

ЭЛЕКТРОННАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТЫ ТРИОДНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

С. Г. Афанасов

В работе дается качественный анализ электронной перестройки частоты триодных генераторов СВЧ диапазона, осуществляемой изменением фазы и плотности импульса тока, входящего в пространство сетка—анод триода. Приводятся экспериментальные результаты, характеризующие особенности предлагаемого способа электронной перестройки.

Электронная перестройка клистронных генераторов основана на свойствах электронного потока вносить в колебательную систему, помимо отрицательной активной компоненты проводимости, также и управляемую реактивную. Величиной реактивной компоненты проводимости, а следовательно, и частотой можно управлять либо изменением напряжения на отражателе, либо изменением плотности электронного потока. При этом изменяется отрицательная активная компонента проводимости, что приводит к изменению выходной мощности при перестройке.

В настоящее время в дециметровом и сантиметровом диапазонах широко применяются триодные генераторы, которые обладают рядом преимуществ перед клистронными (высокий коэффициент полезного действия, большая отдаваемая мощность и др.). Поэтому представляет интерес рассмотреть триод как систему, электронный поток которой (так же, как и в клистроне) может вносить в колебательную систему как отрицательную активную компоненту проводимости, так и регулируемую реактивную компоненту проводимости. Создание в триоде режима электронного потока, при котором он имеет значительную реактивную компоненту проводимости и мало изменяющуюся отрицательную активную, позволяет осуществить безынерционную перестройку частоты триодных генераторов, не сопровождающуюся изменением выходной мощности и не требующую введения в их колебательную систему добавочных элементов для управления частотой.

Для выяснения возможностей создания такого режима электронного потока рассмотрим триодный генератор СВЧ диапазона.

Оценим проводимость промежутка анод—сетка триода, обусловленную электронным потоком. Она определяется (в квазилинейном приближении) амплитудой и фазой первой гармоники анодного тока. Эти величины могут быть определены, если известен анодный ток как функция времени.

Пусть напряжение на промежутке сетка—анод триода есть $V_0 + V \sin(\omega t + \varphi)$, а напряжение на промежутке сетка—катод — $V_{g_0} + V \sin(\omega t + \varphi_1)$, а где V_0 и $-V_{g_0}$ — постоянные составляющие соответствующих напряжений, α и $\varphi - \varphi_1$ — соответственно модуль коэффициента передачи и фазовый сдвиг цепи обратной связи. Отрицательное постоянное напряжение между сеткой и катодом выбираем таким, что электроны проходят в пространство сетка—анод только в положительные полупериоды высокочастотного напряжения на сетке.

При обычных режимах работы лампы (анодное напряжение достаточно велико) импульсы анодного тока незначительно отличаются от импульсов конвекционного тока в плоскости сетки, так как время пролета электронов в пространстве сетка—анод мало по сравнению с периодом колебаний.

Начало импульса анодного тока сдвинуто по времени относительно начала положительного полупериода высокочастотного напряжения между сеткой и катодом. Этот сдвиг близок ко времени пролета электронов, которые вылетают из катода в момент, когда действующее напряжение становится положительным, и первыми достигают плоскости сетки. Конец импульса анодного тока определяется временем пролета последних электронов, которые достигают плоскости сетки. Времена пролетов первых и последних электронов зависят как от амплитуды переменного напряжения, действующего на промежутке сетка—катод, так и от постоянного напряжения, приложенного к нему. Это означает, что, изменяя постоянное смещение на сетке или амплитуду переменного напряжения, можно управлять временем запаздывания импульса анодного тока в промежутке сетка—анод триода (т. е. фазовым сдвигом между первой гармоникой анодного тока и высокочастотным напряжением). Изменение сдвига фазы между наведенным током и высокочастотным напряжением вызывает изменение генерируемой частоты. Как известно, такая модуляция по частоте должна сопровождаться (как и в клистроне) изменением электронной добротности системы. Однако в отличие от клистрона, где управление плотностью электронного потока затруднительно, в триоде можно осуществить режим, в котором изменение электронной добротности системы скомпенсируется (частично или полностью) одно-временным изменением плотности электронного потока.

Действительно, пусть сдвиг фазы в цепи обратной связи выбран так, что условие оптимального взаимодействия импульса анодного тока с высокочастотным полем выполняется при значительных отрицательных напряжениях на сетке лампы. При уменьшении отрицательного смещения на сетке одновременно будет возрастать амплитуда и изменяться сдвиг фазы первой гармоники наведенного тока относительно действующего переменного напряжения. Первый фактор увеличивает вносимую электронным потоком отрицательную активную компоненту электронной проводимости, второй—уменьшает ее. Если действие первого фактора превышает влияние второго, то возрастает амплитуда высокочастотных колебаний в контуре, а, значит, и в пространстве сетка—катод триода. Последнее, в свою очередь, вызывает еще больший фазовый сдвиг между первой гармоникой наведенного тока и напряжением и уменьшает изменение электронной добротности системы.

