

А. А. ТИТОВ, В. П. ПУШКАРЕВ, Б. И. АВДОЧЕНКО

## МОЩНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ СВЧ ГЕНЕРАТОРНЫЙ МОДУЛЬ

Описан СВЧ генераторный модуль на диоде Ганна типа 3A762A с выходной импульсной мощностью не менее 36 Вт, рабочим диапазоном частот 8—11 ГГц и размером 46×42×36 мм. Приведена принципиальная схема ограничителя импульсов управления и возбuditеля, описаны особенности конструктивной реализации СВЧ генераторного модуля и методика его настройки.

**Ключевые слова:** диод Ганна, генераторный модуль, ограничитель импульсов, возбuditель.

Используемые в настоящее время в системах ближней радиолокации и радионавигации импульсные СВЧ генераторы на магнетронах имеют большой вес, габариты и ограниченный срок службы. В то же время выпускаемые промышленностью диоды Ганна типа 3A750, 3A762, а также лавинно-пролетные диоды типа 3A765, 3A766 позволяют разрабатывать СВЧ-генераторы с выходной импульсной мощностью до 40 Вт в диапазоне частот 8—96 ГГц [1]. В работе описан СВЧ генераторный модуль, управляемый микроконтроллером, генерирующим импульсы управления ТТЛ-уровня, и состоящий из ограничителя амплитуды импульсов управления (далее — ограничитель), возбuditеля и резонаторной камеры с диодом Ганна типа 3A762A.

Принципиальная схема ограничителя и возбuditеля приведена на рис. 1.

Для стабильной работы СВЧ генераторного модуля необходимо обеспечить постоянный уровень напряжения возбуждения диода Ганна. В случае работы импульсного возбuditеля от микроконтроллера, генерирующего импульсы управления ТТЛ-уровня, напряжение возбуждения оказывается нестабилизированным. Это приводит к изменению генерируемой мощности и частоты генерации [1].

В цифровой технике в качестве ограничителя импульсов используют, как правило, компараторы [2], недостатком которых является увеличение длительности формируемых ими импульсов с возрастанием амплитуды входных воздействий, что связано с насыщением транзисторов компаратора. В системах ближней радиолокации изменение длительности излучаемых радиоимпульсов недопустимо, поскольку приводит к снижению точности производимых с помощью указанных систем измерений.

Ограничитель должен обеспечивать неизменную форму и амплитуду выходного импульса при изменении амплитуды входного сигнала. Экспериментальные исследования показали, что при изменении амплитуды входных импульсов в пределах от 4 до 20 В амплитуда выходных импульсов изменяется от 3,2 до 3,36 В. Важно и то, что изменение амплитуды входного воздействия не приводит к увеличению длительности выходных импульсов, что характерно для классических схем на основе компараторов. При этом выброс на переднем фронте импульса в рассматриваемом диапазоне амплитуд входных сигналов не превышает 3 % [3].

