

ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНОГО КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА С $p-n$ -ПЕРЕХОДОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ СМЕЩЕНИЯ И ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА

А. С. Максимов, И. А. Максимов

Исследованию влияния внешнего периодического воздействия $V \sin 2\pi ft$ на нелинейный колебательный контур с $p-n$ -переходом посвящено достаточно большое количество работ [1-4]. Нетривиальная динамика такой системы рассматривалась при отсутствии постоянного смещения на $p-n$ -переходе. В случае же различных напряжений смещения различными будут как значение емкости $p-n$ -перехода, так и степень нелинейного изменения этой емкости за счет сигнала $V \sin 2\pi ft$. Следовательно, постоянное смещение наряду с амплитудой и частотой f внешнего сигнала является параметром, который позволит управлять динамикой процессов в нелинейном контуре.

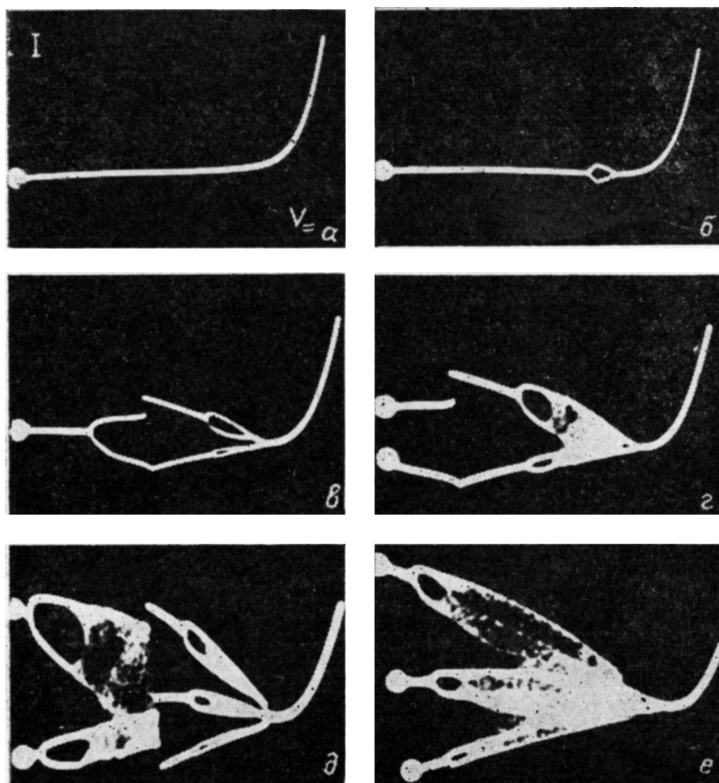


Рис. 1. Осциллографические однопараметрические бифуркационные диаграммы тока I нелинейного колебательного контура при пилообразном изменении напряжения смещения V_- на $p-n$ -переходе от 0 до +1 В для различных значений амплитуд V внешнего воздействия. а — 0.1, б — 0.14, в — 0.56, г — 0.6, д — 1.1, е — 4 В.

амплитудой и частотой f внешнего сигнала является параметром, который позволит управлять динамикой процессов в нелинейном контуре.

Поэтому целью данной работы являлось экспериментальное исследование влияния напряжения смещения $p-n$ -перехода на динамические режимы в нелинейном колебательном контуре при внешнем гармоническом воздействии. Для исследования был применен метод построения однопараметрических бифуркационных диаграмм [2], где в качестве параметра использовалось напряжение смещения V_- . Напряжение V_- , изменяющееся по пилообразному закону, осуществляло также горизонтальную развертку электронно-лучевой трубки, на экране которой для каждого значения V_- путем стробирования яркости фиксировалось значение переменной составляющей тока I контура только в моменты времени $t = nT$, где

$n=1, 2, 3, \dots$, $T=1/2\pi f$, т. е. на экране реализуется бифуркационная диаграмма $I-V_+$ для определенного значения амплитуды V_- и частоты f сигнала внешнего воздействия.

