

УДК 621.373

Е. П. ВТОРОВ, канд. техн. наук

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ
СВЧ-ГЕНЕРАТОРА**

В процессе настройки генератора СВЧ-радиоимпульсов большой мощности приходится выводить его на резонансную частоту нагрузки, чтобы передать в нагрузку максимальную энергию. Использование общепринятых наиболее чувствительных систем автоматической настройки частоты (АНЧ) предусматривает подсоединение к системе СВЧ-генератор — нагрузка

измерительного генератора и измерение фазы прошедшей или отраженной от нагрузки волны [1]. Значение и знак отклонения фазы от частоты, соответствующей резонансу, определяют значение и направление регулирующего воздействия. Однако реализация такой системы затруднена, так как большая мощность импульса во время передачи энергии вызывает необходимость защиты измерительного генератора.

В рассматриваемом случае возможно использование метода АНЧ, основанного на принципе экстремального регулирования [2]. При этом защита генератора не нужна и установленное значение частоты не задается. Настройка частоты генератора происходит таким образом, чтобы обеспечить минимум модуля коэффициента отражения энергии от нагрузки Γ . В соответствии с законом отражения электромагнитной энергии, распространяющейся в волноводе,

$$\Gamma = \frac{(G_1 - G_2)^2 + B^2}{(G_1 + G_2)^2 + B^2}. \quad (1)$$

Здесь G_1, G_2 — активные проводимости волновода и нагрузки, обусловленные потерями энергии; B — реактивная проводимость нагрузки. При согласованной нагрузке имеем $G_1 \approx G_2$, $|B| \ll |G_2|$, а следовательно, в результате дифференцирования получаем

$$\frac{d\Gamma}{d\omega} = \frac{B}{2G_2^2} \frac{dB}{d\omega}. \quad (2)$$

Так как

$$B = \frac{Q2G}{\omega_0} (\omega - \omega_0),$$

где Q — добротность нагрузки; ω_0 — резонансная частота нагрузки, для первого приближения зависимости приращения модуля коэффициента отражения $\Delta\Gamma$ от приращения частоты $\Delta\omega$ справедливо выражение

$$\Delta\Gamma = 2 \frac{Q^2}{\omega_0} \Delta\omega^2. \quad (3)$$

Таким образом, объект управления в рассматриваемом случае имеет унимодальную характеристику, описываемую выражением (3), и управление может быть обеспечено системой экстремального регулирования.

Чтобы осуществить экстремальное регулирование, необходимо реализовать соответствующий алгоритм [3]. Последний гарантирует выход рабочей точки на характеристике объекта управления в рабочую зону за определенное количество шагов n . При этом частота изменяется по закону

$$\omega_n = \omega_1 + \sum_{i=1}^n (-1)^{i+1} \Delta\omega.$$

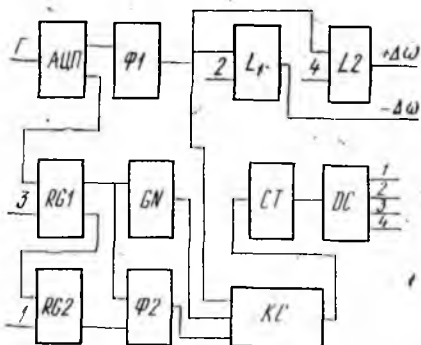
Здесь ω_1 — начальная частота; $\Delta\omega$ — изменения частоты, соответствующие одному шагу работы экстремального регулятора.

Работа алгоритма заключается в том, что на каждом i -м шаге определяется знак отношения приращений $\Delta\Gamma/(\Delta\omega)$. В соответствии со знаком принимается решение о направлении шага $+\Delta\omega$ или $-\Delta\omega$. Предусмотрен блок, который отключает регулятор при выполнении требований, т. е. когда модуль коэффициента отражения меньше допустимого.