Таким образом, выбирая фазовый сдвиг в цепи обратной связи так, чтобы условие оптимального взаимодействия потока с полем выполнялось при больших отрицательных смещениях на сетке триода, можно, изменяя смещение на сетке лампы, управлять его реактивной компонентой проводимости и генерируемой частотой.

Естественно, что электронный коэффициент полезного действия триода в этом случае будет несколько ниже, чем в обычном генераторном режиме.

При отыскании электронной проводимости триода в режиме больших амплитуд* целесообразно рассматривать отдельно участки сетка—катод и сетка—анод лампы. При достаточно больших на-

* Амплитуда высокочастотного напряжения сравнима с постоянным напряжением.

пряжениях на аноде можно пренебречь временем пролета электронов в пространстве сетка—анод. Тогда для определения импульса анодного тока достаточно знать конвекционный ток в плоскости сетки; этот ток в практической системе единиц можно записать в виде

$$i_{gк} = 10 \cdot 6 \frac{(aV)^{3/2}}{d_{гк}^2} Q_k f_{гк}(\omega t, \gamma, \beta),$$

где Q_k —площадь катода, $d_{гк}$ —расстояние сетка—катод, $\beta = -V_{г0}/aV$, $\gamma = V/V_0$, ω —частота, t —время. Значения функции $f_{гк}$, определяющие конвекционный ток в плоскости сетки, приведены в работе [1]. Разлагая импульс анодного тока в ряд Фурье, можно найти амплитуду и фазу первой гармоники наведенного тока:

$$\tilde{J}_1(\gamma, \beta) = Kj \frac{1}{\pi} \int_{\omega t_1}^{\omega t_2} f_{гк}(\omega\tau, \gamma, \beta) e^{-j\omega\tau} d(\omega\tau),$$

где K —постоянный коэффициент, t_1, t_2 —начало и конец импульса анодного тока.

Так, например, считая, что величина γ остается постоянной при изменении β и равной 0,56, получим значения активной (G) и реактивной (B) компонент наведенного тока в зависимости от β , указанные в таблице 1.

Таблица 1
Зависимость активной (G) и реактивной (B) компонент наведенного тока от $\beta = -V_{г0}/aV$

β	$-G$	B
0	5,0	1,65
0,174	3,9	1,25
0,342	2,9	0,6
0,5	1,3	0,016

Сдвиг фазы в цепи обратной связи для значений G и B в таблице 1 выбран так, что условие оптимального взаимодействия потока с полем выполняется при $\beta = 0,5$. Поэтому при уменьшении β импульс анодного тока увеличивается по амплитуде и сдвигается по фазе относительно переменного напряжения, действующего в анодной цепи. При изменении только β возрастает величина отрицательной активной компоненты проводимости, что, очевидно, должно привести к возрастанию амплитуды колебаний в контуре и к увеличению значения γ . Как видно из рис. 1, воз-

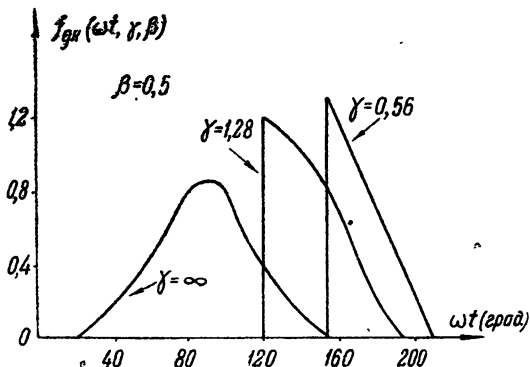


Рис. 1. График функции $f_{гк} = f_{гк}(\omega t, \gamma, \beta)$, определяющей конвекционный ток в плоскости сетки как функцию времени при $\beta = 0,5$.

растает амплитуда колебаний в контуре и к увеличению значения γ . Как видно из рис. 1, воз-

растание величины γ приводит к увеличению сдвига фазы между импульсом анодного тока и напряжением в цепи анод—сетка. Из сказанного следует, что при уменьшении β будет одновременно возрастать γ . Последнее приведет к тому, что реактивная компонента проводимости будет изменяться при мало меняющейся активной компоненте проводимости.

