации импульсного с.в.ч.-генератора, выполненного на диодах Ганна 3А750 или 3А762, с рабочим диапазоном частот 8–12 ГГц, выходной мощностью 10–40 Вт, размерами 56 × 56 × 36 мм, диапазоном рабочих температур ±50°С.

Рассматриваемый с.в.ч.-генератор предназначен для замены импульсных с.в.ч.-генераторов на магнетронах, используемых в составе систем ближней радиолокации и радионавигации, и состоит из возбуждателя и резонаторной камеры с установленным в ней диодом Ганна.

На рис. 1 приведена принципиальная схема возбуждателя.

В состав возбуждателя входят самоуправяемый ограничитель на транзисторе T_1 , трехкаскадный импульсный усилитель на транзисторах T_2 – T_4 , устройство управления амплитудой импульса возбуждения диода Ганна на транзисторе T_5 .

Ограничитель на транзисторе T_1 обеспечивает стабилизацию амплитуды сигнала на входе усилителя при многократном изменении амплитуды импульсов на входе возбуждателя и разработан на основе схемы управления амплитудой однополярных импульсных сигналов, описанной в [1].

Ограничитель работает следующим образом. На базу транзистора T_1 со стабилизатора напряжения, состоящего из резистора R_2 и стабилитро-

на D_1 , подается постоянное запирающее оба перехода транзистора T_1 напряжение. При использовании p – n – p -транзистора, как на рис. 1, это напряжение положительное. При подаче на вход ограничителя импульсов положительной полярности транзистор T_1 будет заперт до тех пор, пока амплитуда импульсов будет меньше запирающего напряжения, подаваемого на его базу. При превышении амплитудой входных импульсов значения запирающего напряжения T_1 открывается, и его входное сопротивление будет составлять доли ома. В этом случае транзистор T_1 играет роль самоуправяемого ограничителя [2].

Делитель напряжения на резисторах R_1 и R_3 необходим для сохранения работоспособности ограничителя при работе от генератора с малым выходным сопротивлением. При отсутствии делителя шунтирующее действие транзистора T_1 будет ослабевать с уменьшением выходного сопротивления генератора и может привести к выходу его из строя либо выжиганию транзистора T_1 .

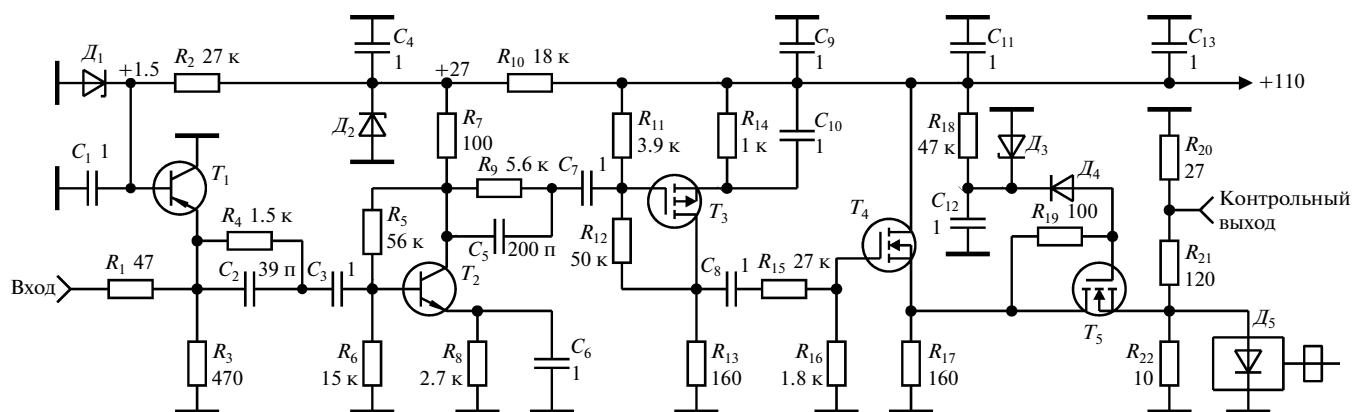


Рис. 1. Принципиальная схема возбуждателя. T_1 – 2Т3129А9, T_2 – КТ645А, T_3 – КР796А, T_4 , T_5 – КР778В; D_1 – КС115А, D_2 , D_3 – КС527А, D_4 – 2Д509А, D_5 – 3А750.

Экспериментальные исследования показали, что при изменении амплитуды входных импульсов в пределах 2.5–15 В амплитуда импульсов на выходе ограничителя изменяется в пределах 2.2–2.4 В.

Трехкаскадный усилитель на транзисторах T_2 – T_4 обеспечивает на своем выходе получение импульсов положительной полярности амплитудой до 100 В и током до 40 А.

