измеренных. Следует отметить, что развитая в настоящее время теория для I2 — Ar вообще не применима, так как ωτ_{ст} лишь немного меньше единицы.

Если положить, что молекула представляет собой гармонический осциллятор, то с помощью соотношения

$$\tau = \frac{1}{P_{10} z \left(1 - e^{-\frac{\theta}{T}}\right)}$$
(2)

(где z — частота столкновений частиц, в — характеристическая колебательная температура — для I2=309° K) из полученных нетрудно найти вероятность дезактивации первого колебательного уровня молекулы при одном столкновении р10. Результаты расчета



Рис. 2. Зависимость вероятности дезактивации первого колебательного уровня молекул l2 от температуры, а — при столкновении l2 с Не, б — при столкновении I2 с Аг

 p_{10} по формуле (2) для систем $\mathrm{I_2}$ —Не и $\mathrm{I_2}$ —Аг представлены на рис. 2. В изученном интервале температур величина p₁₀ для столкновений I₂—Не в пределах ошибки измерения остается постоянной, тогда как для системы I2-Ar с ростом температуры она уменьшается.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Е. В. Ступоченко и А. И. Осипову за обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Landay L. D., Teller E. Phys. Z. Sow., 10, 34, 1936. 2. Сафарян М. Н., Ступоченко Е. В. «Прикл. мех. и техн. физ.», № 1, 93, 1965 3. Осипов А. И. ДАН СССР, 143, 1392, 1962. 4. Иванов Г. К., Саясов Ю. С. ДАН СССР, 154, № 6, 1964.

Поступила в редакцию 10. 11 1966 r.

Кафедра молекулярной физики

УДК 621.396.22

Л. Ф. КИСЕЛЕВА, О. А. КУРДЮМОВ, И. И. МИНАКОВА РЕАКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МНОГОКОНТУРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Последние годы, в связи с применением для стабилизации частоты генераторов СВЧ дополнительных добротных резонаторов, была достаточно подробно развита теория автономных режимов двух- [1] и трехконтурных [2, 3, 4, 5] генераторов с реактивной связью между контурами. Однако до сих пор не рассматривались системы с кондуктивными связями (к.с.), имеющие ряд особенностей и, возможно, преимуществ по сравнению с системами с реактивными овязями (р.с.). Сравнение систем р.с. и к.с. и определение характера их поведения может быть проведено путем рассмотрения; тех изменений реактивных параметров генератора, которые связаны с подключением к контуру генератора дополнительных контуров при том или ином типе; связи. При этом для генераторов с запаздыванием в нелинейном элементе, какими являются многие генераторы СВЧ, существен учет и реактивной составляющей тока нелинейного элемента.

Рассмотрим автогенератор с запаздыванием, имеющий два [контура или резонатора с к. с. Ток в первом контуре $I_1 = c_1 \frac{dV_{c1}}{dt} + I_m(V_{c1})$, где $I_m(V_{c1})$ — ток через нелинейный элемент, подключенный параллельно контуру. Дифференциальные уравнения системы при пренебрежении членами порядка $\frac{1}{Q^2}$ могут быть [записаны в виде

$$\ddot{x} + 2\delta_1' \dot{x} + n_1^2 x + \frac{1}{c_1} \frac{dI_m}{dt} - \alpha_1 \dot{y} = 0.$$

$$\ddot{y} + 2\delta_2' \dot{y} + n_2^2 y - \alpha_2 \dot{x} = 0.$$
 (1)

Для удобства рассмотрения частотных уравнений полагаем n_2 постоянной и введем безразмерные координаты $\eta = \frac{\omega^2 - n_2^2}{\omega^2}$, $\xi = \frac{n_1^2 - n_2^2}{\omega^2}$ и $\delta_n = \frac{\delta_n'}{\omega}$, где ω – частота колебаний системы. Тогда в гармоническом приближении уравнение нормальных частот, разрешенное относительно ξ , имеет вид

$$\xi = \eta \left[1 + \frac{k^2}{\eta^2 + \delta_2^2} \right] + \left[\delta_1 + \delta_2 \frac{k^2}{\eta^2 + \delta_2^2} \right]^{\dagger} \operatorname{tg} \gamma.$$
⁽²⁾

Здесь у характеризует фазовый угол, связанный с наличием запаздывания. При $\gamma = 0$ уравнение (2) весьма похоже (с точностью до знаков) на уравнение частотной кривой системы с р. с. между контурами [4].