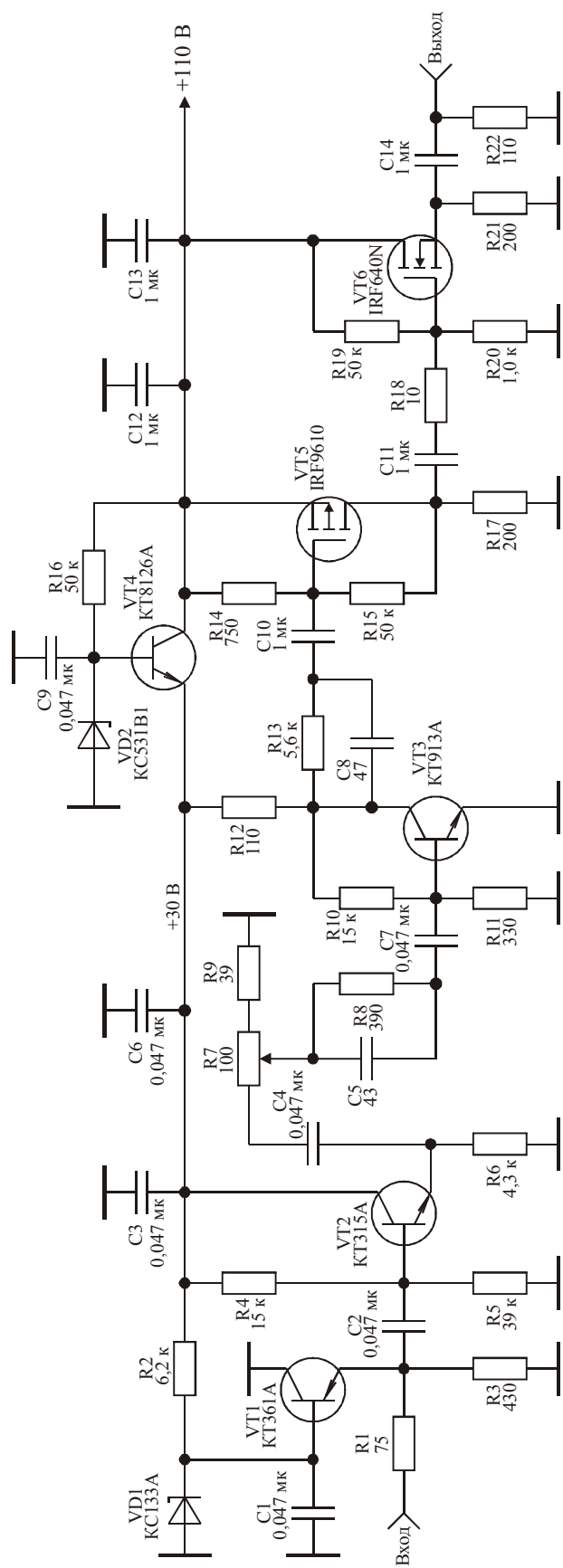


Рис. 1

Ограничитель содержит транзистор VT1, выполняющий роль самоуправляемого ограничителя однополярных импульсных сигналов; стабилизатор напряжения на стабилитроне VD1 и резисторе R2; делитель напряжения на резисторах R1 и R3; эмиттерный повторитель на транзисторе VT2.

На базу транзистора VT1 со стабилизатора напряжения подается постоянное запирающее оба перехода VT1 напряжение. В случае использования *p-n-p*-транзистора (см. на рис. 1) это напряжение положительное. При подаче на вход ограничителя импульсов положительной полярности транзистор VT1 заперт до тех пор, пока амплитуда указанных импульсов будет меньше запирающего напряжения, подаваемого на базу транзистора VT1. Если амплитуда входных импульсов превышает значения запирающего напряжения, транзистор VT1 открывается, и его входное сопротивление будет составлять доли ома. В этом случае транзистор VT1 играет роль самоуправляемого ограничителя.

Делитель напряжения на резисторах R1 и R3 необходим для сохранения работоспособности ограничителя при работе от генератора с малым выходным сопротивлением. При отсутствии делителя на резисторах R1 и R3 степень шунтирования транзистором VT1 входного сигнала будет снижаться с уменьшением выходного сопротивления генератора и может привести к выходу его из строя.

Эмиттерный повторитель необходим для сохранения работоспособности ограничителя в случае его работы на низкоомную нагрузку. Использование эмиттерного повторителя позволяет сохранять неизменной амплитуду выходных импульсов при работе на произвольное сопротивление нагрузки, ограниченное допустимым импульсным током транзистора VT2.

Возбудитель содержит три каскада усиления на транзисторах VT3, VT5, VT6 и стабилизатор напряжения на транзисторе VT4, предназначенный для питания ограничителя и первого каскада возбудителя. В первых двух каскадах возбудителя использованы корректирующие цепи первого порядка (элементы C5, R8 и C8, R13), обеспечивающие высокие технические показатели [4]. Достоинством таких цепей является отсутствие выброса на переднем фронте усиливаемого импульса при изменении значения коэффициента усиления каскада от максимального до единицы.

Особенностью работы импульсных диодов Ганна и лавинно-пролетных диодов является изменение их сопротивления в процессе возбуждения, для стабильной работы СВЧ-генераторов на этих диодах требуется возбудитель с выходным сопротивлением в десятые доли ома. Для реализации указанного требования выходной каскад возбудителя на транзисторе VT5 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 большим быстродействием, что позволяет обеспечить время установления фронта импульса возбудителя не более 10 нс при работе на нагрузку с активным сопротивлением не менее 5 Ом.

Рабочие импульсные напряжения диодов Ганна и лавинно-пролетных диодов индивидуальны и лежат в диапазоне 10—100 В. Поэтому между ограничителем и возбудителем установлен потенциометр R7 (рис. 1), позволяющий изменять выходное импульсное напряжение возбудителя в указанных пределах.

Изготовление и настройка ограничителя и возбудителя включают следующие этапы. Печатная плата (рис. 2) размером 40×40 мм изготавливается из фольгированного с двух сторон стеклотекстолита толщиной 2—3 мм.