В качестве нелинейной емкости в контуре использовался коллекторный $p-n$ -переход транзистора типа КТ 3102. Частота внешнего воздействия f совпадала с невозмущенной частотой f_0 контура $f=f_0=600$ кГц, а амплитуда устанавливалась в пределах $0 \leq V_- \leq 4$ В. пилообразное напряжение V_- частотой 1 кГц имело два варианта изменения: $0 \leq V_- \leq 1$ В или $-1 \leq V_- \leq 1$ В.

На рис. 1 представлен ряд бифуркационных диаграмм $I-V_+$ для варианта $0 \leq V_- \leq 1$ В при различных уровнях внешнего сигнала. При значении амплитуды синусоидального сигнала $V_- \leq 0.1$ В ток в цепи I является периодическим с периодом T и диаграмма представляет собой (рис. 1, а) кривую, аналогичную вольт-амперной характеристике $p-n$ -перехода. При

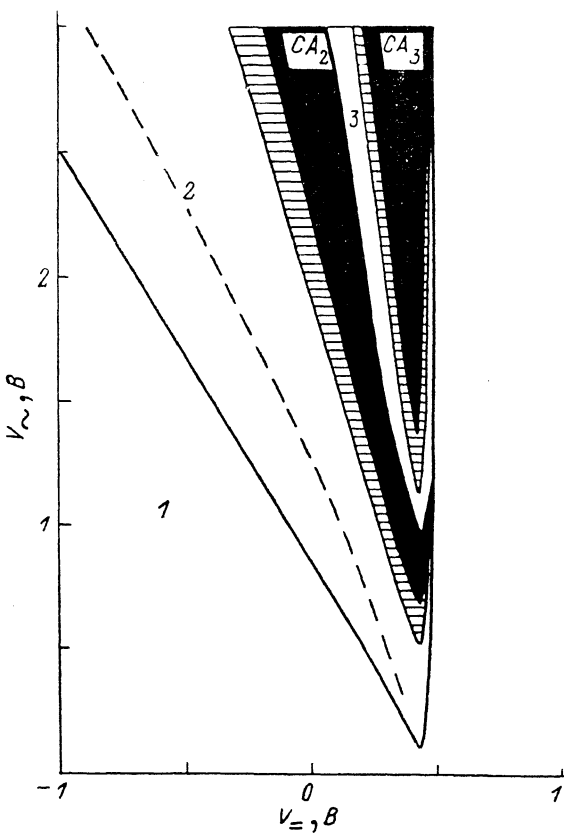


Рис. 2.

достижении $V_- = 0.1$ В в интервале прямых смещений $\Delta V_- = 0.42-0.44$ В образуется область субгармонического тока порядка $1/2$, которая на бифуркационной диаграмме (рис. 1, б) имеет вид «петли». С ростом V_- область первой субгармоникой расширяется в сторону меньших значений V_- , и при $V_- = 0.3$ В скачкообразно возникает субрезонанс того же порядка $1/2$ с участком гистерезиса. При $V_- \approx 0.53$ В на основе этого нелинейного субрезонанса в том же интервале ΔV_- возникают колебания на субгармонике порядка $1/4$ (рис. 1, в). Процесс последовательного образования с ростом V_- областей субгармоник порядка $1/2, 1/4, 1/8$ и т. д., каждая из которых находится в предыдущей, приводит к перекрытию этих областей в узком интервале изменения параметра V_- . Неоднозначность состояния системы в этом интервале быстро увеличивается, и пределом такой эволюции при $V_- \approx 0.6$ В являются хаотические колебания в системе (рис. 1, з).

Дальнейшее движение по параметру V_- приводит к возникновению в том же интервале ΔV_- области нелинейного субгармонического резонанса порядка $1/3$ (рис. 1, д). В зоне этого субрезонанса развитие хаотических колебаний происходит также на основе структуры последовательно вложенных друг в друга областей субгармоник все более высоких порядков (рис. 1, е).