В каскадах на транзисторах T_2 , T_3 использованы корректирующие цепи первого порядка (элементы C_2 , R_4 и C_5 , R_9), обеспечивающие высокие технические показатели несмотря на свою простоту [3]. Достоинством таких цепей является отсутствие выброса на фронте усиливаемого импульса при изменении коэффициента усиления каскада от максимального значения до значения, равного единице.

Особенностью работы диодов Ганна 3А750 и 3А762 [4] является изменение их сопротивления в процессе возбуждения. Поэтому для стабильной работы с.в.ч.-генераторов на этих диодах требуется возбудитель с выходным сопротивлением, составляющим десятые доли ома. Для выполнения этого требования выходной каскад усилителя на транзисторе T_4 выполнен по схеме с общим стоком с выходным сопротивлением не более 0.05 Ом. Каскад с общим стоком имеет коэффициент усиления по напряжению, близкий к единице, однако обладает высоким быстродействием, что позволяет обеспечить время установления фронта импульса усилителя не более 100 нс при работе на нагрузку с активным сопротивлением >2 Ом.

Рабочие импульсные напряжения диодов Ганна 3А750 и 3А762 индивидуальны и лежат в диапазоне 20–100 В. Поэтому между выходом усилителя и клеммой возбуждения диода Ганна установлено устройство управления амплитудой импульсов возбуждения на транзисторе T_5 , реализованное на основе схемы, описанной в [5].

Устройство управления амплитудой импульсов работает следующим образом. На катод диода D_4 со стабилизатора напряжения, состоящего из резистора R_{18} и стабилитрона D_3 , подается постоянное напряжение управления, равное требуемой амплитуде импульсов на выходе устройства. В исходном состоянии диод D_4 закрыт. При подаче на вход устройства импульсов, имеющих амплитуду, меньшую величины постоянного напряжения управления, диод D_4 остается закрытым.

Полевой транзистор T_5 в момент подачи импульсов на вход устройства входит в насыщение, что связано с поступлением на его затвор через резистор R_{19} отпирающего импульсного напряжения. Сопротивление насыщения транзистора T_5 составляет десятые доли ома. В этом случае импульс, подаваемый на вход устройства, беспрепятственно проходит на его выход и поступает в

нагрузку, на которой выделяется импульсное напряжение, равное амплитуде входных импульсов.

При подаче на вход устройства импульсов, имеющих амплитуду, превышающую значение постоянного напряжения управления, диод D_4 открывается, и на затворе транзистора T_5 устанавливается напряжение, равное напряжению управления. Поэтому, как только амплитуда импульса на выходе устройства станет равной напряжению управления, транзистор T_5 входит в режим ограничения, препятствуя дальнейшему росту тока в нагрузке, поскольку напряжение на истоке транзистора T_5 не может превышать напряжение на его затворе.

Максимальная импульсная мощность в рабочем диапазоне частот диодов 3А750 составляет 25 Вт, диодов 3А762 – 40 Вт [4]. Поэтому при необходимости получения максимальной выходной мощности с.в.ч.-генератора необходим индивидуальный подбор напряжения возбуждения этих диодов. Для этого вместо стабилитрона D_3 следует установить потенциометр и, изменяя напряжение возбуждения, настроить с.в.ч.-генератор на максимум выходной мощности.

Экспериментальные исследования с.в.ч.-генераторов на диодах Ганна 3А750 и 3А762 показали, что при выборе напряжения управления равным 27–30 В и использовании диодов 3А750, а при использовании диодов 3А762 – 80–85 В выходная импульсная мощность генераторов составляет не менее 10 Вт и 25 Вт соответственно [6]. В этом случае в качестве D_3 могут быть использованы стабилитроны КС527А и КС582Г.

Использование стабилитронов целесообразно для стабилизации выходной мощности с.в.ч.-генератора в диапазоне температур $\pm 50^\circ\text{C}$ и при изменении напряжения питания в пределах 55–110 В в случае использования диодов Ганна 3А750 и в пределах 90–110 В – в случае 3А762.

Важным достоинством применения устройства управления на транзисторе T_5 является отсутствие спада плоской вершины импульса на его выходе при неизбежном присутствии спада на выходе усилителя, обусловленного наличием в его составе разделительных и блокировочных емкостей. Отсутствие спада обеспечивает стабилизацию частоты генерации диода Ганна во время действия импульса возбуждения.

Изготовление и настройка возбудителя состоят из следующих этапов.

Печатная плата (рис. 2) размером 48 × 40 мм изготавливается из фольгированного с двух сторон стеклотекстолита толщиной 1–2 мм. Для удобства изготовления печатной платы на рис. 2 показана миллиметровая сетка.

