

## О ПРИМЕНЕНИИ АВТОГЕНЕРАТОРА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Ф. И. ПЕРЕГУДОВ

(Представлено профессором доктором физ.-мат. наук Кессенихом В. Н.)

В радиолокационных станциях метрового диапазона основным типом передатчика является импульсный автогенератор. Такое широкое применение автогенераторы получили благодаря простоте конструкции и эксплуатации.

Характерной чертой подобного передатчика является многоконтурность, практически неизбежная в метровом диапазоне. В многоконтурных схемах облегчается плавная регулировка режима работы генератора.

Большинство автогенераторов выполнено по двухтактной схеме. Благодаря совместной работе двух ламп удается получать мощность автоколебаний вдвое большую, чем в одноконтурной схеме.

В качестве колебательных систем в двухтактных схемах используются двухпроводные линии, в связи с чем облегчается связь с симметричной нагрузкой.

Однако при всех своих преимуществах автогенераторы обладают рядом серьезных недостатков. Наиболее важным из них является недостаточно высокая стабильность частоты.

При эксплуатации радиолокационных станций метрового диапазона наблюдается непостоянство несущей частоты, вызываемое изменением режима работы передатчика (например, при круговом поиске), сменой ламп и т. д. Как известно, полная нестабильность частоты генератора зависит не только от точности поддержания частоты во времени, но и от точности, с которой может быть установлена нужная частота. Снижение импульсной эмиссии генераторных ламп в процессе работы вызывает необходимость периодической перестройки передатчика с целью повышения излучаемой мощности. В результате перестройки меняется не только мощность, но и частота.

Импульсный режим работы автогенератора вызывает дополнительную нестабильность несущей частоты. Наличие в схеме нескольких собственных частот, а также изменение динамических емкостей ламп вызывает во время установления амплитуды импульса переходный процесс по частоте.

В связи с уплотнением метрового диапазона и расширением круга задач, решаемых радиолокационной техникой, повышается требование к стабильности частоты радиолокационных передатчиков как в течение длительных отрезков времени, так и за время излучения одного импульса.

Это заставляет более подробно рассмотреть причины неустойчивости частоты импульсных автогенераторов.

Для анализа можно использовать схему импульсного двухтактного двухконтурного автогенератора, собранного по схеме с общим анодом на двух лампах типа ГИ—17 (рис. 1). Как известно, в схеме

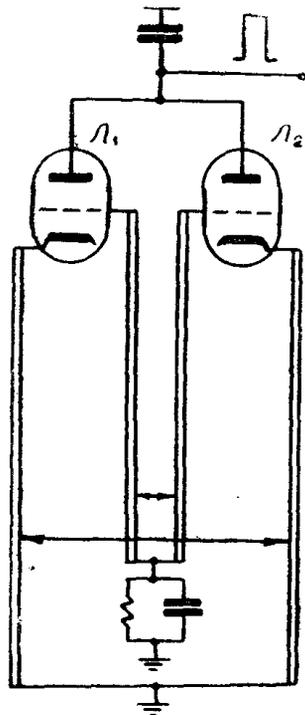


Рис. 1. Схема двухтактного импульсного автогенератора с заземленным анодом

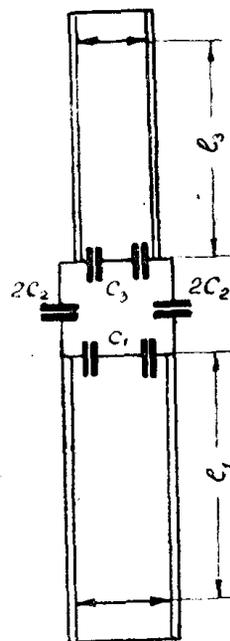


Рис. 2. Эквивалентная колебательная система автогенератора

с общим анодом работа происходит на верхней частоте связи по схеме трехточечного автогенератора с емкостной обратной связью. В мощных автогенераторах используется сильная связь между контурами, когда емкости  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  одного порядка, поэтому контуры сильно расстроены относительно частоты автоколебаний. При сильной расстройке контура его активными потерями можно пренебречь, и поэтому собственные частоты системы (рис. 2) определяются из условия:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 0, \quad (1)$$

где  $x_1$  и  $x_3$  — реактивные сопротивления контуров 1 и 3;  
 $x_2$  — сопротивление связи.

