

РАДИОФИЗИКА

УУДК 537:862:621.373.7

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДУЛЯЦИЯ В КОНТУРЕ С МДП-СТРУКТУРОЙ,
ОБЛУЧАЕМОЙ СВЕТОМ

В. Ф. Марченко

(кафедра радиофизики СВЧ)

Рассмотрен механизм возникновения стохастической модуляции в резонансном контуре, в котором в качестве емкости используется МДП-структура, облучаемая светом. Экспериментально обнаружены области стохастизации колебаний на участке неоднозначности резонансной кривой.

Стохастический режим вынужденных колебаний в нелинейной резонансной системе экспериментально реализуется в RLC -контуре, в котором используется барьерная емкость полупроводникового диода [1, 2]. Если амплитуда переменного напряжения в контуре не превосходит величину постоянного запирающего напряжения, то стохастичность практически не наблюдается, поскольку при типичных значениях амплитуд $5 \div 10$ В нелинейный сдвиг резонансной частоты оказывается недостаточным [3]. Поэтому в указанных работах выбираются условия, при которых через диод в течение части периода протекает прямой ток, т. е. используется сильно зависящая от напряжения диффузионная емкость. Такой нелинейный емкостный элемент обладает релаксацией [2]. Поскольку релаксация создает дополнительную «степень» движения системы, требуемые для возникновения стохастичности амплитуды переменного напряжения уменьшаются до значений $1 \div 2$ В. В качестве емкости, обладающей как нелинейными, так и релаксационными свойствами, можно использовать МДП-структуру, поверхностный слой полупроводника которой находится под воздействием светового излучения. В контуре с таким элементом возможно появление модуляционных колебаний, представляющих собой хаотические колебания амплитуды и фазы узкополосного процесса, спектр которого лежит в окрестности резонансной частоты контура.

Механизм возникновения стохастической модуляции может быть пояснен следующим образом. Рассмотрим МДП-структуру с полупроводником n -типа, находящуюся при отрицательном напряжении E , которому соответствует равновесное значение высокочастотной емкости $C_0(E)$. При воздействии переменного напряжения происходит частичное рассасывание инверсионного заряда, в результате чего усредненная за период толщина обедненного слоя увеличивается. Используя результаты работы [4], зависимость толщины W от амплитуды переменного сигнала A можно представить приближенно в виде $W = W_0 + \alpha A$, где W_0 — толщина, соответствующая емкости $C_0(E)$, α — коэффициент, зависящий от свойств полупроводника и интенсивности подсветки. Таким образом, с увеличением амплитуды в области значений $A < |E - E_g|$ (E_g — напряжение плоских зон [4]) резонансная частота контура увеличивается, поскольку емкость структуры обратно пропорциональна толщине обедненного слоя. Это приводит к появлению на резонансных кривых областей неоднозначности (см. [5]). Воздействие света, во-первых, уменьшает значение W_0 и увеличивает коэффициент α , поскольку возрастает интервал между равновесной и импульсной

емкостными характеристиками системы [6]. Во-вторых, появляется дополнительный канал перезарядки емкости обедненного слоя, причем время релаксации этого процесса $\tau_{эф}$ с увеличением интенсивности подсветки падает. Если характерное время установления колебаний в контуре, определяемое его добротностью, становится соизмеримым с временем $\tau_{эф}$, то в области неоднозначности резонансной кривой стационарные режимы исчезают и в системе возможен переход регулярных колебаний амплитуды и фазы в хаотические.

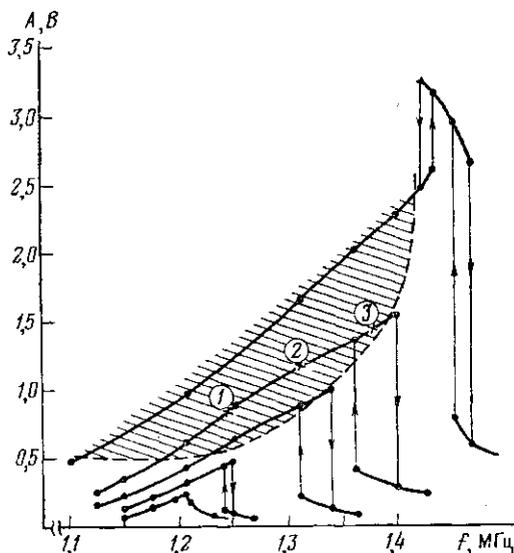


Рис. 1. Резонансные кривые контура при интенсивности подсветки $I/I_{\max}=0,3$. Напряжение смещения на МДП-структуре, для которой $E_d=-2$ В, равно $E=-6$ В. Область автомодуляционных колебаний заштрихована

излучением с длиной волны $\lambda=0,63$ мкм. Максимальная интенсивность излучения, рассеиваемая в поверхностном слое полупроводника, составляла $I_{\max} \approx 0,1 \div 0,2$ мВт. Значения добротности менялись от $Q \approx 40$ ($I=0$) до $Q \approx 15$ ($I \approx 0,5 I_{\max}$).