На рис. 3 показано расположение элементов возбудителя. Самые мелкие отверстия в печатной плате (рис. 3) металлизированы, что необходимо

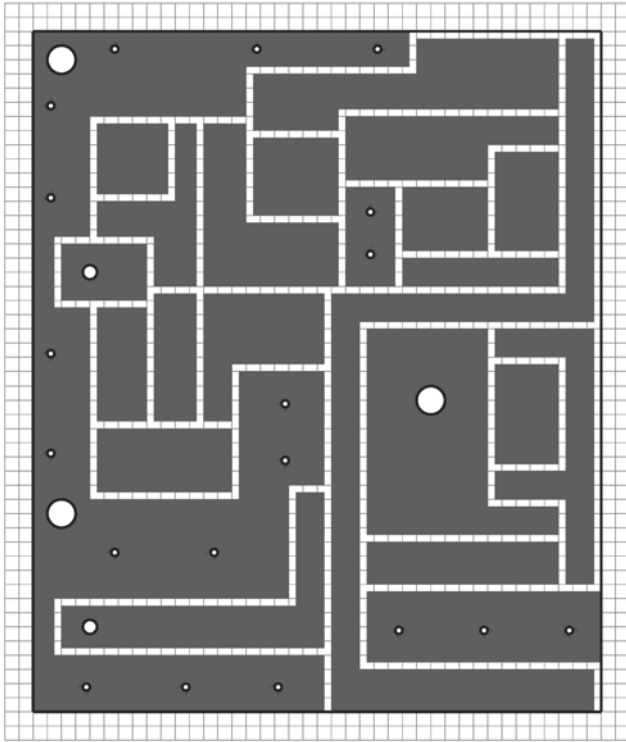


Рис. 2. Печатная плата возбудителя.

для устранения паразитных резонансов и заземления нужных ее участков.

Токи покоя транзисторов T_2 и T_3 выбраны равными 2 и 5 мА соответственно, что обеспечивает малую потребляемую мощность при одновременной высокой линейности амплитудной характеристики усилителя. Транзистор T_4 при отсутствии сигнала заперт.

В центре печатной платы имеется отверстие, через которое импульс возбуждения подается на генераторный диод Ганна.

Настройка возбудителя начинается с установки токов покоя транзисторов T_2 и T_3 соответственно 2 и 5 мА с помощью резисторов R_6 и R_{11} .

Ограничитель практически не требует настройки. Поэтому далее производится покаскадная настройка усилителя. Для этого в качестве нагрузки первого каскада подключается резистор сопротивлением 50 Ом. При амплитуде входного импульса, равной 2.2 В, изменением емкости конденсатора C_2 достигается амплитуда сигнала на выходе каскада, равная 20 В. Далее подбором сопротивления резистора R_4 устраняется спад плоской вершины импульса. Аналогичным образом настраивается каскад на транзисторе T_3 .

Резистор R_{15} , включенный между предоконечным и выходным каскадами усилителя, необходим для устранения самовозбуждения возбудите-

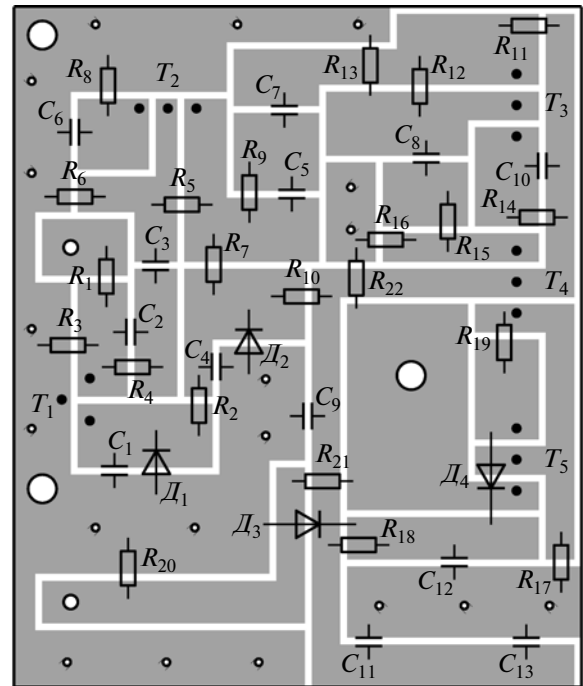


Рис. 3. Расположение элементов возбудителя.

ля, связанного с индуктивным характером входного импеданса выходного каскада.

Технические характеристики возбудителя: максимальное выходное напряжение в импульсе 100 В; максимальный выходной ток в импульсе 40 А; время установления фронта импульса 100 нс; длительность усиливаемых импульсов не более 1.5 мкс; скважность усиливаемых импульсов не менее 500; полярность входных и выходных импульсов – положительная; максимальное значение потребляемого тока 50 мА.