Заменяя  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  проводимостями  $y_1$ ,  $y_2$  и  $y_3$  и вводя проводимости парциальных контуров  $y_1'$  и  $y_3'$ <sup>1)</sup>, получим

$$y_1' y_3' - y_2^2 = 0, \quad (2)$$

<sup>1)</sup> Парциальный контур — контур, остающийся в схеме при замыкании другого контура.

где

$$y'_1 = \omega C'_1 - \frac{1}{\rho_1} \operatorname{ctg} \frac{\omega l_1}{c},$$

$$y'_3 = \omega C'_3 - \frac{1}{\rho_3} \operatorname{ctg} \frac{\omega l_3}{c},$$

$$C'_1 = C_1 + C_3,$$

$$C'_3 = C_2 + C_3,$$

$c$  — скорость света;

$\omega$  — частота автоколебаний;

$\rho_1, \rho_3$  — волновое сопротивление катодной и сеточной линий;

$l_1, l_3$  — длина катодной и сеточной линий.

Пользуясь методом расчета двухконтурных генераторов на линиях предложенным С. И. Евтяновым [1], оценим точность установки частоты при изменении коэффициента обратной связи.

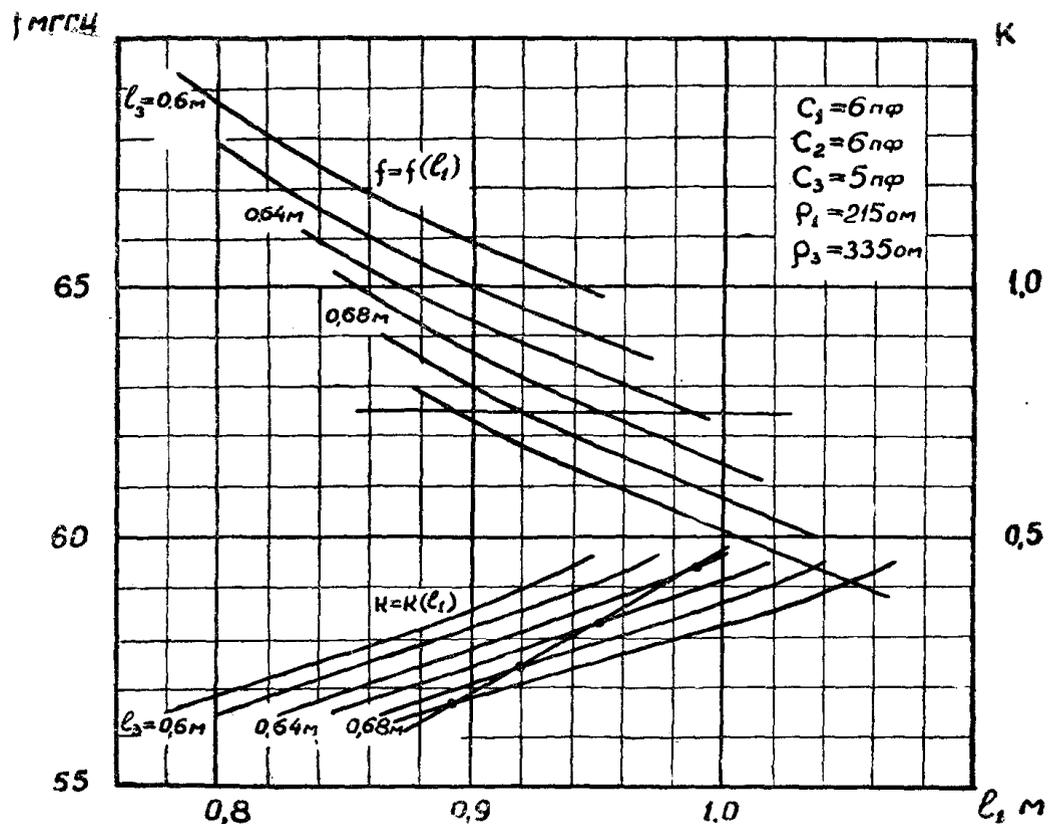


Рис. 3. Зависимость частоты автоколебаний и коэффициента обратной связи от длины катодной линии ( $l_1$ ), при постоянной длине сеточной линии ( $l_3$ )

На семействе кривых, изображенных на рис. 3, показана зависимость частоты автоколебаний и коэффициента обратной связи от длины катодной линии. В качестве параметра выбрана длина сеточной линии. Из графика следует, что для регулировки коэффициента обратной связи при постоянной частоте нужно одновременно перестраивать обе линии.

Например, на частоте  $f = 62,5$  мггц для изменения коэффициента обратной связи  $k$  от 0,15 до 0,45 нужно изменить длину катодной линии  $l_1$  на 0,10 м, а длину сеточной линии  $l_3$  на 0,06 м.

Настройка передатчика практически проводится с помощью волномера и индикатора уровня мощности. Точность установки частоты будет определяться точностью используемого волномера, шириной спектра радиоимпульса, излучаемого передатчиком, и точностью установки закорачивающих перемычек линий.

Относительная эффективная погрешность установки частоты может быть определена, как

