

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР-КАЛИБРАТОР НА ТРАНЗИСТОРАХ

Ю. М. ФОМИЧЕВ, Ю. Н. ВАРАКУТА

(Представлена научным семинаром кафедры радиотехники)

В связи с новыми разработками широкополосных преобразователей переменного тока в постоянный потребовалось расширение частотного диапазона аппаратуры для их контроля. В настоящее время настоятельно требуется простая в обращении с высокими метрологическими свойствами аппаратура (типа ГК-10 [1]), с расширенным до 1 Мгц частотным диапазоном. Схемные решения, использованные в ГК-10 [1], на частотах выше 100 ÷ 200 кгц оказываются непригодными из-за резкого возрастания нелинейных искажений. Поэтому в новой разработке широкополосного генератора-калибратора ГК-11 пришлось изменить как функциональную, так и электрическую схему, хотя принцип построения калибратора в виде статической системы авторегулирования с компаратором действующего значения в петле обратной связи [2] остался прежним.

ГК-11 состоит из двух генераторных блоков: генератора низких частот — 10 гц ÷ 30 кгц и генератора высоких частот — 30 кгц ÷ 1 Мгц, которые работают в зависимости от выбранной частоты и общей петли автостабилизации и калибровки выходного уровня (рис. 1). В низкочастотной части ГК-11 (до 30 кгц) используются, без особых изменений, схемные решения, принятые в ГК-10 [1].

На частотах выше 30 кгц применена схема двухкаскадного LC-автотенератора с индуктивной положительной обратной связью.

Из-за высокого выходного сопротивления ВЧ-генератора\*) для улучшения его нагрузочной характеристики необходим большой коэффициент передачи в петле стабилизации действующего значения выходного уровня, а это требует обеспечения запаса по устойчивости.

Для снижения порядка системы в ней регулирующее устройство выполнено на полевом транзисторе с изолированным затвором (безынерционное звено), но этого оказывается недостаточно. Рассмотрим структурную схему высокочастотного генератора совместно с петлей стабилизации действующего значения выходного уровня (рис. 2), где

$K_1(p)$ ,  $K_2(p)$  — передаточная функция первого и второго каскадов усилителя автотенератора,

$K_{фп}(p)$  — передаточная функция фотоэлектрического преобразователя компаратора.

\*) В принятой схеме нельзя ввести отрицательную обратную связь с большой эффективностью.

$K_j$  — коэффициент передачи усилителя ошибки,  
 $K_p(I, U_y)$  — коэффициент передачи регулирующего устройства,  
 $K_n$  — коэффициент передачи цепи положительной обратной связи.

