

мающихся изучением свойств пьезокерамических изделий, а также в промышленных лабораториях производств, выпускающих датчики и исполнительные устройства на основе пьезокерамики.

Выводы

Разработан программно-аппаратный комплекс для исследования пьезокерамических элементов датчиков и исполнительных устройств с целью

определения их статических и динамических характеристик. Изучение свойств исследуемых объектов производится при различных параметрах внешних воздействий в ручном и автоматическом режимах. Разработанное программное обеспечение комплекса позволяет накапливать, обрабатывать и наглядно отображать получаемые результаты исследований, а также сохранять их в форме базы данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глозман И.А. Пьезокерамика. — М.: Энергия, 1972. — 288 с.
2. Джигунов Р.Г., Борисюк А.М. Современные тенденции и направления развития пьезотехники. — Ростов-на-Дону: Книга, 1995. — Т. 3. — С. 5–12.
3. Джогупов Р.Г., Ерофеев А.А. Пьезокерамические элементы в приборостроении и автоматике. — Л.: Машиностроение, 1986. — 256 с.
4. Пугачев С.И. Пьезокерамические преобразователи. — Л.: Судостроение, 1984. — 86 с.
5. Яффе Б., Кук К., Яффе Г. Пьезоэлектрическая керамика. — М.: Мир, 1974. — 288 с.
6. Пьезоэлектрическое приборостроение: 3 томах. Т. 3. Богуш М.В. Пьезоэлектрические датчики для экстремальных условий эксплуатации. — Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2006. — 346 с.
7. Богуш М.В. Анализ и синтез пьезоэлектрических датчиков для вихревых расходомеров на основе пространственных электро-

- термоупругих моделей: дис. ... д-ра техн. наук. — Ростов-на-Дону, 2009. — 266 с.
8. Программируемый по времени регулятор температуры ОВЕН МПР51. 2012. URL: <http://www.owen.ru> (дата обращения: 13.01.2012).
9. Генератор функциональный АНР-3122. 2012. URL: <http://www.aktakom.ru> (дата обращения: 13.01.2012).
10. Четырехканальный осциллограф — приставка с гальваноразвязкой АСК-3117. 2012. URL: <http://www.aktakom.ru> (дата обращения: 13.01.2012).
11. Филипас А.А., Подкуйко Е.В., Артеменко А.Н. Алгоритм программного обеспечения автоматизированного комплекса для исследования свойств пьезокерамики. Отраслевой фонд регистрации алгоритмов и программ. Номер разработки: 02069326.00154-019901 от 21.11.2007.

Поступила 13.01.2012 г.

УДК 621.373.52

ИМПУЛЬСНЫЙ ГЕНЕРАТОР НА ДИОДЕ ГАННА С ПОВЫШЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ

В.П. Пушкарёв, А.А. Титов, В.Д. Жарский*, В.П. Жирнов*, В.А. Кочумеев**, Д.Ю. Пелявин, И.В. Шухлов**

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

*ОАО «Радиоприбор», г. Владивосток

**ОАО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», г. Томск

E-mail: TitovAA@rzi.tusur.ru

Приведено описание СВЧ генератора, состоящего из возбуждателя и резонаторной камеры с установленным в неё диодом Ганна 3А750Г. За счет оригинального схмотехнического решения системы стабилизации напряжения возбуждения диода Ганна удалось минимизировать влияние изменения дестабилизирующих факторов на характеристики генератора.

Ключевые слова:

Диод Ганна, СВЧ генератор, возбуждатель, стабильность характеристик.

Key words:

Gunn diode, microwave generator, exciter, characteristic stability.

В системах ближней радиолокации и радионавигации широко используют генераторы на магнетронах с импульсной выходной мощностью в десятки ватт. Для замены этих генераторов предлагается СВЧ генератор на диоде Ганна, управляемый микроконтроллером, генерирующим импульсы ТТЛ-уровня. Генератор состоит из возбуждателя и резонаторной камеры с диодом Ганна 3А750Г [1].

На рис. 1 приведена принципиальная схема возбуждателя.

В состав возбуждателя входят: самоуправляемый ограничитель на транзисторе VT1; трехкаскадный импульсный усилитель на транзисторах VT2, VT4, VT6; устройство управления амплитудой импульса возбуждения диода Ганна на транзисторе VT5.

Ограничитель, реализованный на основе схемы [2], обеспечивает стабилизацию амплитуды и длительности импульсов на входе импульсного усилителя при многократном изменении амплитуды импульсов на входе возбуждателя.

