

А. В. КРАВЧЕНКО, к. ф.-м. н. С. В. ПЛАКСИН,  
к. ф.-м. н. И. И. СОКОЛОВСКИЙ

Украина, г. Днепрпетровск, Ин-т технической механики,  
Ин-т транспортных систем и технологий  
E-mail: svp@westa-inter.com

Дата поступления в редакцию  
14.02 2005 г.

Оппонент к. т. н. В. П. ЗАЙКОВ  
(НИИ "Шторм", г. Одесса)

## АКТИВНОЕ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЧ-ГЕНЕРАТОРОВ

*Представлена реверсивная схема непрерывного терморегулирования волноводных генераторов на диодах Ганна на базе термоэлектрических микроохладителей на эффекте Пельтье.*

Параметры радиотехнических систем диапазона сверхвысоких частот напрямую зависят от стабильности частоты источников сигнала. Степень использования полупроводниковых источников СВЧ-сигнала (на лавинно-пролетных диодах, на диодах Ганна), пришедших на смену вакуумным приборам, зависит в первую очередь от того, удастся ли решить задачу температурной стабилизации частоты, а обеспечение температурной стабилизации параметров полупроводникового генератора является задачей не менее значимой, чем обеспечение кратковременной стабильной частоты или требуемого уровня СВЧ-сигнала на выходе устройства [1, 2].

Указанная задача может быть решена методом термокомпенсации и методом активной термостабилизации. Первый метод основан на использовании температурной зависимости диэлектрической проницаемости материала вкладышей специальных форм, вводимых в резонансную систему. Например, в [3] предложен способ термокомпенсации диодного СВЧ-генератора, согласно которому внутри резонатора размещается диэлектрический компенсатор эксцентрической формы. При вращении компенсатора вследствие неравномерности электромагнитного поля в резонаторе изменяется доля включения его в резонатор, что позволяет плавно регулировать температурный коэффициент частоты (ТКЧ) генератора механизмом подстройки.

При конструировании анализ системы "диод—резонатор" рекомендуется выполнять на основе теории малых возмущений. Однако поле в окрестности диода распределено крайне неравномерно, механизм контролирующего влияния СВЧ-поля в резонаторе на процессы в диодах Ганна и в лавинно-пролетных диодах сложен и до конца еще не изучен, и практическая реализация такого подхода при построении перестраиваемых генераторов с заранее заданными параметрами затруднена. Экспериментальным путем подобрать форму компенсатора и место его включения в резонаторе (даже на заданной частоте генерации или в узком диапазоне частот) довольно сложно. В силу сложной час-

тотной зависимости как реактивной, так и активной составляющей проводимости генераторных СВЧ-диодов, при перестройке частоты эта компенсация разрушается и восстановление компенсации может быть достигнуто только заменой компенсатора одной формы на компенсатор другой формы. Естественно, что такой подход к обеспечению температурной стабильности нельзя признать продуктивным.

Типичные значения ТКЧ генератора на диоде Ганна с использованием составных диэлектрических резонаторов составляют  $6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ , а с использованием в составе колебательной системы стабилизирующих цилиндрических объемных резонаторов из термостабильных сплавов (инвара) —  $(1...3) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ . Для ряда применений, например для построения конверторов частоты в необслуживаемых радиорелейных линиях связи [4], такая стабильность частоты является недостаточной.

Зарубежная и отечественная практика обеспечения температурной стабильности полупроводниковых СВЧ-генераторов показала, что более эффективным средством решения указанной задачи является активная термостабилизация с применением термоэлектрических охладителей на эффекте Пельтье. В этом случае при разработке схем термостабилизации СВЧ-генераторов следует учитывать специфику применения этих схем. Так, широко известные схемы позиционного регулирования температуры и тиристорные схемы терморегуляторов [5] не в состоянии обеспечить высокую точность поддержания температуры и, кроме того, являются источником дополнительных помех. Вследствие этого использование таких схем при термостатировании высокочувствительных схем затруднено, а иногда и полностью исключено (например при разработке генераторов с низким уровнем АМ- и ЧМ-шумов, когда второе обстоятельство приобретает существенное значение).

С учетом приведенных выше обстоятельств нами была разработана реверсивная схема с однополярным питанием для непрерывного термостатирования генераторных модулей, прошедшая тщательную проверку в процессе разработки и испытаний блока местных гетеродинов РЛС миллиметрового диапазона.

На рисунке приведена принципиальная электрическая схема устройства для активной терморегуляции. Мостовой усилитель постоянного тока выпол-