$$\delta = \sqrt{\left(\frac{\frac{\partial f}{\partial l_1} \Delta l_1}{f}\right)^2 + \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial l_3} \Delta l_3}{f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f_1}{f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f_2}{f}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $\Delta l_1, \Delta l_3$  — неточность установки закорачивающих перемычек;  
 $\Delta f_1$  — абсолютная погрешность измерения волномера;  
 $\Delta f_2$  — дополнительная абсолютная погрешность измерения за счет наличия спектрочастот.

Для реальных условий  $\delta$  составляет величину порядка 0,2–0,6%.

Заметим, что в соответствии с международным регламентом связи с 1953 года допустимые отклонения частоты для фиксированных, подвижных и радионавигационных станций в диапазоне 30–100 мггц установлены равными 0,02%.

Следовательно, стабильность частоты автогенераторов на длинных линиях является недостаточной.

В импульсных двухконтурных автогенераторах наблюдается дополнительная нестабильность несущей частоты; вызываемая нестационарными процессами в начале и в конце импульса. В работе М. В. Благовещенского [2] указывается, что относительное изменение частоты во время переходного процесса достигает нескольких процентов. Однако в этой работе не учитывается влияние емкости, обусловленной пространственным зарядом лампы (динамическая емкость). Величина динамической емкости лампы определенным образом связана с крутизной характеристики лампы [3]. Во время установления амплитуды напряжения в автогенераторе с изменением напряжения на сетке лампы будет меняться крутизна, а следовательно, и динамическая емкость лампы.

Изменение динамической емкости вызывает переходный процесс по частоте.

В случае использования радиолокационных станций для точного определения расстояний и для выделения подвижных целей применение импульсных автогенераторов в качестве передатчиков ограничивается из-за имеющего места нестабильного запаздывания фронта высокочастотного импульса относительно фронта модулирующего импульса.

Это явление имеет место не только в дециметровом диапазоне [4], но и на метровых волнах [5].

