

Э. Р. Галеев, В. Д. Кукуш,
канд. техн. наук,
В. В. Форфутдинов, И. М. Мыцснко

**К ВОПРОСУ О ЗАЩИТЕ МОЩНОГО
ГЕНЕРАТОРА СВЧ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ
ПРИ РАССОГЛАСОВАНИИ НАГРУЗКИ**

При рассогласовании волноводного тракта возникающие перенапряжения могут вывести из строя мощные электровакуумные приборы СВЧ. Так, в мощном усилительном клистроне перенапряжения могут привести к пробое и разрушению кера-

мического окна вывода энергии или к разрушению трубки дрейфа электронов в результате расфокусировки пучка.

При отсутствии развязывающих устройств (вентилей, циркуляторов) предотвратить выход из строя генератора в таких случаях можно с помощью устройства защиты [1—3], которое контролирует величину, характеризующую режим работы тракта, и отключает определенные цепи генератора (питания, возбуждения) при достижении контролируемой величиной предельного значения.

Выбор контролируемой величины от того, по какому из критериев режима работы тракта ведется защита: по уровню перенапряжений в тракте или по степени рассогласования. В первом случае контролируется напряженность электрического поля, во втором — коэффициент отражения, или КСВ.

Превышение напряженностью электрического поля предельного уровня непосредственно ведет к пробое. При предельном значении коэффициента отражения

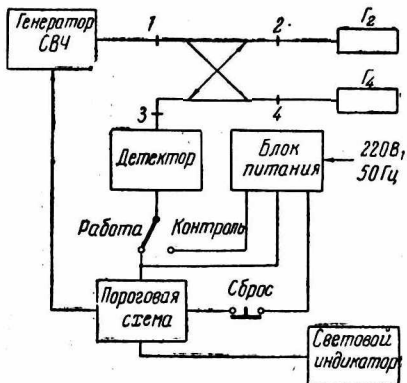


Рис. 1. Структурная схема устройства.

уровень перенапряжений может быть незначительным, так как зависит от уровня генерируемой мощности. Срабатывание защиты в этом случае означает, что перенапряжения при повышении мощности генератора до номинальной достигнут предельных значений.

Защиту можно осуществлять по уровню отраженной волны. Такой критерий является промежуточным, поскольку учитывает степень рассогласования тракта и уровень падающей волны.

Устройства защиты, работающие по принципу измерителя уровня отраженной волны, весьма просты и эффективны. В статье описываются особенности опытного образца такого устройства защиты, созданного авторами для работы в волноводном тракте четырехсантиметрового диапазона волн. Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

В режиме «работа» при рассогласовании нагрузки генератора часть отраженной волны ответвляется в плечо 3 направленного ответвителя, в котором установлен детектор. Сигнал детектора подается на вход пороговой схемы. Порог срабатывания устанавливается равным значению сигнала при предельном значении отраженной мощности $P_{отр. пред}$, которое определяется по паспортным данным генератора: номинальной мощности $P_{ном}$ и предельному значению модуля коэффициента отражения нагрузки $|\Gamma_{пред}|$

$$P_{отр. пред} = P_{ном} |\Gamma_{пред}|^2. \quad (1)$$

При достижении отраженной волной предельного уровня пороговая схема срабатывает и выдает сигнал защиты. Одновременно осуществляется световая индикация. Такое состояние сохраняется до устранения неисправности и принудительного возвращения устройства защиты в исходное состояние нажатием кнопки «сброс».

В режиме «контроль» работоспособность устройства при выключенном генераторе проверяется путем подачи на детектор сигнала переменного тока низкой частоты из блока питания. В этом режиме можно осуществлять и калибровку устройства.

Повышенные требования предъявляются ответвителю, который должен иметь:

- 1) электрическую прочность более высокую, чем другие участки тракта;
- 2) постоянное переходное ослабление в полосе рабочих частот;
- 3) высокую направленность в полосе рабочих частот;
- 4) минимальный собственный КСВ.

Поскольку для устройства защиты важна надежность результата измерения, целесообразно оценить максимальную погрешность выделения отраженной волны направленным ответвителем.

Рассмотрим упрощенную схему распределения волн в плечах ответвителя (рис. 2). Индекс указывает, в каком плече волна распространяется и из какого плеча она поступила. Мощности волн связаны между собой следующими соотношениями

$$\begin{aligned} P_{22} &= P_{11} |\Gamma_2|^2, & P_{31} &= P_{11} K_c K_d; \\ P_{41} &= P_{11} K_c, & P_{32} &= P_{22} K_c; \\ P_{42} &= P_{22} K_c K_d, & P_{34} &= P_{44} |\Gamma_4|^2; \\ K_c &= \frac{P_{41}}{P_{11}}; & K_d &= \frac{P_{31}}{P_{41}}, \end{aligned}$$

где Γ_2, Γ_4 — коэффициенты отражения плеч 2 и 4.

Направленность ответвителя D и переходное ослабление C определяются из выражений

$$D = 10 \lg \frac{1}{K_d}; \quad (2)$$

$$C = 10 \lg \frac{1}{K_c}. \quad (3)$$

Выражение для погрешности выделения отраженной мощности P_{22} в плече 3 ответвителя имеет вид

$$\delta P_{22} = \frac{P_{33} - P_{32}}{P_{32}}. \quad (4)$$

Погрешность будет максимальной, когда

$$P_{33} - P_{32} = P_{34} + P_{31} \text{ и } P_{44} = P_{41} + P_{42}.$$



Рис. 2. Распределение волн в направленном ответвителе.