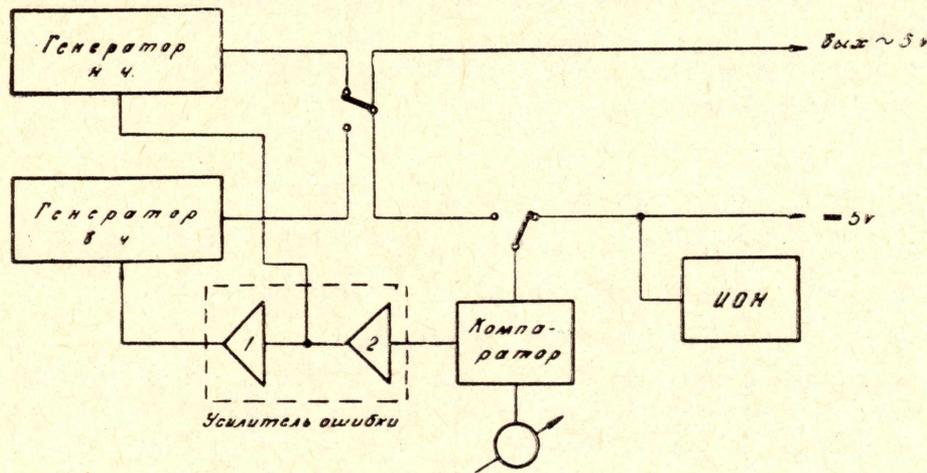


Рис. 1

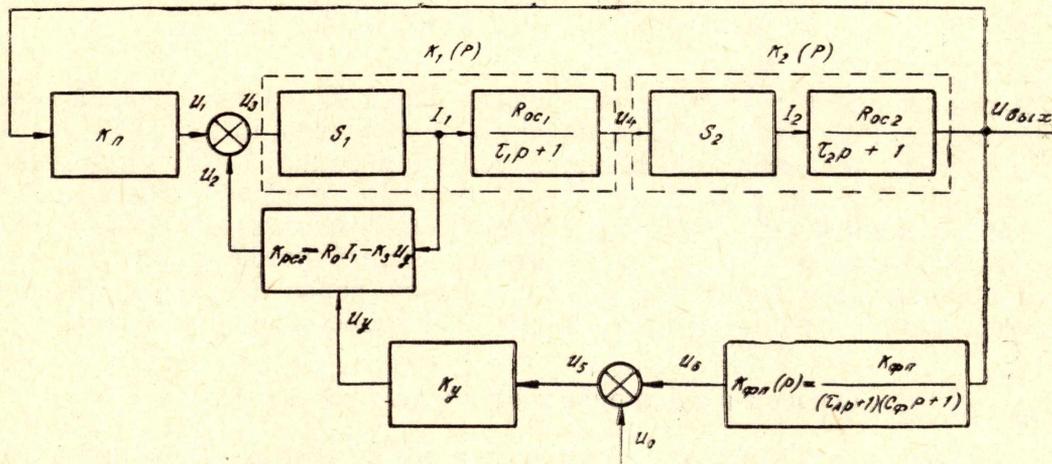


Рис. 2

Исходя из этой эквивалентной схемы, запишем характеристическое уравнение в виде

$$\begin{aligned}
 & (1 + S_1 R_0) \tau_1 \tau_2 \tau_l \tau_\phi p^4 + (1 + S_1 R_0) [(\tau_1 + \tau_2) \tau_l \tau_\phi + \tau_1 \tau_2 (\tau_l + \tau_\phi)] p^3 + \\
 & + \{[(1 + S_1 R_0) - K_1 K_2 K_n] \tau_l \tau_\phi + (1 + S_1 R_0) [(\tau_1 + \tau_2) (\tau_l + \tau_\phi) + \\
 & + \tau_1 \tau_2]\} p^2 + \{[(1 + S_1 R_0) - K_1 K_2 K_n] (\tau_l + \tau_\phi) + \\
 & + (1 + S_1 R_0) (\tau_1 + \tau_2) p + [(1 + S_1 R_0) - K_1 K_2 K_n + \\
 & + K_1 K_2 K_s K_y K_{фп}] = 0,
 \end{aligned}$$

где

$\tau_1, \tau_2$  — постоянные времени первого и второго резонансных каскадов;  
 $\tau_l, \tau_\phi$  — постоянные времени лампы накаливания и фоторезистора фотозлектрического преобразователя компаратора;

$S_1$  — крутизна транзистора первого каскада;

$R_0$  — активное сопротивление регулирующего транзистора в рабочей точке.

$K_s = \frac{dR/R}{dU/U}$  — крутизна регулирования.

По критерию Рауса-Гурвица система, описываемая уравнением четвертого порядка, устойчива при выполнении следующих условий [3,4]:

$$a_1 > 0, a_3 > 0, a_4 > 0, a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1 a_4^2 > 0. \quad (1)$$