Для анализа влияния подсоединения дополнительных контуров на частотные характеристики генератора проведем качественное рассмотрение уравнения (2) аналогичного уравнению для р. с. на плоскости (η, ζ) (рис. 1). При $\gamma = 0$ первый член части обоих уравнений может быть представлен в виде прямой 1. Второй член правой части изобразится в виде кривой 2. Для кривой 2 точки экстремума $\eta_{1,2} = \pm \delta_2$ и точки

пересечения кривой 2 и прямой 1: $\xi = \eta; \ \xi = \pm \sqrt{k^2 - \delta_2^2}$.

Фактически кривая 2 характеризует величину реактивной добавки, вносимую в контур генератора при присоединении дополнительного контура. Знак этой добавки зависит от характера связи. Для комбинированной связи аналитическое выражение реактивной добавки усложняется, но принципиально вид ее не меняется. В случае р.с. для связи $k < k_{\rm kp} = \delta_2$ затягивания нет. При $k > k_{\rm kp}$ частотная кривая 3 становится неоднозначной по η .

Из рассмотрения уравнения (2) и кривой 4 следует, что нормальные частоты при к. с. всегда лежат между парциальными, при синхронизме парциальных частот не мо-

жет быть неоднозначности частотной кривой. Из условия $\frac{d\xi}{dn} = 0$ получаем

$$h_{1,2,3,4} = \pm \sqrt{\frac{(k^2 - 2\,\delta_2^2) \pm \sqrt{k^2(k^2 - 8\,\delta_2^2)}}{2}}.$$
(3)

При $k^2 > 8 \delta_2^2$ связь больше критической, частотная кривая имеет два участка затягивания, расположенные при некоторых расстройках симметрично относительно точки синхронизма. При этом $k_{\rm Kp}$ существенно больше, чем в системе р. с. при тех же параметрах контуров и генератора.

Таким образом, характер частотной кривой полностью определяется величиной и знаком реактивной добавки, появляющейся в уравнении частоты генерагора при подключении дополнительного контура. Если пользоваться критерием вертикальных касательных, участок кривой вблизи синхронизма при к.с. всегда устойчив, в отличие от случая р.с. при $k > k_{\rm KP}$. Кроме того, угол наклона этого участка к оси расстроек невелик и, следовательно, такое подключение дополнительного контура может быть использовано для стабилизации частоты.

При $\gamma \neq 0$ в уравнении (2) появляется вторая реактивная добавка, овязанная с наличием реактивной составляющей наведенного тока. При фиксированном значении γ на плоскости (η , ζ) эта добавка отражается кривой 5. Для этой кривой

при
$$\eta = 0$$
 $\xi = \left[\delta_1 + \frac{\kappa^2}{\delta_2} \right] tg \gamma,$
при $\eta = 0$ $\xi = \delta_1 tg \gamma.$

Таким образом, реактивная добавка (кривая 5) меняет вид частотной кривой, сдвигая ее в зависимости от знака у влево или вправо от точки синхронизма и изменяя.



ее характер. На рис. 1 кривая 4а построена для случая к. с. и $\gamma > 0$. При отсутствии зависимости реактивной составляющей тока от амплитуды (линейное запаздывание) частотная кривая не меняет своего характера, происходит только смещение всей кривой относительно оси ординат. Наличие зависимости реактивной составляющей тока от амплитуды (запаздывание в нелинейном элементе) равнозначно включению в системунелинейного реактивного элемента и приводит к появлению несимметрии в частотной; кривой.

Совершенно аналогично можно получить уравнение частот для системы с тремя последовательно подключенными контурами. При $\gamma = 0$ и совпадении фиксированных парциальных частот второго и третьего контуров уравнение частот, разрешенное относительно ζ , имеет вид

$$= \eta \left[1 \pm \frac{\eta^2 k_1^2}{M} + \frac{k_1^2 [k_2^2 \pm \delta_3^2]}{M} \right] = \eta \left[1 \pm \xi' + \xi'' \right],$$

$$M = \eta^4 + \eta^2 \left[\delta_2^2 + \delta_3^2 \pm 2k_2^2 \right] + \left[k_2^2 \mp \delta_3 \delta_2 \right]^2,$$
(4)