Резонаторная камера выполнена в виде волновода сечением 23×10 мм и длиной 50 мм. Генераторный диод устанавливается внутри волновода на расстоянии $\lambda/4$ либо $3\lambda/4$ от его закороченного края, где λ – требуемая длина волны генерируемого колебания.

Для настройки резонаторной камеры на частоту генерации диода Ганна и получения тем самым максимальной выходной мощности с.в.ч.-генератора между диодом и закороченным краем волновода в широкую стенку волновода ввинчивается металлический винт, который фиксируется контргайкой.

На рис. 4 показан внешний вид с.в.ч.-генератора.

Технические характеристики с.в.ч.-генератора: амплитуда сигнала запуска 2.5–15 В; рабочий диапазон частот 8–12 ГГц; длительность импульсов запуска 0.2–1.5 мкс; длительность фронта генерируемых радиоимпульсов не более 100 нс; скважность генерируемых импульсов не менее

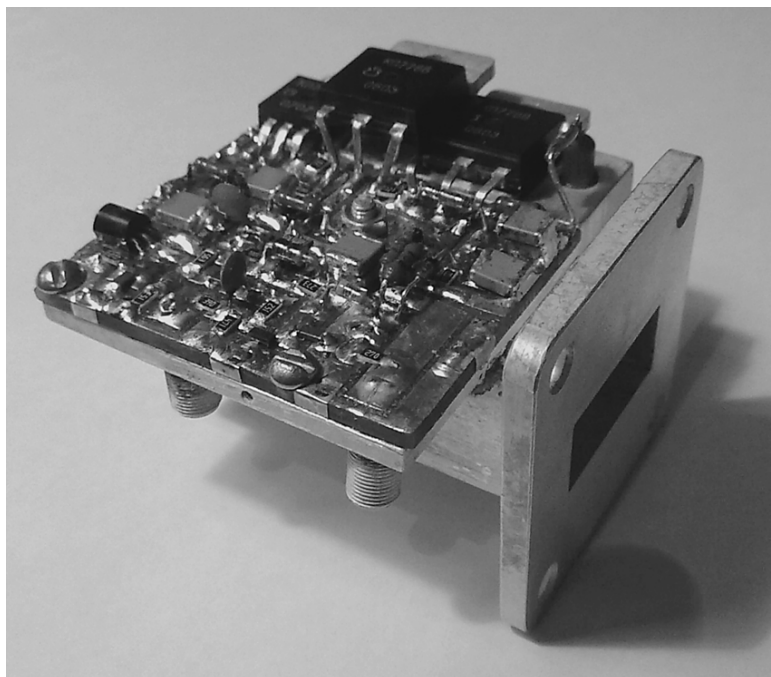


Рис. 4. Внешний вид с.в.ч.-генератора.

500; диапазон рабочих температур $\pm 50^\circ\text{C}$; напряжение источника питания 110 В; максимальное значение потребляемого тока 50 мА.

Основными факторами нестабильности частоты генерации и выходной мощности генераторов на диодах Ганна, согласно [7], являются изменения напряжения возбуждения $U_{\text{возб}}$ и температуры T [$^\circ\text{C}$] корпуса диода. Как показано в [6], относительный уход частоты от изменения напряжения возбуждения генераторов рассматриваемого типа составляет $S_u = (\Delta f/f_0)/\Delta U_{\text{возб}} = 1.7 \cdot 10^{-4} \text{ 1/V}$, а относительное изменение выходной мощности — $S_p = \Delta P/\Delta U_{\text{возб}} = 0.7 \text{ Вт/V}$, относительная температурная нестабильность частоты генерации равна $S_T = (\Delta f/f_0)/\Delta T = 2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Эти характеристики качественно совпадают с результатами исследований в [7] и позволяют рекомендовать с.в.ч.-генератор для использования в системах ближней радиолокации и радионавигации.

Работа выполнена в рамках ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной Рос-

сии” на 2009–2013 гг. (государственный контракт № 02.740.11.0514 от 15.03.10).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титов А.А., Семенов А.В., Пушкарев В.П. Пат. 2328818 РФ // БИ. 2008. № 19. С. 734.
2. Титов А.А., Пушкарев В.П. // Электросвязь. 2010. № 7. С. 44.
3. Титов А.А. Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.
4. Наливайко Б.А., Берлин А.С., Божков В.Г. и др. Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды: Справочник. Томск: МГП “РАСКО”, 1992.
5. Титов А.А., Семенов А.В., Пушкарев В.П., Юрченко В.И. Пат. 2395897 РФ // БИ. 2010. № 21. С. 971.
6. Пушкарев В.П., Титов А.А., Юрченко В.И. // Доклады ТУСУР. 2010. № 2. С. 138.
7. Попов В.В. // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2009. № 1. С. 67.