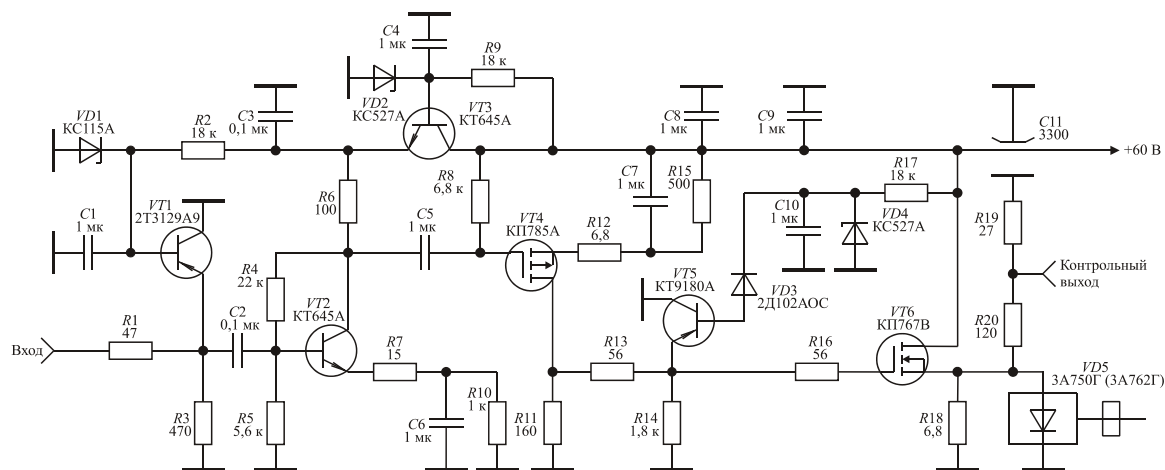


Рис. 1. Принципиальная схема возбудителя

Ограничитель работает следующим образом. На базу транзистора $VT1$ со стабилизатора напряжения, состоящего из резистора $R2$ и стабилитрона $VD1$, подается постоянное запирающее оба перехода транзистора $VT1$ напряжение. В случае использования $p-n-p$ транзистора, рис. 1, это напряжение положительное. При подаче на вход ограничителя импульсов положительной полярности, транзистор $VT1$ будет заперт до тех пор, пока амплитуда указанных импульсов будет меньше запирающего напряжения, подаваемого на базу транзистора $VT1$. При превышении амплитудой входных импульсов значения запирающего напряжения, транзистор $VT1$ открывается, и его входное сопротивление будет составлять доли Ом. В этом случае транзистор $VT1$ играет роль самоуправляемого ограничителя [3].

Делитель напряжения на резисторах $R1$ и $R3$ необходим для сохранения работоспособности ограничителя при работе от генератора с малым выходным сопротивлением. При отсутствии делителя, шунтирующее действие транзистора $VT1$ будет уменьшаться с уменьшением выходного сопротивления генератора и может привести к выходу его из строя, либо выжиганию транзистора $VT1$.

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 импульсный усилитель на транзисторах $VT2$, $VT4$, $VT6$ обеспечивает на выходе получение импульсов положительной полярности амплитудой до 50 В и током до 18 А. В каскадах на транзисторах $VT2$, $VT4$ использована последовательная отрицательная обратная связь по току (элементы $R7$, $R12$), обеспечивающая высокие технические показатели, не смотря на свою простоту [4]. Достоинством схемы является стабилизация характеристик усилителя, что позволяет исключить процесс его настройки.

Особенностью работы диодов Ганна является динамическое изменение их сопротивления в за-

висимости от мгновенного значения приложенного напряжения. Поэтому для стабильной работы СВЧ генераторов на этих диодах требуется возбудитель с выходным сопротивлением, составляющим десятые доли Ом. Для реализации указанного требования выходной каскад усилителя на транзисторе $VT6$ 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. Он обладает высоким быстродействием, что позволяет обеспечить время установления фронта импульса усилителя не более 60 нс при работе на нагрузку с активным сопротивлением свыше 3 Ом.

Рабочие импульсные напряжения диодов Ганна типа 3А750Г индивидуальны и лежат в диапазоне 20...50 В. Поэтому на входе выходного каскада установлено устройство управления амплитудой импульсов возбуждения на транзисторе $VT5$, реализованное по схеме [5].

