

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ УХОДОВ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ

Ю. А. Дрягин

Описывается аппаратура для экспериментального изучения технических уходов частоты ламповых генераторов и приводятся результаты измерений. Предложена схема генератора с новым видом связи лампы с контуром, обеспечивающая большую стабильность частоты, чем обычные схемы.

Причины, вызывающие флюктуации частоты лампового генератора, принято делить на естественные (тепловой эффект в контуре и дробовой шум лампы) и на технические [1]. Под последними понимают хаотические изменения параметров лампы и схемы генератора, напряжения источников питания, окружающей температуры и т. п. Флюктуации частоты, вызванные техническими причинами, принято называть техническими уходами частоты.

Флюктуации частоты, вызываемые естественными причинами, изучались рядом авторов (см., например, [2]). Однако решающим фактором, определяющим реальную стабильность частоты любого генератора, являются технические уходы, которые исследованы совершенно недостаточно. Известно лишь, что спектр этих уходов расположен в области весьма низких частот (от 0 до нескольких кгц), и их спектральная плотность увеличивается с понижением частоты.

Задачей данной работы было построение аппаратуры, позволяющей сравнительно просто изучать технические уходы частоты ламповых генераторов. С этой аппаратурой были исследованы генераторы с частотой $20 \div 200 \text{ мгц}$. При проведении экспериментов внешние воздействия на схему генератора были сведены к минимуму, так что фактически измерялись технические уходы частоты, обусловленные в основном нестабильности параметров лампы.

1. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Для исследования естественных флюктуаций частоты разработан метод с применением линии задержки [2]. Однако такой способ для измерения технических уходов неоправданно сложен и мало удобен. Мы применили другой метод, который заключается в следующем.

Высокочастотные колебания исследуемого генератора сбиваются в смесителе либо с основным колебанием, либо с гармоникой кварцевого гетеродина. В этом случае флюктуации получаемой на выходе смесителя частоты будут совпадать с уходами частоты исследуемого генератора (нестабильностью кварцевого генератора можно пренебречь). Далее колебания с разностной частотой (от 10 до 40 кгц) поступают на частотный детектор, который построен по принципу электронного частотомера (с использованием заряда

и разряда емкости)*. Для исключения влияния амплитудной модуляции на его входе стоит эффективный ограничитель амплитуды.

Напряжение с выхода частотомера подается на фильтр низких частот и усилитель с общей полосой пропускания от 0,1 гц до 2 кгц. Таким образом, напряжение на выходе устройства пропорционально девиации частоты исследуемого генератора (в указанной полосе 0,1 ÷ 2000 гц).

Применение на выходе анализатора спектра позволяет определять спектральную плотность уходов частоты исследуемого генератора, а осциллографа—качественно изучать процесс. Метод исследования ясен из блок-схемы, приведенной на рис. 1.

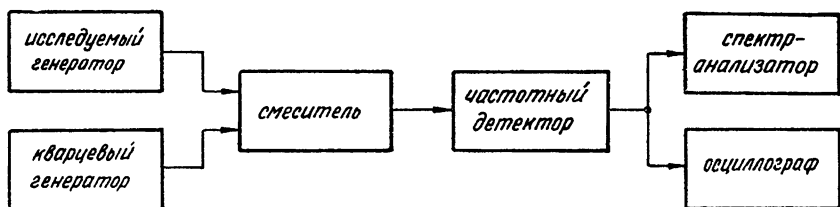


Рис. 1. Блок-схема измерения технических уходов частоты генератора.

Пороговая чувствительность устройства, лимитируемая внутренними шумами аппаратуры, была получена порядка 0,1 гц. Влияние амплитудной модуляции таково, что изменение амплитуды сигнала на входе устройства на 10% эквивалентно по выходному напряжению уходу его частоты на 1 гц.

По описанной методике испытывались генераторы в диапазоне 20 ÷ 200 мгц. Основные измерения проводились с генератором на 190 мгц, собранным на пентоде 6Ж1П по обычной схеме с контуром в аноде.

Первые же опыты показали, что из-за недостаточно доброкачественных деталей схемы генераторов имели место бессистемные скачки частоты. Проявлялись они в виде скачков напряжения на выходе прибора и легко наблюдались на экране контрольного осциллографа. Подчеркнем, что причиной этих скачков была недостаточная устойчивость параметров второстепенных элементов схемы, таких, как, например, блокировочные емкости, контакты в ламповых панелях и т. п. Поэтому какие-либо разумные закономерности уходов частоты генераторов можно было изучать лишь после тщательного подбора доброкачественных деталей для всей схемы генератора. После того, как мы получили генераторы, лишённые таких нестационарных перескоков частоты, были проведены измерения спектральной плотности выходного напряжения при помощи анализатора**.