Тогда выражение (4) принимает вид

$$\delta P_{22\max} = \frac{K_d + |\Gamma_4|^2 + K_d |\Gamma_2|^2 |\Gamma_4|^2}{|\Gamma_2|^2} \approx \frac{K_d + |\Gamma_4|^2}{|\Gamma_2|^2}. \quad (5)$$

Пользуясь формулой (5), можно определить необходимые значения направленности ответвителя и модуля коэффициента отражения нагрузки плеча 4 при заданных значениях модуля коэффициента отражения нагрузки генератора (плеча 2) и погрешности измерения отраженной мощности.

Требования к собственной направленности ответвителя можно снизить выбрав модуль и фазу коэффициента отражения нагрузки в плече 4 такими, чтобы волна P_{34} скомпенсировала волну P_{31} .

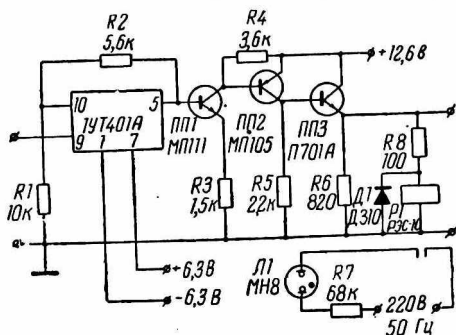


Рис. 3. Пороговая схема.

В устройствах защиты нецелесообразно применять ответвители с отверстиями связи в широкой стенке волновода, значительно снижающими электрическую прочность.

В детекторе рассматриваемого устройства применен СВЧ-диод типа Д604. Для получения наибольшей помехоустойчивости, ста-

бильности коэффициента передачи при изменении температуры и смене диодов используется линейная часть характеристики диода.

Температурная погрешность может быть значительно уменьшена выбором сопротивления нагрузки детектора по постоянному току с учетом значений прямого и обратного сопротивлений диода в интервале рабочих температур, а также включением в нагрузку детектора терморезистора или диода, компенсирующих влияние температуры на параметры детектора.

Погрешность от смены диодов может быть несколько снижена калибровкой устройства путем подачи на детектор сигнала переменного тока низкой частоты. При этом к выходу детекторной головки подключается конденсатор такой емкости, чтобы угол отсечки имел то же значение, что и на СВЧ. Детекторная головка должна быть хорошо согласованной.

Пороговая схема, приведенная на рис. 3, состоит из триггера на основе микросхемы 1УТ401А и усилителя мощности на транзисторах ПП1, ПП2, ПП3, работающего в ключевом режиме.

Пороговое напряжение определяется из соотношения

$$U_n = \frac{E_n}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \quad (6)$$

(E_n — напряжение насыщения микросхемы).

Срабатывая, пороговая схема выдает сигнал напряжением $+ 10$ в на нагрузке 75 ом. Одновременно реле Р1 подключает неоновую лампочку к сети, сигнализируя о срабатывании устройства защиты. В исходное состояние схема приводится кратковременным снятием напряжения питания с триггера. Быстродействие устройства защиты не более 1 мс.

Экспериментальное исследование макета описанного устройства защиты, предназначенного для включения в волноводные тракты сечением $28,5 \times 12,6$ мм с уровнем мощности до 10 квт,

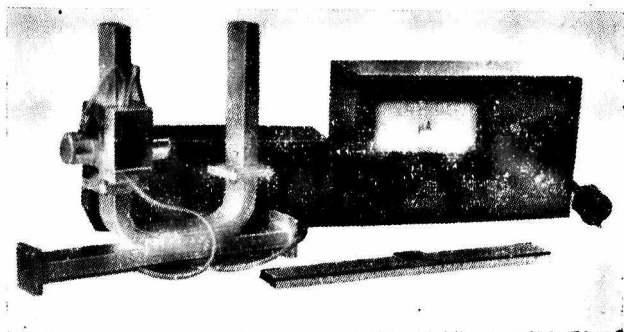


Рис. 4. Общий вид опытного образца.

показало, что погрешность определения предельного уровня отраженной мощности с учетом влияния температуры, смены диодов, колебаний сетевого напряжения, изменения фазы коэффициента отражения нагрузки генератора не превышает 15% , что является приемлемым для практического использования.

Конструктивно опытный образец (рис. 4) выполнен в виде трех блоков: высокочастотного 1, питания 2 и пульта управления 3. Блоки соединяются между собой кабелями. Выносной пульт управления со стрелочным индикатором, переключателем «работа — контроль», кнопкой «сброс», лампочкой сигнализации «авария», лампочкой и тумблером «сеть» служит для дистанционного управления работой устройства защиты. В режиме «работа» стрелочный индикатор показывает значение отраженной мощности, в режиме «контроль» — уровень сигнала защиты.

Испытания опытного образца позволяют сделать вывод о целесообразности использования устройств защиты в мощных трактах генераторов СВЧ. Очевидно, что реализованный нами принцип защиты может быть распространен на другие типы трактов, уровни мощности и допустимые отражения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стейн Л. Ф. Универсальный высокочастотный прибор для измерения мощности и КСВН.— «Электроника», 1963, № 13, с. 32—35.
2. Грей Л., Грехем Р. Радиопередатчики. М., «Связь», 1965. 480 с.
3. Муфель В. Б. Схема защиты СВЧ генератора от пробоев в волноводном тракте.— «Радиотехника», М., 1970, т. 25, № 5, с. 96—98.