На рис. 3 представлено расположение элементов ограничителя и возбудителя. Пунктиром обозначены места металлизации, необходимой для устранения паразитных резонансов и заземления нужных участков печатной платы.

Токи покоя транзисторов возбудителя выбраны равными 3—8 мА, что обеспечивает малую потребляемую мощность при одновременной высокой линейности амплитудной

характеристики возбудителя. Поэтому для сохранения теплового режима указанных транзисторов при длительной работе достаточно в качестве радиатора охлаждения использовать резонаторную камеру СВЧ-генератора.

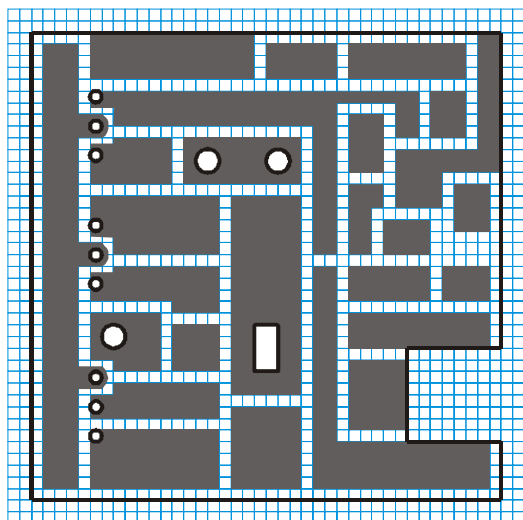


Рис. 2

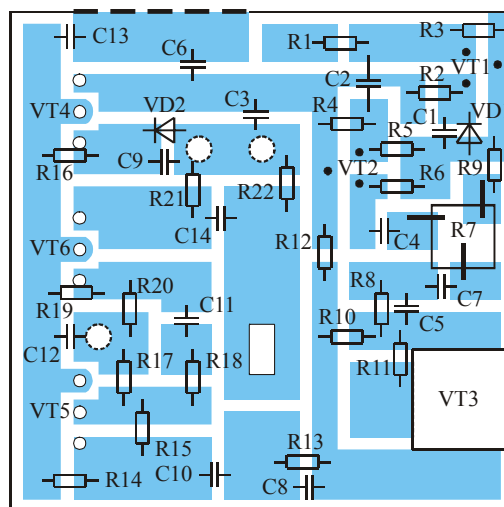


Рис. 3



Рис. 4

На рис. 4 показан внешний вид ограничителя и возбудителя, поясняющий особенности их конструктивной реализации. Как видно из рис. 4, в центре печатной платы имеется отверстие с установленным в него винтом, через который импульс возбуждения подается на генераторный диод.

Настройка ограничителя заключается в установке (путем изменения сопротивления резистора R4) постоянного напряжения коллектор—эмиттер транзистора VT2 в 10 В.

Технические характеристики ограничителя:

полярность входных и выходных импульсов.....	положительная;
допустимый диапазон амплитуд входных импульсов .....	4—20 В;
амплитуда выходных импульсов.....	3,2 В;
спад вершины импульсов при длительности 2 мкс .....	2 %;
длительность фронта выходных импульсов .....	5 нс.

Настройка возбuditеля начинается с установления токов покоя транзисторов VT3, VT5, VT6 равными 3—8 мА с помощью резисторов R11, R14, R20. Затем производится покаскадная настройка возбuditеля. Для этого в качестве нагрузки первого каскада подключается резистор (сопротивление 50 Ом) и изменением емкости конденсатора C5 достигается максимальный коэффициент усиления каскада при времени установления фронта импульса 5—6 нс. Далее путем изменения сопротивления резистора R8 уменьшается спад плоской вершины импульса. Изменением в небольших пределах сопротивления резистора R11 достигается максимальная линейность амплитудной характеристики каскада. Аналогичным образом настраиваются остальные каскады усилителя.

Резистор R18, включенный между предоконечным и выходным каскадами, необходим для устранения самовозбуждения возбuditеля, связанного с индуктивным характером входного импеданса выходного каскада.

Технические характеристики возбuditеля:

выходное напряжение в импульсе .....	10—100 В;
максимальный выходной ток в импульсе .....	25 А;
время установления фронта импульса .....	10 нс;
длительность усиливаемых импульсов, не более .....	200 нс;
скважность усиливаемых импульсов, не менее .....	500;
коэффициент усиления .....	30 дБ;
полярность входных и выходных импульсов .....	положительная;
максимальное значение потребляемого тока .....	60 мА.