Показания анализатора можно считать пропорциональными $\sqrt{w, (F)}$, где ν —уход круговой частоты колебания генератора, $w, (F)$ —спектральная плотность среднего квадрата этих уходов, F —частота наблюдения в герцах. После соответствующей калибровки всей аппаратуры в целом были получены экспериментальные значения $w, (F)$, изображенные на рис. 2 точками.

* Такие частотные детекторы находят сейчас широкое применение в измерителях частотной модуляции.

** Применялся анализатор с диапазоном от 10 гц до 1600 гц и полосой 4 гц.

Из рисунка ясно, что значения $\omega_v(F)$ удовлетворительно аппроксимируются законом

$$\omega_v(F) = a/F^b, \quad (1)$$

где $b \approx 1$. Спектральная зависимость подобного типа характерна для фликкер-шума электронных ламп.

Знание $\omega_v(F)$ позволяет определить ширину спектральной линии генератора Δf . Для обычно наблюдаемого на практике случая, когда $\omega_v(F)$ резко возрастает с понижением частоты наблюдения, Δf приближенно равна (см. [3]):

$$\begin{aligned} \Delta f &\cong \frac{\sqrt{2}}{\pi} \left[\int_0^{\infty} \omega_v(F) dF \right]^{1/2} = \\ &= \frac{\sqrt{2v^2}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \delta v, \end{aligned} \quad (2)$$

где δv — среднеквадратичный уход частоты.

Характер зависимости $\omega_v(F)$ при F , стремящейся к нулю, может быть экспериментально изучен лишь при неограниченном увеличении длительности опыта. Ограничиваясь рассмотрением уходов частоты, время корреляции которых не превышает примерно секунды, заменим нижний предел интегрирования на 1 гц. Физически это означает, что при такой замене полоса спектральной линии генератора и соответственно среднеквадратичный уход его частоты определяются за конечное время наблюдения (~ 1 сек). Вместе с тем, заменяя верхний предел интегрирования на 2 кгц (что не внесет существенной ошибки, так как с ростом частоты $\omega_v(F)$ спадает быстрее, чем $1/F$), из (2) получаем: $\delta v/2\pi = 4,3$ гц, $\Delta f = 12$ гц.

Затем в исследуемом генераторе была ослаблена связь лампы с контуром за счет подключения анода лампы к части витков индуктивности (с коэффициентом ослабления связи $m = 0,4$) и увеличения соответственно емкости контура для получения прежней частоты колебаний. Экспериментальные значения $\omega_v(F)$ для этого случая изображены на графике рис. 2 крестиками. Здесь для $\omega_v(F)$ также пригодна аппроксимация выражением (1); из (2) следует, что при этом $\delta v/2\pi = 0,7$ гц и $\Delta f = 2$ гц.

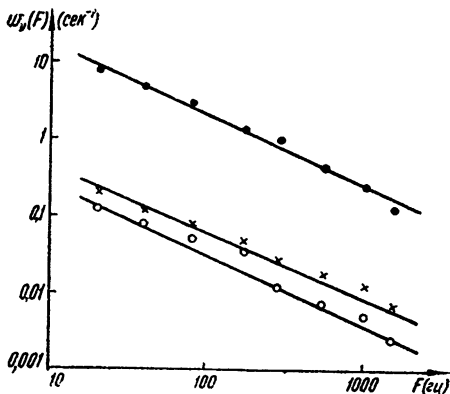


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности флюктуаций частоты генераторов ω_v от частоты F .

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как уже указывалось во введении, можно предположить, что основной причиной технических уходов частоты исследуемого нами генератора являются нестабильности параметров лампы. Наличие фликкер-эффекта у катода, несомненно, вызывает хаотические изменения паразитных емкостей лампы, в той или иной мере влияющих на частоту колебаний генератора. Возможно, что имеются и другие, не связанные с фликкер-шумом причины, вызывающие изменение емкостей лампы. В работе [4] показано, что эффект мерцания эмиссии катода может вызывать уходы частоты чисто „токовым“ воздействием, без учета изменения емкостей лампы, причем это воздействие существенно зависит от величины паразитного фазового сдвига в цепи обратной связи генератора.

В исследуемом генераторе на 190 мгц емкость лампы при полной связи лампы с контуром составляет заметную долю общей емкости ($\sim 50\%$), и решающим фактором являются флюктуации емкости лампы. Ослабление связи лампы с контуром должно уменьшить влияние флюктуаций емкости лампы в $m^{-2} = 6,25$ раз. Такая зависимость удовлетворительно подтвердилась на опыте: мы получили уменьшение среднеквадратичного ухода частоты примерно в 6 раз.