В процессе функционирования регулятора рабочая точка на характеристике объекта управления, отражающей зависимость модуля коэффициента отражения от частоты, занимает положения, соответствующие начальному (Γ_0), первому (Γ_1), второму (Γ_2) и т. д. шагу. При этом вероятность того, что регулятор сделает неверный первый шаг (положение точки Γ_1), равна 0,5. Размеры рабочей области, соответствующие положению точек ($\Gamma_3, \Gamma_7, \dots$), ($\Gamma_4, \Gamma_6, \Gamma_8, \Gamma_{10}, \dots$), ($\Gamma_5, \Gamma_9, \dots$), определяются чувствительностью измерителя Γ и точностью вычисления разностей $\Gamma_{i+1} - \Gamma_i$.

Структурная схема алгоритма (рисунок) состоит из двух блоков: вычислителя и блока управления. Вычислитель работает следующим образом. Преобразованный в напряжение сигнал Γ поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). По команде, подаваемой по шине 3, сигнал, снимаемый с АЦП, заносится в регистр $RG1$. При этом, если $\Gamma > \Gamma_{\text{мин}}$, устанавливается флаг $\Phi 1$, открываются клапаны $L1, L2$, подготавливающие регулятор к изменению частоты на значение $+\Delta\omega$ или $-\Delta\omega$. По команде, подаваемой по шине 1, содержимое регистра заносится в аккумулятор $RG2$, флаг $\Phi 2$ устанавливается в зависимости от знака разности между содержимым регистра $RG1$ и аккумулятора $RG2$. По шинам 2, 4 в зависимости от знака $\Phi 2$ поступает сигнал от блока управления. Появление сигнала на шине 2 приводит к увеличению частоты, а появление его на шине 4 дает обратный эффект. Сигнал, снимаемый с $\Phi 1$, запускает также блок управления, который находится в ожидании импульса СВЧ-генератора. Запуск блока управления обеспечивается при условии $\Gamma > \Gamma_{\text{мин}}$.

Блок управления служит для выдачи сигналов на шины 1—4 в зависимости от условий работы и содержит генератор тактовых импульсов GN , счетчик команд CT , дешифратор DC ,



комбинационные схемы (КС), обеспечивающие анализ сигналов $\Phi 1, \Phi 2$.

Особенность работы рассматриваемого регулятора заключается в том, что операция занесения кода из АЦП в регистр $RG1$ выполняется после прихода радиоимпульса через интервал времени, в худшем случае равный времени готовности регулятора. Для рассматриваемой структурной схемы регулятора время его готовности составляет $2T$, где T — период повторения импульсов генератора GN . В связи с этим необходимо увеличить продолжительность входного по отношению к регистру $RG1$ импульса, обеспечив такую его длительность τ , при которой выполняется условие $\tau > 2T$. Однако параметр τ не должен превышать интервала времени между соседними радиоимпульсами T_1 регулируемого СВЧ-генератора, т. е. в результате необходимо выполнить условие $2T < \tau + T_1$. При значительной скважности S радиоимпульсов увеличение продолжительности входного импульса может быть осуществлено с помощью простого пикового детектора, постоянная времени Π которого удовлетворяет условию $\Pi \approx 0,1 S \tau_1$, где τ_1 — длительность радиоимпульса.

Таким образом, рассматриваемый экстремальный регулятор при определенных условиях, зависящих от соотношения между его тактовой частотой и временными параметрами радиоимпульсов, обеспечивает возможность автоматической настройки частоты генератора радиоимпульсов практически без ограничений диапазона и мощности этого генератора.

Список литературы: 1. Капанов М. Р., Левин В. А. Автоматическая подстройка частоты. М., 1962. 415 с. 2. Каганов В. И. Системы автоматического регулирования в радиопередатчиках. М.; 1969. 232 с. 3. Растринин Л. А. Системы экстремального управления. М., 1974. 630 с.

Поступила в редакцию 06.06.85.