где k_1^2 и k_2^2 — коэффициенты связи соответственно для овязи между первым и вторым контурами и вторым и третьим. От типа связи зависят только знаки в (4) верхние знаки соответствуют системам с к. с. — нижние с р. с. Однако существенное отличие в характере частотных кривых при различных типах связи зависит только от знака ζ. Представление уравнения (4) на плоскости (η , ζ) можно-провести, построивпрямую 1 (рис. 2) $\zeta = \eta$ и кривые 2 для $\zeta = \zeta'$ и 3 для $\zeta = \zeta''$. Как следует из (4), при $\eta = 0$ $\zeta = \zeta' = 0$ и $\zeta = \zeta''$. Экстремальное значение для ζ' :

$$\eta_{12} = \pm \left[\sqrt{\frac{\delta_2^2 + \delta_3^2 \pm 2k_2^2}{2}} + \sqrt{\frac{(\delta_2^2 + \delta_3^2 \pm 2k_2^2)^2}{4}} + 3(k_2^2 \mp \delta_2 \delta_3)^2; \right]$$

113

для n":

$$\eta_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{1}{3} [(k_2^2 \mp \delta_3 \delta_2)^2 - (\delta_2^2 + \delta_3^2 \pm 2k_2^2)^2]}.$$

Для систем с к. с. характер кривых 2 и 3 такой же, как и для систем с р. с., только экстремальные значения немного больше разнесены по оси ординат. Соответственные частотные кривые 5 для системы с к. с. и 4 для системы с р. с. представлены на рис. 2. Как видно из графика, кривая 5 имеет пологий устойчивый участок вблизи области синхронизма, который может быть использован для стабилизации частоты.

Рассмотрение влияния запаздывания в нелинейном элементе может быть проведено аналогично случаю двухконтурной системы. Характер влияния запаздывания на частотную кривую при фиксированном у совпадает в обоих случаях.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ирисов Е. А., Хохлов Р. В. «Вестн. Моск. ун-та», сер. мат., мех., астрон., физ., химии, № 2, 1958.
- 2. Карнаух А. И., Пителин А. П. «Вопросы радиоэлектроники», сер. 1, № 5, 1959. 3. Уткин Т. М., Хрюнов А. В., Снедков Б. А. Отчет НИР, МЭИ, № 23386 от
- 15. 5 1961 г.
- 4. Курдюмов О. А., Минакова И. И. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астрон., № 1, 1966.
- 5. Курдюмов О. А., Минакова И. И. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астрон., № 4, **19**66.

Поступила в редакцию 10. 11 1966 г.

Кафедра физики колебаний

А. А. ЗАЙЦЕВ, Н. А. МИСКИНОВА

УДК 537.56:533.27

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ПОДВИЖНЫХ СТРАТ ПРИ СРЕДНИХ ДАВЛЕНИЯХ

Подвижные страты при средних давлениях экспериментально изучены мало. В данной работе проводились систематические исследования параментально изучены мало. В данной работе проводились систематические исследования параметров подвижных страт в неоне при давлениях 8—40 *мм рт. ст.*, а также в смеси неона с водородом при давлении неона 8 *мм рт. ст.* и давлениях водорода до 0,5 *мм рт. ст.* Условия опытов и техника измерений аналогичны описанным в [1--3]. Эксперименты показали, что длина страт в неоне уменьшается с ростом тока и давления, как изображено на рис. 1. При этом частота страт, как правило, слабо

уменьшается. Следовательно, скорость страт уменьшается при увеличении тока. На-пример, в трубке диаметром 1,5 см при давлении неона 8 мм рт. ст. увеличение тока от 30 до 700 ма приводит к уменьшению скорости страт от 12,8 · 10³ до 5,8 · 10³ см/сек. С ростом давления частота страт f уменьшается [4]. Однако это выполняется

только для малых значений pR, а в области средних давлений картина несколько меняется. В табл. 1 приводятся значения Rf от pR в Ne при pR>10.

Ŧ	а	б	л	И	Ц	а	-1
---	---	---	---	---	---	---	----

pR, мм pm. ст. см	10,4	19,5	26	39	52
$Rf \ 10^{-3}, \ cm \cdot ce\kappa^{-1} \ \cdot \ \cdot \ \cdot$	1,75	1,75	1,82	2,0	2,86

В Ne при pR≥20 частота страт возрастает при увеличении давления, в Ar это явление наблюдается при $pR \ge 5$, в Xe уже при $pR \ge 3,5$, а в Не при $pR \approx 20$ подобное возрастание частоты страт еще не обнаруживается. Такой характер зависимости f(p), начиная с некоторых значений pR, может быть связан со значительным уменьшением