

УДК 534.1:621.3.072.6:621.316.726

ГРАНИЦЫ УСТОЙЧИВОСТИ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ МНОГОКОНТУРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Г. П. Минина

(кафедра физики колебаний)

Многорезонаторные генераторы СВЧ с отражательными клистро-нами, лавинопролетными диодами и диодами Ганна имеют управляемое или неуправляемое запаздывание в нелинейном элементе. В работе [1] было проведено исследование стационарных режимов трехконтурного генератора с запаздыванием при синхронизме частот контуров. Границы устойчивости рассчитывались на ЭВМ, что затрудняет исследование их зависимости от параметров. Для систем, у которых добротности контуров Q_2 и Q_3 могут значительно отличаться ($Q_2 \ll Q_3$), такие системы используются для стабилизации и управления частотой), границы устойчивости можно получить в аналитическом виде. Частотная кривая по перестройке генераторного контура для описываемых систем имеет среднюю ветвь с большим коэффициентом стабилизации. Используя метод работ [2, 3], можно получить критерии устойчивости в виде ограничений на величину средней ветви. Приведем их, используя следующие обозначения: $\xi_i = (v_i^2 - v_3^2)/v_3^2$ — относительная расстройка частоты i -го контура v_i от частоты третьего высокодобротного контура v_3 , θ — угол запаздывания, $Q_{3н} = Q_3 [1 + k_2^2 Q_2 Q_3 / (\xi_2^2 Q_2^2 + 1)]^{-1}$ — нагруженная добротность третьего контура, k_i — связь между i -м и следующим за ним контуром, $|Q_-| = v_1 L_1 / |R_-|$ — величина, связанная с запасом регенерации в первом контуре, Q_1 — добротность первого контура.

1. Фазовый критерий устойчивости (критерий вертикальных касательных):

$$\xi_1 = - \frac{k_1^2 k_2^2 Q_{3н} Q_2^2}{2 \cos \theta (\xi_2^2 Q_2^2 + 1)} \left[\frac{2 \xi_2 Q_2 \cos \theta + (1 - \xi_2^2 Q_2^2) \sin \theta}{\xi_2^2 Q_2^2 + 1} \pm 1 \right].$$

2. Амплитудный критерий устойчивости (гашение автоколебаний):

$$\xi_1 = - \frac{k_1^2 k_2^2 Q_{3н} Q_2^2}{2 \cos \theta (\xi_2^2 Q_2^2 + 1)} \times \left[\frac{2 \xi_2 Q_2 \cos \theta + (1 - \xi_2^2 Q_2^2) \sin \theta}{\xi_2^2 Q_2^2 + 1} \pm \sqrt{1 - \left(2B - \frac{\xi_2^2 Q_2^2 - 1}{\xi_2^2 Q_2^2 + 1} \right)^2} \right],$$

где

$$B = \left[\frac{1}{k_1^2} \left(\frac{1}{|Q_-|} \cos \theta - \frac{1}{Q_1} \right) - \frac{Q_2}{\xi_2^2 Q_2^2 + 1} \right] \frac{Q_2^2 \xi_2^2 + 1}{Q_2^2 Q_{3н} k_2^2}.$$

Если запас регенерации в системе велик и гашения автоколебаний не наступает, остальные критерии устойчивости можно получить в простом аналитическом виде [2, 3].

3.

$$\xi_1 = - \frac{k_1^2 k_2^2 Q_{3н} Q_2^2}{\cos \theta (\xi_2^2 Q_2^2 + 1)} \left[\frac{2 \xi_2 Q_2 \cos \theta + (1 - \xi_2^2 Q_2^2) \sin \theta}{\xi_2^2 Q_2^2 + 1} \right].$$

4,5.

$$\xi_2 = \frac{k_1^2 k_2^2 Q_{3н} Q_2^2}{2 \cos \theta (\xi_2^2 Q_2^2 + 1)} \left[\frac{2 \xi_2 Q_2 \cos \theta + (1 - \xi_2^2 Q_2^2) \sin \theta}{\xi_2^2 Q_2^2 + 1} \pm \sqrt{1 - C^2} \right],$$

где

$$C = \frac{2}{Q_{3н} k_2^2 Q_2} (\xi_2 Q_2 \sin \theta - \cos \theta) - \frac{(Q_2^2 \xi_2^2 - 1) \cos \theta + 2 \xi_2 Q_2 \sin \theta}{Q_2^2 \xi_2^2 + 1} +$$

$$+ \frac{2 \cos \theta (\xi_2^2 Q_2^2 + 1)}{Q_2 Q_{3н} k_1^2 k_2^2} \left[\frac{1}{Q_2^2} + \frac{k_1^2}{4} \pm \sqrt{\frac{k_1^4}{16} - \frac{\xi_2^2}{Q_2^2} - \frac{1}{2} \frac{\xi_2}{Q_2} k_1^2 \operatorname{tg} \theta} \right].$$

Знак минус перед корнем в выражении для C соответствует энергетическому критерию, знак плюс — пятому критерию. Пятый критерий на средней ветви всегда слабее энергетического.