Устройство управления амплитудой импульсов работает следующим образом. Напряжение стабилизации стабилитрона $VD4$ выбирается равным амплитуде импульсов на выходе устройства управления. В исходном состоянии диод $VD3$ закрыт. Поэтому постоянное напряжение, подаваемое со стабилитрона $VD4$ на катод диода $VD3$, не поступает на базу транзистора $VT5$. При подаче на вход устройства управления импульсов, имеющих амплитуду меньше, чем значение постоянного напряжения на катоде диода $VD3$, он остается закрытым. Транзистор $VT5$ также закрыт. В этом случае импульс, подаваемый на вход устройства управления, беспрепятственно проходит на его выход и поступает на затвор транзистора $VT6$. Резистор $R13$ необходим для ограничения предельного тока транзистора $VT5$ при его открывании. При подаче на вход устройства управления импульсов, имеющих амплитуду, превышающую значение постоянного напряжения, установленного на катоде диода $VD3$, последний открывается, и на базе транзистора $VT5$ устанавливается напряжение, равное напряжению на катоде диода $VD3$. Поэтому, как только

амплитуда импульса на выходе устройства управления станет равной напряжению на катоде диода $VD3$, транзистор $VT5$ открывается, препятствуя дальнейшему росту импульсного напряжения на затворе транзистора $VT6$, поскольку напряжение на эмиттере транзистора $VT5$ не может значительно превышать напряжения на его базе.

При нормальных условиях максимальная импульсная мощность диодов Ганна 3А750Г в рабочем диапазоне частот составляет 25 Вт [1]. Требуемая амплитуда импульса возбуждения для получения указанной мощности лежит в пределах 35...50 В. Однако СВЧ генераторы на диодах Ганна, работающих в режиме максимальной импульсной мощности, обладают большой нестабильностью частоты генерации и выходной мощности при изменении температуры окружающей среды. Экспериментальные исследования СВЧ генераторов на диодах Ганна типа 3А750Г показали, что минимизация нестабильности частоты генерации и выходной мощности, при изменении температуры в диапазоне $\pm 50^\circ\text{C}$ достигается при выборе амплитуды импульса возбуждения в пределах 27...30 В. Использование стабилитрона $VD4$ обеспечивает указанный режим работы.

Важным достоинством применения устройства управления на транзисторе $VT5$ является отсутствие спада плоской вершины импульса на выходе возбuditеля при неизбежном присутствии спада на выходе усилителя, обусловленного наличием в его составе разделительных и блокировочных емкостей. Отсутствие спада обеспечивает стабилизацию частоты генерации диода Ганна в течении действия импульса возбуждения.

Изготовление и настройка возбuditеля 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.

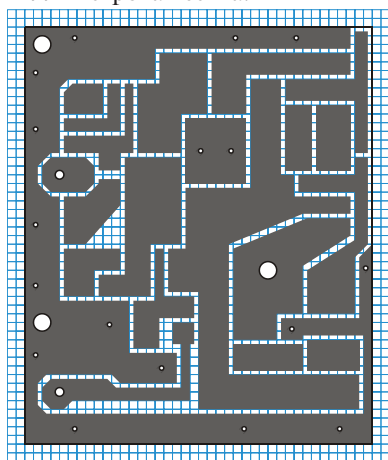


Рис. 2. Печатная плата возбuditеля

На рис. 3 показано расположение элементов возбuditеля. Пунктирной линией на рис. 3 обозна-

чены самые мелкие металлизированные отверстия, что необходимо для устранения паразитных резонансов и заземления нужных участков печатной платы.

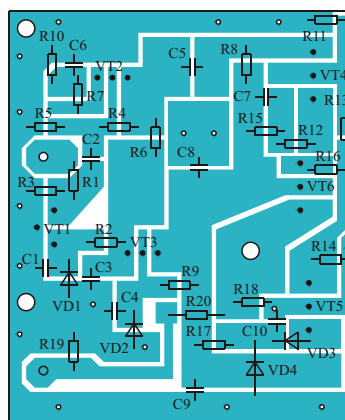


Рис. 3. Расположение элементов возбuditеля

Ток покоя транзистора $VT2$ выбран равным 3 мА, транзисторы $VT4$ и $VT6$ при отсутствии сигнала закрыты. В центре печатной платы имеется контактная площадка-крепление, через этот контакт импульс возбуждения подается на генераторный диод Ганна.

На рис. 4 показан внешний вид возбuditеля, поясняющий особенности его конструктивной реализации.