В рассматриваемом случае

$$a_0 = (1 + S_1 R_0) \tau_1 \tau_2 \tau_l \tau_\phi,$$

$$a_1 = (1 + S_1 R_0) [(\tau_1 + \tau_2) \tau_l \tau_\phi + \tau_1 \tau_2 (\tau_l + \tau_\phi)],$$

$$a_2 = [1 + S_1 R_0 - K_1 K_2 K_n] \tau_l \tau_\phi + (1 + S_1 R_0) [(\tau_1 + \tau_2) (\tau_l + \tau_\phi) + \tau_1 \tau_2],$$

$$a_3 = (1 + S_1 R_0 - K_1 K_2 K_n) (\tau_l + \tau_\phi) + (1 + S_1 R_0) (\tau_1 + \tau_2),$$

$$a_4 = (1 + S_1 R_0) - K_1 K_2 K_n + K_1 K_2 K_s K_y K_{\text{фп}}.$$

Для реального случая  $(\tau_l + \tau_\phi) \gg \tau_1 + \tau_2$  и  $S_1 R_0 \gg 1$ . С учетом этого, разрешая неравенства (1), найдем условие устойчивости и допустимый коэффициент стабилизации:

$$K_n \leq \frac{R_0}{R_{\text{ог}} \cdot K_2}, \quad (2)$$

$$G_{\text{ст}} \leq \frac{1}{2} \frac{\tau_l + \tau_\phi}{\tau_1 + \tau_2} \cdot \frac{[(1 + S_1 R_0) - K_1 K_2 K_n]^2}{1 + S_1 R_0}, \quad (3)$$

где  $G_{\text{ст}} = K_1 K_2 K_s K_y K_{\text{фп}}$ .

Из выражения (3) следует, что чем меньше  $K_n$ , тем больший коэффициент стабилизации можно получить. Уменьшать до нуля  $K_n$  нельзя, так как его величина определяется условием баланса амплитуд автогенератора. В связи с этим цепь положительной обратной связи необходимо выполнить так, чтобы она обеспечивала условие самовозбуждения автогенератора и в то же время имела малый коэффициент передачи по приращениям первой гармоники. Такой характеристикой обладает двусторонний ограничитель на диодах при глубоком ограничении.

### Описание принципиальной схемы

Ранее уже отмечалось, что низкочастотная часть ГК-11 выполнена идентично ГК-10. Высокочастотный генератор представляет собой двухкаскадный избирательный LC-усилитель, выполненный на идентичных высокочастотных транзисторах 2Т602, охваченный положительной обратной связью ( $C_{40}, D_4, D_5, C_{41}$ ) и отрицательными обратными связями по току в каждом каскаде ( $R_{42}, T_{10}$ ) и ( $R_{45}, R_{46}$ ) (рис. 3). Для обеспечения устойчивости положительная обратная связь сделана нелинейной (ограничитель на диодах  $D_4, D_5$ ). Уровень ограничения устанавливается переменными резисторами ( $R_{36}, R_{38}$ ). Глубина отрицательной обратной связи по току в первом каскаде изменяется с помощью полевого транзистора ( $T_{10}$ ) при появлении сигнала рассогласования с выхода дифференциального компаратора ( $ЛН_2 R_{51}, ЛН_3 R_{54}, R_{52}, R_{53}, R_{55}, R_{56}$ ).

Выходной каскад ВЧ-генератора собран по двухтактной схеме ( $T_{11}, T_{12}$ ). Связь с нагрузкой трансформаторная.

### Технические характеристики ГК-II

1. Погрешность установки действующего значения выходного напряжения (5 в) менее 0,05%.