На рисунке приведены зависимости границы устойчивости колебаний на средней ветви по упрощенным критериям от угла запаздывания θ для двух значений расстройки: $\xi_2 Q_2 = 0,1$ (а) и $\xi_2 Q_2 = 0,5$ (б). При приближении θ к $\pm \pi/2$ величина средней ветви неограниченно возрастает. Это связано с тем, что границы устойчивости строились по упрощенным критериям устойчивости, так как запас регенерации в системе считался большим. При больших углах запаздывания запас регенерации в первом контуре уменьшается и может наступить гашение автоколебаний. Амплитудное условие устойчивости зависит от большого числа параметров и от конкретного вида характеристики нелинейного элемента, поэтому границы устойчивости по амплитудному критерию не нанесены. Однако оценить величину θ , при котором наступает гашение, можно легко по формуле

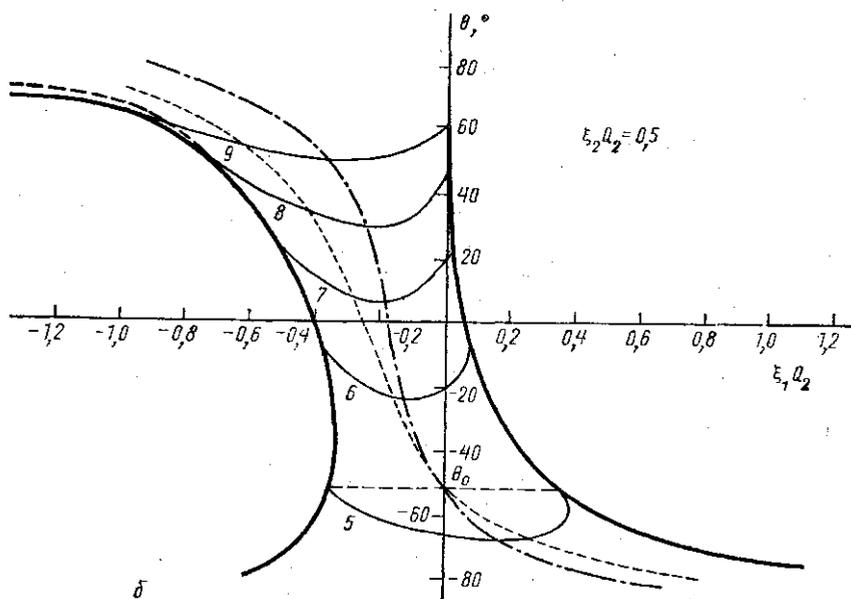
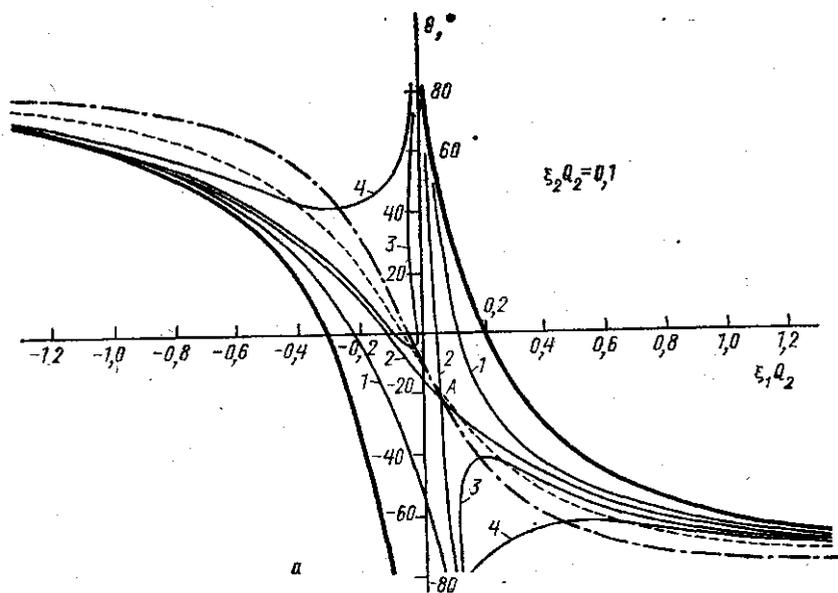
$$\cos \theta > |Q_-| \left\{ \frac{Q_2 k_1^2 (\xi_2^2 Q_2^2 + 1)}{1 - \frac{k_1^2 Q_{3н} Q_2}{\xi_2^2 Q_2^2 + 1}} - \frac{1}{Q_1} \right\}.$$

Например, оценка, проведенная для реального случая:

$$\xi_2 Q_2 = 0,1; \quad k_1^2 Q_2^2 = 3; \quad Q_2 |Q_-|^{-1} = 20; \quad Q_2 / Q_1 = 2; \quad k_2^2 = 1 / Q_2 Q_3$$