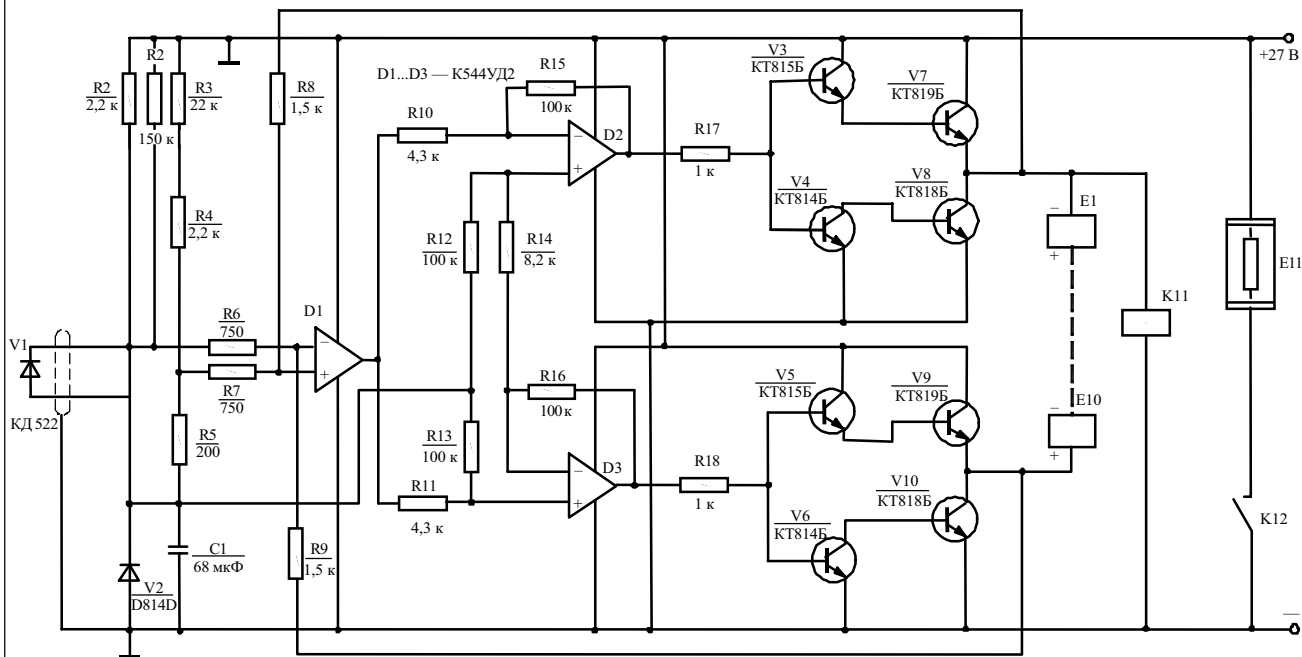


Схема активного термостатирования

нен на трех микросхемах типа К544УД2 с усилителем мощности на составных транзисторах V3—V10. Измерительный мост собран на резисторах R2—R5. В качестве термодатчика использован полупроводниковый диод КД503А, который размещен вблизи генераторного диода (непосредственно на корпусе камеры). При этом использован принцип Понселе. Генераторный модуль помещен в термостат, образованный металлическим корпусом, одной из стенок которого являлся радиатор, а все остальные стенки снабжены теплоизолятором (из пенопласта). Температура термостата устанавливается при помощи подстроечного резистора R3 и составляет  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Для повышения устойчивости работы усилителя он охвачен глубокими отрицательными связями посредством резисторов R8, R9.

В качестве активного элемента (охладителя) использованы восемь последовательно соединенных термоэлектрических микроохладителей типа ТЭБ-023.

В приведенной схеме предусмотрена возможность повышения скорости выхода генератора на режим за счет форсированного подогрева нагревательным элементом E11, включенным через реле K11 (РЭН-34). Транзисторы КТ818Б при полярности, указанной на схеме, являются дополнительным нагревателем и благоприятствуют более быстрому выходу блока в заданный режим. Для блока с шестью генераторными модулями волноводной конструкции на диодах Ганна, построенными с использованием опорных стабилизирующих цилиндрических резонаторов, возбуждаемых на волне типа  $H_{01n}$ , скорость выхода на режим в температурном интервале от  $-70^\circ\text{C}$  до  $+60^\circ\text{C}$  составляет не более 7 мин. Общая масса блока 4,1 кг.

Рассмотренная схема активного термостатирования обеспечивает поддержание температуры термостата с точностью до  $0,03^\circ\text{C}$ , оцениваемой нами по уходу частоты генерации. Использование схемы активного термостатирования позволяет достигнуть ТКЧ около  $10^{-7}$   $1/^\circ\text{C}$ . При этом выходная мощность

увеличивается на 20—25% по сравнению с неохлаждаемым модулем в области положительных температур окружающей среды. Одновременно улучшается амплитудно-частотная характеристика модуля.

Эквивалентная шумовая мощность, измеренная в режиме генерирующего преобразователя [6], составляет величину менее  $5 \cdot 10^{-17}$  Вт/Гц на расстояниях 3—8 ГГц от несущей и около  $10^{-18}$  Вт/Гц на расстояниях 30—60 МГц от несущей в диапазоне частот 32—37 ГГц, что более чем на порядок меньше эквивалентной шумовой мощности неохлаждаемых генераторов в этом диапазоне частот в области положительных температур окружающей среды.

Таким образом, активное термостатирование СВЧ-генераторов с использованием в качестве источников "тепло-холод" термоэлектрических устройств позволяет улучшить их основные характеристики при достаточно высоких показателях надежности.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кравченко А. В., Крысь В. Я., Соколовский И. И. Сравнительный анализ методов стабилизации полупроводниковых СВЧ генераторов миллиметрового диапазона // Тез. докл. I Укр. симп. «Физика и техника мм и субмм радиоволн». Ч. 1.— Харьков: ИПЭ АН УССР, 1991.— С. 185.
2. Новоженин В. М. Исследования флуктуации частоты генератора Ганна // Изв. вузов. Радиоэлектроника.— 1980.— Т. 23, № 10.— С. 75—77.
3. Лосев С. В. Способ уменьшения температурного коэффициента частоты твердотельных генераторов СВЧ // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ.— 1982.— № 11.— С. 63—64.
4. Соколовский И. И. Конвертор частоты на диоде с переносом электронов.— В кн.: Элементная база устройств и систем когерентной оптики.— Тула: Изд-во Тульского политехн. ин-та, 1981.— С. 115—120.
5. Ингберман М. И., Фромберг Э. М., Грабой Л. П. Термостатирование в технике связи.— М.: Связь, 1979.
6. Albrecht P., Bechteller M. Noise figure and conversion on loss of self-excited Gunn-diode mixers // Electr. Lett.— 1970.— Vol. 6, N 11.— P. 28—29.