ЧАСТОТА

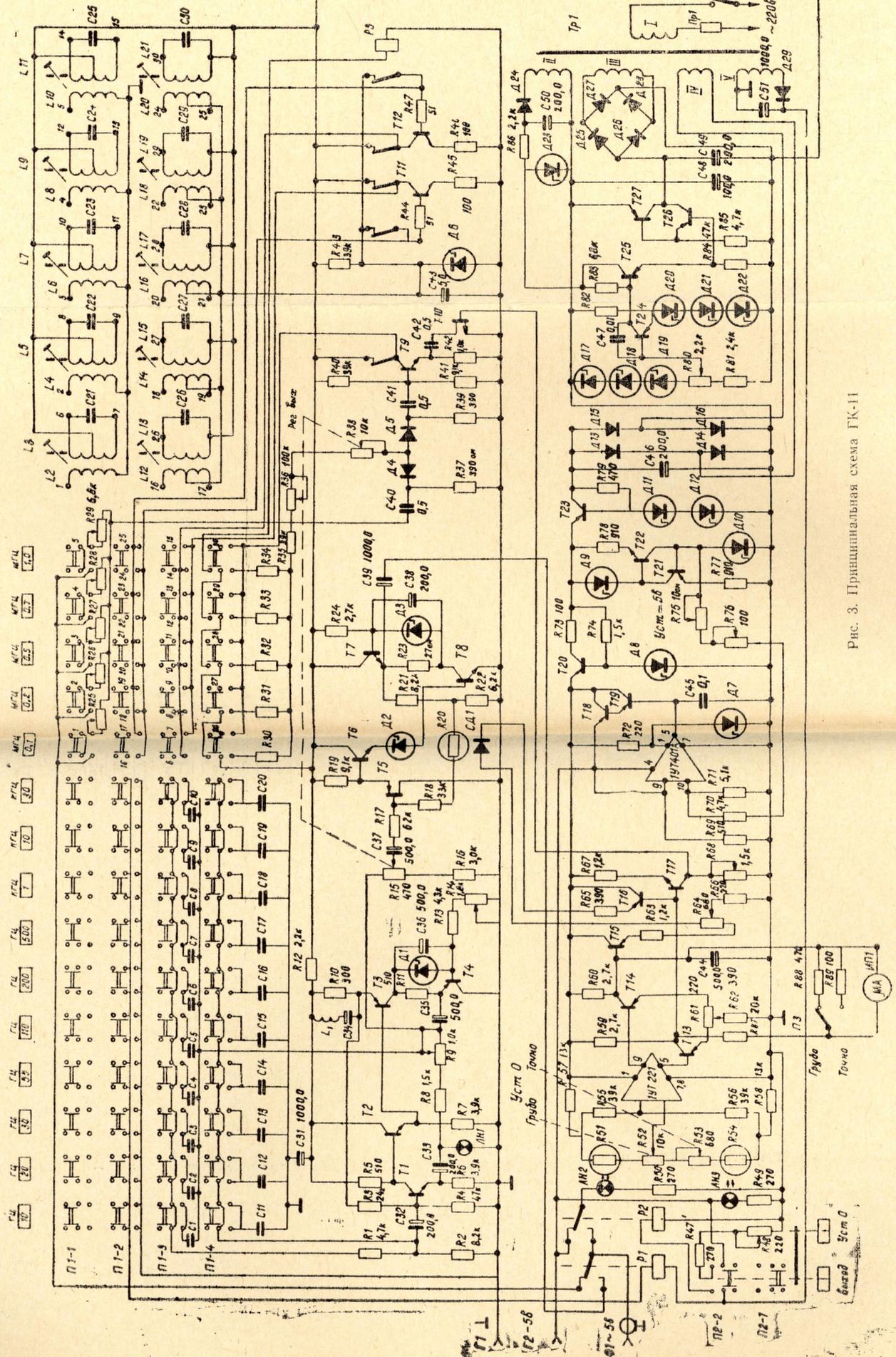


Рис. 3. Принципиальная схема ГК-11

2. Нестабильность выдаваемого напряжения:  
менее 0,01% за 10—15 минут,  
не более 0,1% за 2 часа.
3. Частотный диапазон 10 гц ÷ 1 Мгц (15 фиксированных точек).
4. Нелинейные искажения:  
не более 0,04% на частотах 55 гц ÷ 30 кгц,  
0,01% на частотах 30 кгц ÷ 1 Мгц.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Фомичев, Ю. И. Латонов, А. В. Соколов. Источник калиброванного напряжения ГК-10. Настоящий сборник.
2. М. С. Ройтман, Э. И. Цимбалист, Ю. М. Фомичев. Устройство для получения стабильного, калиброванного по действующему значению напряжения. Авт. свид. № 196114. Бюл. изобретений, 1967, № 11.
3. И. С. Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы. М., «Советское радио», 1971, стр. 296.
4. В. С. Андреев. Теория нелинейных электрических цепей. М., «Связь», 1972, стр. 125.