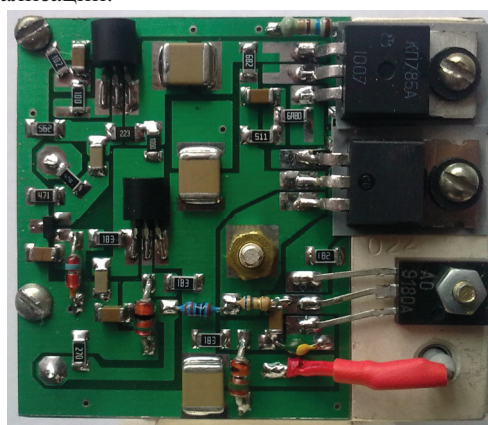


Рис. 4. Внешний вид возбuditеля

Возбuditелю практически не требует настройки. Подстройка коэффициента усиления импульсного усилителя сводится к подбору номиналов резисторов $R7$ и $R12$.

Технические характеристики возбuditеля:

- максимальное выходное напряжение в импульсе 50 В;
- максимальный выходной ток в импульсе 18 А;
- время установления фронта импульса 60 нс;
- длительность управляющих импульсов, не более 1,5 мкс;
- полярность входных и выходных импульсов положительная.

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 — длина волны генерируемого колебания.

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

На рис. 5 показан общий вид СВЧ генератора.

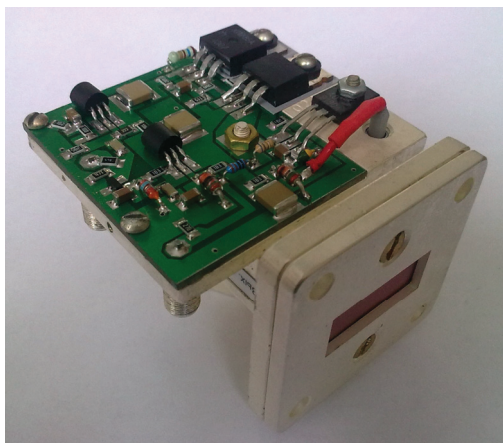


Рис. 5. Общий вид СВЧ генератора

Технические характеристики СВЧ генератора:

- амплитуда сигнала запуска 2,5...15 В;
- рабочий диапазон частот 8...12 ГГц;

- длительность импульсов запуска 0,1...1,5 мкс;
- длительность фронта генерируемых радиоимпульсов, не более 60 нс;
- скважность генерируемых импульсов, не менее 700;
- диапазон рабочих температур $\pm 50^\circ\text{C}$;
- изменение СВЧ мощности в диапазоне рабочих температур, не более $\pm 0,5$ дБ;
- нестабильность частоты в диапазоне рабочих температур, не более $0,5 \cdot 10^{-3}$;
- напряжение источника питания 60 В;
- максимальное значение потребляемого тока 0 мА.

Основными факторами нестабильности частоты генерации и выходной мощности генераторов на диодах Ганна, согласно [6], являются изменения напряжения возбуждения $U_{\text{возб}}$ и температуры корпуса T диода. Как показали исследования, относительный уход частоты на 1 В напряжения возбуждения рассматриваемого генератора составляет $S_U = (\Delta f/f_0)/\Delta U_{\text{возб}} = 1,7 \cdot 10^{-4} 1/\text{В}$, изменение выходной мощности на 1 В составляет $S_P = \Delta P/\Delta U_{\text{возб}} = 0,7 \text{ Вт/В}$, относительная температурная нестабильность частоты генерации равна $S_T = (\Delta f/f_0)/\Delta T = 0,5 \cdot 10^{-5} 1/\text{град}$. Эти характеристики качественно совпадают с результатами исследований [6] и позволяют рекомендовать СВЧ генератор для использования в системах ближней радиолокации и радионавигации.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (государственный контракт № 02.740.11.0514 от 15.03.10).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды. Справочник / Б.А. Наливайко, А.С. Берлин, В.Г. Божков и др.; под ред. Б.А. Наливайко. — Томск: МГП «РАСКО», 1992. — 223 с.
2. Устройство защиты усилителя однополярных импульсов от перегрузки по току: пат. 2328818 Рос. Федерация. № 2007106285/09; заявл. 19.02.07; опубл. 10.07.08, Бюл. № 19. — 715 с.
3. Титов А.А., Пушкарев В.П. Устройства управления амплитудой мощных импульсных сигналов // Электросвязь. — 2010. — № 7. — С. 44–46.
4. Титов А.А. Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ. — М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. — 326 с.
5. Токбаева И.Ж., Титов А.А. Управление амплитудой мощных импульсных сигналов // Научная сессия ТУСУР-2011: Матер. докладов Всерос. научно-техн. конф. — Томск, 4–7 мая 2011 г. — Томск: Изд-во «В-Спектр», 2011. — Ч. 2. — С. 305–308.
6. Попов В.В. Стабилизация частоты генераторов на диодах Ганна миллиметрового диапазона длин волн // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2009. — № 1. — С. 67–71.

Поступила 12.12.2011 г.