Эксперименты такого типа, а также попытки обнаружить „токовое“ воздействие применением специальной фазосдвигающей цепочки в цепи обратной связи в генераторе на 20 мгц показывают, что в диапазоне 20 — 200 мгц технические уходы генераторов обязаны в первую очередь флюктуациям междуэлектродных емкостей лампы*.

3. МЕТОД ОСЛАБЛЕНИЯ СВЯЗИ КОНТУРА С ЛАМПОЙ

Для ослабления влияния емкости лампы на частоту колебания генератора широко известен прием ослабления связи контура с лампой. Нами была разработана и испытана новая схема подобного типа, дающая существенное ослабление связи лампы с контуром и обеспечивающая поэтому большую стабильность частоты, чем обычно применяемые схемы. Указанная схема изображена на рис. 3. Контур II, в основном определяющий частоту колебаний,

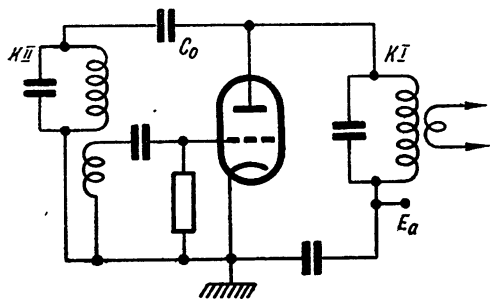


Рис. 3. Схема генератора с эффективным ослаблением связи контура с лампой.

при этом будет затруднено выполнение условий самовозбуждения. Преимуществами схемы также являются: слабая связь контура с лампой, которая позволяет применять контуры с высокой добротностью, без заметного уменьшения последней внутренним сопротивлением лампы и потерями в цоколе и в ламповой панели; подача напряжения (мощности) на нагрузку путем связи с контуром I, что позволяет сильно уменьшить так называемую реакцию нагрузки на частоту.

Опыт показал, что, применяя $C_0 = 0,25 - 0,5$ пф (в генераторах на 50 — 200 мгц), можно получить хорошие результаты и при 10-процентной перестройке частоты (только контуром II). Разумеется, перестройкой обоих контуров можно установить любой рабочий диапазон.

Испытания генератора на 50 мгц, собранного по указанной схеме на лампе типа 6Ж1П, показали, что изменения емкости анод — катод вызывают изменения частоты, примерно в 400 раз

* Точные количественные данные результатов экспериментов с генераторами на 20 мгц не приводятся, так как флюктуации частоты здесь были близки к порогу чувствительности аппаратуры.

меньшие, чем в генераторах, собранных по обычной схеме (с полной связью контура с лампой).

На частоте 190 мГц стабильность частоты проверялась путем измерения ухода частоты при прогреве генератора, ее изменения при смене ламп и сравнения полученных данных с аналогичными результатами, полученными с генератором, собранным по обычной схеме. При этом сравнении, разумеется, частоты колебаний и индуктивности контура были одинаковыми. Хорошие результаты были получены с лампой типа 12СЗС; описанная схема дала улучшение более, чем в 50 раз. Так, уход частоты при прогреве за первые 5 минут сократился с 200 кГц до 3 кГц; изменения частоты при смене ламп в среднем сократились с $3 \div 4$ мГц до $40 \div 80$ кГц. С лампой типа 6Ж1П на частоте 190 мГц удалось получить улучшение лишь в 10 раз. С этим генератором измерялась также спектральная плотность уходов частоты; результаты измерений представлены на рис. 2 кружками. Среднеквадратичный уход частоты при этом оказался также уменьшенным приблизительно в 10 раз.

Прогрев лампы сразу после ее включения и смена ламп влияют на частоту, главным образом, за счет изменения эффективной емкости контура. Характер же воздействия изменений питающих напряжений на частоту генератора, по-видимому, существенно другой (например, за счет изменения тех или иных фазовых сдвигов). Об этом можно судить по тому, что уход частоты от изменения питающих напряжений на $\pm 10\%$ получился в исследованной схеме лишь в 3 раза меньше, чем в генераторах по обычной схеме, т. е. эта схема дала улучшение значительно меньшее.

В заключение автор выражает благодарность И. Л. Берштейну за ценные советы при обсуждении работы и просмотре рукописи.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г. С. Горелик, Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 187 (1950); ЖЭТФ, 20, 351 (1950).
2. И. Л. Берштейн, Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 145 (1950).
3. А. Н. Малахов, ЖЭТФ, 30, 884 (1956).
4. В. С. Троицкий, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика 1, 1, 20 (1958).

Исследовательский радиофизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
22 апреля 1958 г.