При сильной связи между контурами двухконтурный автогенератор можно рассматривать приближенно как одноконтурный. В этом случае решение нелинейного дифференциального уравнения, описывающего переходный процесс в автогенераторе, методом медленно меняющихся амплитуд при аппроксимации характеристики лампы укороченным полиномом третьей степени позволяет определить время установления до уровня 0,9 от стационарного значения [6]

$$t_{ycm} = \frac{Q}{\omega} \frac{1}{k S_0 R_{oe} - 1} \ln \left[ 4 \left( \frac{A_{cm}}{A_0} \right)^2 - 4 \right], \quad (4)$$

где  $\omega$  — частота автоколебаний;  
 $Q$  — добротность контура;  
 $R_{oe}$  — эквивалентное сопротивление контура;  
 $S_0$  — крутизна лампы в рабочей точке;  
 $A_{cm}$  — стационарная амплитуда автоколебаний;  
 $A_0$  — начальная амплитуда автоколебаний;  
 $k$  — коэффициент обратной связи.

Из формулы (4) следует, что время установления при прочих равных условиях зависит от начальной амплитуды автоколебаний.

В зависимости от схемы и условий работы автогенератора автоколебания в схеме возникают либо от электрических толчков при включении источников питания, либо за счет электрических флюктуаций в контуре. Для рассматриваемой нами схемы амплитуда собственных колебаний в сеточном контуре к моменту возникновения автоколебаний для частоты  $f = 60$  мГц и длительности переднего фронта модулирующего импульса  $\tau_{\phi} = 0,5$  мксек составляет 50 — 100 мВ [4].

Эффективное напряжение шумов в сеточном контуре можно определить как

$$U_{шэф} = \frac{3,56}{C_{ag}} \sqrt{\frac{I_g}{\Delta f}} \text{ [мВ]}, \quad (5)$$

где  $I_g$  — ток сеточной цепи в ма;  
 $\Delta f$  — полоса пропускания шумов контура в мГц;  
 $C_{ag}$  — емкость контура в пф.

Для случая, когда  $I_g = 5,0$  а,  $C_{ag} = 5$  пф.,  $\Delta f = 0,5$  мГц

$$U_{шэф} = 70 \text{ мВ.}$$

Максимальные шумовые выбросы могут значительно превышать эффективное напряжение [4]. Таким образом, в рассмотренном нами случае автоколебания в генераторе могут возникнуть под влиянием шумового напряжения. При запуске автогенератора напряжением шумов время установления стационарной амплитуды колебаний при импульсной работе будет флюктуировать около своего наименьшего значения.

В [7] показано, что разброс времени установления составляет более чем двукратную величину постоянной времени контура (с учетом шунтирования контура лампой).

Согласно [5] из-за наличия нестационарной задержки времени установления автогенератор оказывается непригодным для измерения скорости дрейфа метеорных следов (случай, когда требуется точное измерение расстояния).

Сокращение времени установления достигается путем применения высокочастотного подвозбуждения автогенератора. Возможно также подвозбуждение и импульсами постоянного напряжения, начинающимися несколько раньше основного модулирующего импульса [4].

Таким образом, в случаях, когда от радиолокационной станции требуется повышенная стабильность частоты и высокая точность

измерения расстояний, импульсные автогенераторы оказываются мало пригодными для использования в качестве передатчиков радиолокационных станций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Евтянов С. И. Радиопередающие устройства, Связьиздат, Москва, 1950.
  2. Благовещенский М. В. Переходные процессы в автогенераторах, диссертация на соискание ученой степени кандидата техн. наук, Москва, МЭИ, 1954.
  3. Шитиков Г. Т. Влияние емкости пространственного заряда и нелинейности ламповой характеристики на частоту автогенератора, Радиотехника № 12, 1955.
  4. Алексеев Н. Ф. Исследование процесса установления колебаний в автогенераторе дециметрового диапазона волн, диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук, Москва, МАИ, 1955.
  5. Greehow J. S. A radio echo method for the investigation of atmospheric winds at altitudes of 80 to 100 km. Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Vol 2, № 5 1952.
  6. Ицхоки Я. С. Нелинейная радиотехника, „Советское радио“, Москва, 1955.
  7. Гоноровский И. С. О флуктуационном характере установления колебаний автогенераторе. Доклады АН СССР, № 5, 1954.
-