Количественная обработка серии аналогичных бифуркационных диаграмм позволила построить двухпараметрическую диаграмму режимов в плоскости параметров V_{\sim} — V_{\pm} (рис. 2). Значение параметра V_{\pm} изменялось в пределах $-1 \leq V_{\pm} \leq 1$ В, а амплитуда внешнего воздействия — $0 \leq V_{\sim} \leq 3$ В. В области 1 существуют вынужденные колебания с частотой внешней силы. Сплошная линия, разделяющая области 1 и 2, соответствует границе, на которой происходит первая бифуркация удвоения периода колебаний. Область 2 — область существования субгармоники тока 1 порядка $1/2$. Штриховая линия в области 2 обозначает нижнюю границу гистерезиса нелинейного субрезонанса $1/2$. Заштрихованные области являются зонами удвоения периода колебаний на основе субрезонанса $1/2$ и $1/3$ соответственно. Далее области CA_2 и CA_3 — зоны странных аттракторов, в которых развитие хаотических колебаний происходит на основе субгармонических резонансов $1/2$ и $1/3$ соответственно. Из диаграммы следует, что зарождение бифуркационных явлений в осцилляторе локализовано в очень узком интервале изменения параметра V_{\pm} : $\Delta V_{\pm} = 0.42 - 0.44$ В. Из экспериментальной вольт-фарадной характеристики данного $p-n$ -перехода следует, что интервалу ΔV_{\pm} соответствует область максимальной нелинейности изменения емкости. При значении $V_{\pm} \geq 0.5$ В колебания нелинейного осциллятора шунтируются прямым током, протекающим через открытый $p-n$ -переход.

Таким образом, величина и знак напряжения смещения на $p-n$ -переходе нелинейного колебательного контура существенно влияют на бифуркационные явления. Действительно, амплитуда внешнего сигнала, необходимая для первой бифуркации удвоения в этом интервале ΔV_{\pm} , примерно в 5 раз меньше, чем при отсутствии прямого смещения $V_{\pm} = 0$. Для возникновения первой области хаоса CA_2 такое отношение амплитуд внешнего сигнала составляет 3.6. Величиной постоянного смещения можно задавать уровень внешнего периодического сигнала, при котором в контуре возникают хаотические колебания.

В заключение авторы выражают благодарность А. С. Дмитриеву и В. Я. Кислову за полезные обсуждения.

Список литературы

- [1] Linsay P. S. // Phys. Rev. Lett. 1981. Vol. 47. N 19. P. 1349—1352.
- [2] Testa J., Perez J., Jeffries C. // Phys. Rev. Lett. 1982. Vol. 48. N 11. P. 714—717.
- [3] Jeffries C., Perez J. // Phys. Rev. A. 1983. Vol. 27. N 1. P. 601—603.
- [4] Астахов В. В., Безручко Б. П., Селезнев Е. П. // РиЭ. 1987. Т. 32. № 12. С. 2558—2566.

Институт радиотехники и электроники
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
18 августа 1988 г.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОГИБАЮЩИХ ДЛЯ РАСЧЕТА КАТОДНЫХ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИХ АБЕРРАЦИЙ

И. А. Петров, Е. В. Шпак

Метод огибающих, при использовании которого вместо расчета большого количества траекторий находят огибающую всего пучка в целом, нашел широкое применение для пучков заряженных частиц высоких энергий [1, 2]. Как правило, в этих работах не учитывались aberrации системы. Выражения для огибающих при учете отдельных видов aberrаций (сферической aberrации или дисторсии) найдены в работе [3]. В случае, когда наибольший вклад в aberrации вносит дисторсия системы, метод был применен для расчета входных камер ФЭУ, которые являются катодными электронно-оптическими системами [4]. При расчете свойств катодных линз обычно необходимо учитывать и остальные виды aberrаций. Поэтому данная работа посвящена развитию метода огибающих в применении к катодным системам с учетом aberrаций третьего порядка. Полученные результаты применены к расчету входных камер ФЭУ, но могут быть также использованы при расчете и оптимизации других катодных ЭОС.