дает $-66^\circ < \theta < 66^\circ$. Уменьшение запаса регенерации или увеличение влияющих нагружающих контуров снижает допустимые пределы изменения. Из рисунка, а видно, что в случае малых расстроек ($\xi_2 Q_2 = 0,1$) третий критерий устойчивости выполняется всегда. При малых связях k_1^2 средняя ветвь ограничивается фазовым условием устойчивости, при увеличении связи k_1^2 средняя ветвь начинает ограничиваться «энергетическим» критерием. С увеличением связи k_1^2 величина средней ветви уменьшается, и при некотором значении связи устойчивый участок на средней ветви стягивается в точку (на рисунке, а она обозначена буквой А). При дальнейшем увеличении связи k_1^2 существуют две области углов θ , при которых колебания в системе устойчивы. При увеличении положительной расстройки ξ_2 точка А быстро смещается в сторону отрицательных углов θ (для отрицательных расстроек — в сторону положительных θ). На рисунке, б, где изображены границы устойчивости при расстройке $\xi_2 Q_2 = 0,5$, эта точка отсутствует, т. е. возможен переход в область устойчивых режимов только при увеличении угла θ .

Если расстройка ξ_2 не превышает полосы пропускания второго контура ($\xi_2 Q_2 < 1$), то третий критерий незначительно, по сравнению с критерием вертикальных касательных, уменьшает устойчивую область на средней ветви; при больших расстройках ($\xi_2 Q_2 > 1$) средняя ветвь



Границы устойчивого участка на средней ветви частотной кривой. Жирная сплошная линия — критерий вертикальных касательных, штриховая — третий критерий, тонкая сплошная линия — энергетический критерий для значений $k^2 Q_2^2 = \chi_1$; $\chi_1 = 1,8$ (1); 1,93 (2); 2 (3, 6); 3 (4, 7); 1 (5); 5 (8); 20 (9); пунктир — линия максимума коэффициента стабилизации; штрих-пунктир — линия зарождения устойчивого участка по энергетическому критерию

при определенных θ может быть полностью неустойчива по этому критерию.

Как видно из рисунка, для данной расстройки ξ_2 можно подобрать такой угол запаздывания θ , при котором средняя ветвь становится симметричной, как в случае генератора без запаздывания и расстройки контуров. Через центр средней ветви проходит линия зарождения устойчивого участка по энергетическому критерию и линия максимума коэффициента стабилизации. Заметим, что амплитудные кривые на средней ветви для таких режимов «компенсации» несимметричны, поэтому для амплитудного и энергетического критериев эти режимы ничем не выделены.

Границы устойчивости получены в простом аналитическом виде. Это дает возможность выработать рекомендации по подбору параметров для сложных систем стабилизации частоты с учетом запаздывания в нелинейном элементе и расстройки частот контуров. Это особенно важно для жестких конструкций генераторов [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Курдюмов О. А., Минакова И. И. Стабилизация частоты генераторов СВЧ с трехрезонаторной системой.—Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1968, 11, № 1, с. 41—50. [2] Минина Г. П. Исследование устойчивости стационарных режимов многоконтурного генератора.—Вестн. Моск. ун-та. Сер. Физ. Астрон., 1981, 22, № 3, с. 76—81. [3] Зубиетов П. И., Минакова И. И., Минина Г. П., Панов В. И. Влияние параметров многоконтурной системы с СПР на стабильность частоты генераторов.—Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1981, 24, № 5, с. 17—24. [4] Минакова И. И., Назаров В. И., Панов В. И., Попельнюк В. Д. Стабилизация частоты твердотельного генератора сверхпроводящим резонатором на сапфире.—Письма в ЖЭТФ, 1978, 4, № 3, с. 172—176.

Поступила в редакцию
21.09.80

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1981, Т. 22, № 5

УДК 533.9.01

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ АЗОТНОЙ ПЛАЗМЫ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 2820А

М. Маренчак (ЧССР), А. И. Соколов

(кафедра молекулярной физики)

В ряде работ, например в [1], указывалось на наличие в излучении азотной плазмы избыточной компоненты, которая связывалась с образованием отрицательного иона азота в состоянии 3P . Для выяснения природы избыточного излучения представлялось целесообразным измерение коэффициента поглощения азотной плазмы в ультрафиолетовой области, где вклад процесса образования $N-(^3P)$ относительно велик.

Исследования проводились на двухдиафрагменной ударной трубе с камерой низкого давления длиной 800 см и диаметром 10 см. Объектом исследования служил азот, нагретый отраженной ударной волной. Проводились фотоэлектрические измерения коэффициента поглощения на расстоянии 4—5 мм от торца ударной трубы (принципиальная схема установки представлена на рис. 1). В качестве эталонного источника света использовался импульсный разряд в капилляре [2], излучение которого, проходя через двойной кварцевый монохроматор