Экспериментальная проверка полученных результатов проводилась на триодных генераторах типа ГСС-15 и LMS-522. Принципиальная схема способа

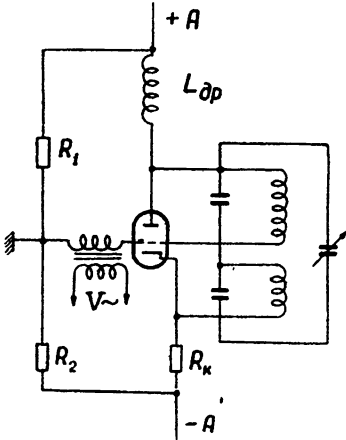


Рис. 2. Принципиальная схема способа подачи напряжения V_{\sim} , управляющего частотой.

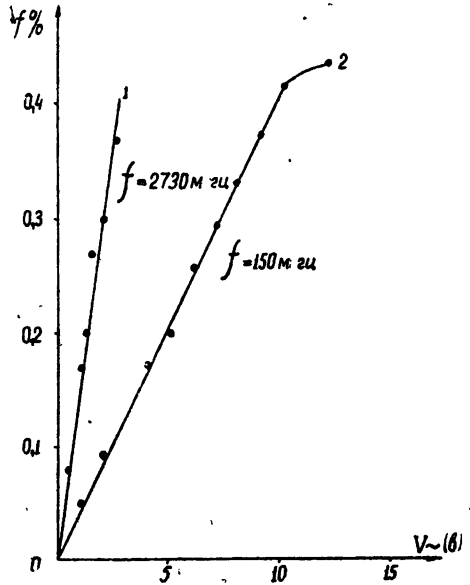


Рис. 3. Зависимость величины перестройки частоты от управляющего напряжения V для генератора ГСС-15 (несущая частота 150 мГц) и генератора LMS-522 (несущая частота 2730 мГц).

подачи напряжения V_{\sim} , управляющего частотой, приведена на рис.2. Необходимый сдвиг фазы в цепи обратной связи устанавливался с помощью колебательного контура в цепи катод—сетка генераторной лампы.

Как видно из рис. 3, зависимость перестройки частоты от управляющего частотой напряжения линейна в пределах точности измерений, а ее величина достигает 0,4% от несущей частоты при

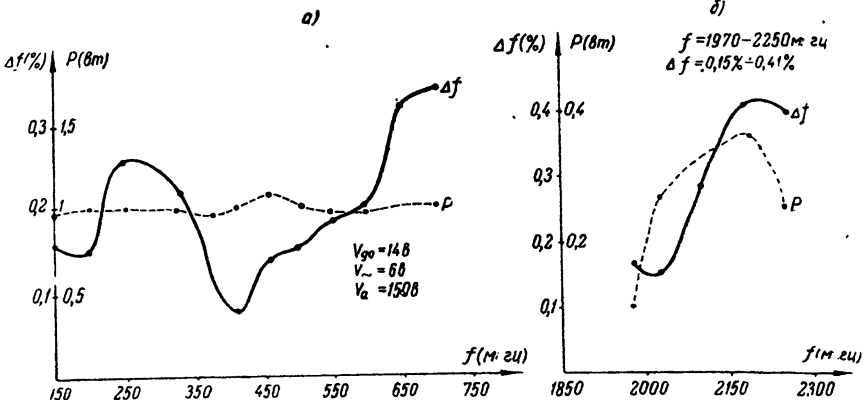


Рис. 4а. Зависимость величины перестройки частоты и мощности генератора от несущей частоты для генератора ГСС-15.

Рис. 4б. Зависимость величины перестройки частоты и мощности генератора от несущей частоты для генератора LMS-522.

выходной мощности 1,0 *вт* на низких частотах (ГСС-15) и 0,3 *вт* на высоких частотах (LMS-522). Следует отметить, что, например, клистрон К-41 на частоте 2500 *мгц* также имеет величину электронной перестройки 0,4% при выходной мощности 80 *вт*.

Приведенные на рис. 4 зависимости перестройки частоты и мощности от несущей частоты показывают, что, как и при любом способе непосредственного управления частотой колебательной системы, величина перестройки частоты зависит от несущей частоты.

Немонотонный характер изменения величины перестройки и мощности объясняется изменением как добротности колебательной системы (которая немонотонно изменяется по диапазону, в основном, из-за непостоянного контакта в короткозамыкающих плунжерах), так и изменением сдвига фазы в цепи обратной связи за счет изменения режима генераторной лампы. Полученные экспериментальные результаты показывают, что триодные генераторы обладают не меньшими возможностями электронной перестройки частоты, чем клистронные, при сохранении других своих преимуществ. Проводимая в настоящее время работа в этом направлении позволит в дальнейшем сделать окончательные выводы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Р а м м, Триодные генераторы колебаний сверхвысоких частот, изд. Министерства обороны, М., 1955.

Исследовательский радиопизический институт
при Горьковском университете

Поступила в редакцию
18 апреля 1958 г.