Резонаторная камера выполнена из волновода сечением 23×10 мм и длиной 46 мм. Генераторный диод устанавливается внутри волновода на расстоянии  $\lambda/4$  либо  $3\lambda/4$  от закрытого металлической заглушкой края волновода ( $\lambda$  — требуемая длина волны генерируемого колебания). Особенности конструктивной реализации резонаторной камеры с установленным в нее диодом показаны на рис. 5.

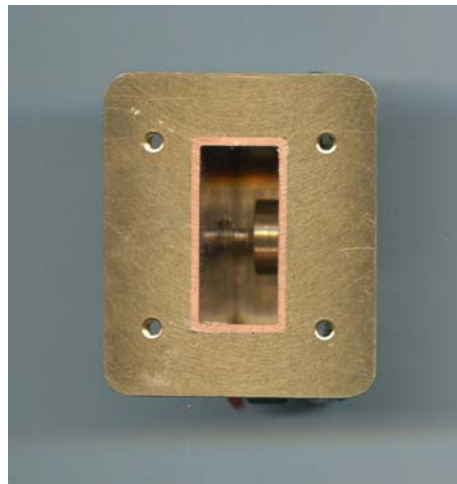


Рис. 5

Плавная подстройка частоты генерации СВЧ генераторного модуля, в пределах 10—20 МГц, осуществляется путем изменения амплитуды возбуждающего импульса, подаваемого на диод Ганна. Это достигается соответствующим выбором положения движка потенциометра R7. Изменение выходной мощности при этом не превышает 2—3 %.

Для более грубой подстройки частоты генерации в волноводе прорезана продольная щель, куда входит винт, вкручиваемый в держатель диода Ганна, через который импульс возбуждения подается на диод. Изменение частоты генерации осуществляется с помощью смещения держателя диода Ганна, служащего для диода радиатором.

Для настройки резонаторной камеры на частоту генерации диода Ганна и получения тем самым максимальной выходной мощности СВЧ генераторного модуля между диодом и закрытым краем волновода в широкую стенку волновода помещается металлический винт, который фиксируется контргайкой.

На рис. 6 представлен общий вид СВЧ генераторного модуля.

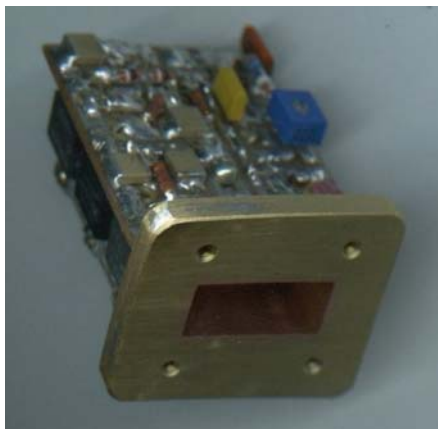


Рис. 6

Технические характеристики СВЧ генераторного модуля:

амплитуда сигнала запуска .....	4—20 В;
выходная мгновенная мощность при скважности 1000 и длительности радиоимпульсов 100 нс, не менее .....	36 Вт;
номинальное значение несущей частоты.....	8—11 ГГц;
длительность импульсов запуска .....	30—200 нс;
длительность фронта генерируемых радиоимпульсов, не более.....	10 нс;
скважность генерируемых импульсов, не менее.....	500;
напряжение источника питания .....	110 В;
максимальное значение потребляемого тока .....	60 мА.

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. *Наливайко Б. А., Берлин А. С., Божков В. Г.* и др. Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды: Справочник. Томск: МГП „РАСКО“, 1992. 223 с.
2. *Нефедов В. И.* Основы радиоэлектроники и связи. М.: Высшая школа, 2005. 510 с.
3. *Титов А. А., Семенов А. В., Пушкарев В. П.* Устройство защиты усилителя однополярных импульсов от перегрузки по току. Патент РФ № 2328818. Оpubл. 10.07.2008. Б.И. № 19.
4. *Авдоченко Б. И., Бабак Л. И., Обихвостов В. Д.* Транзисторный видеоусилитель наносекундной длительности с повышенным выходным напряжением // Приборы и техника эксперимента. 1980. № 5. С. 107—109.

#### Сведения об авторах

- Александр Анатольевич Титов** — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра радиоэлектроники и защиты информации; E-mail: titov\_aa@rk.tusur.ru
- Владимир Петрович Пушкарев** — канд. техн. наук, доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра радиоэлектроники и защиты информации
- Борис Иванович Авдоченко** — доцент; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, кафедра радиоэлектроники и защиты информации

Рекомендована кафедрой  
радиоэлектроники и защиты информации

Поступила в редакцию  
05.05.09 г.