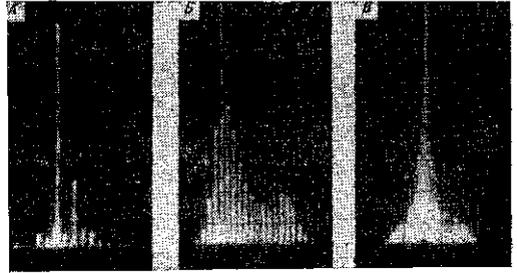
Резонансные кривые контура приведены на рис. 1. Если входные амплитуды гармонического напряжения достаточны для развития модуляционной неустойчивости, то возникают области, заштрихованные на рис. 1, внутри которых спектр колебаний отличается от гармонического. По мере увеличения частоты сигнала сначала появляются две дополнительные моды, расположенные симметрично относительно основной частоты на расстоянии ~ 10 кГц ($1/\tau_{эф} \sim 5$ кГц). При дальнейшем увеличении частоты происходит удвоение периода модуляции, в результате возникают новые линии, расстояние между которыми составляет ~ 5 кГц (рис. 2, а). Одновременно со сгущением спектральных компонент происходит обусловленное нелинейностью емкости уширение спектра в сторону высоких частот (рис. 2, б) вплоть до частоты, при которой наступает срыв колебаний. Для выбранной амплитуды сигнала эта частота, как следует из рис. 1, равна 1,4 МГц. В окрестности этой частоты модуляция приобретает хаотический характер: на экране спектроанализатора, имеющего разрешение ~ 1 кГц, ей соответствует сплошной спектр (рис. 2, в).

нарные режимы исчезают и в системе возможен переход регулярных колебаний амплитуды и фазы в хаотические.

Нелинейный резонанс наблюдался в контуре, составленном из параллельно включенных индуктивности и емкости при возбуждении заданным током. В качестве емкости использовалась МДП-структура, представляющая собой низкоомную подложку из кремния *n*-типа, на которую нанесены высокоомная эпитаксиальная пленка толщиной $1 \div 1,5$ мкм и диэлектрическая пленка $\text{SiO}_2 \cdot \text{Si}_3\text{N}_4$ толщиной $0,15 \div 0,2$ мкм. Электроды служили напыленные слои алюминия. Эпитаксиальный слой позволял сохранить высокую добротность контура Q при требуемых интенсивностях подсветки I . Освещение структуры осуществлялось со стороны диэлектрика слегка сфокусированным когерентным

Хаотический характер вынужденных колебаний в контуре с МДП-структурой наблюдался лишь для конечных интервалов амплитуд сигнала и интенсивности подсветки. При больших амплитудах A модуляция емкости происходит практически по импульсной кривой. При этом средняя емкость, как и для обратномещенного $p-n$ перехода, возрастает с увеличением A . Начальный этап уменьшения резонансной частоты контура при больших амплитудах, выражающийся в изменении наклона резонансной кривой, отражен на рис. 1. Хотя спектр колебаний в этой области остается сложным, хаотические колебания, как

Рис. 2. Спектры колебаний в контуре при различных частотах внешнего сигнала, обозначенных на рис. 1 цифрами 1 (а), 2 (б) и 3 (в)



правило, отсутствуют. Исчезновение стохастической модуляции при увеличении интенсивности света в первую очередь связано с уменьшением добротности контура.

Таким образом, релаксация нелинейной емкости, обусловленная подсветкой, позволяет наблюдать сложные, в том числе стохастические, спектры вынужденных колебаний при относительно небольших амплитудах входных сигналов. Процесс развития стохастической модуляции оказывается близким к тому, который теоретически рассчитан для неавтономного генератора с реактивной нелинейностью [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Testa J., Perez J., Jeffries C. // Phys. Rev. Lett. 1982. 48, N 11. P. 714.
 [2] Perez J. // Phys. Rev. A. 1985. 32, N 4. P. 2513. [3] Huberman B., Crutchfield J. // Phys. Rev. Lett. 1979. 43, N 23. P. 1743. [4] Müller J., Schieck E. // Solid State Electr. 1970. 13. P. 1319. [5] Марченко В. Ф. // Радиотехн. и электроника. 1977. 22, № 8. С. 1623. [6] Жмуров С. Е., Марченко В. Ф. // ФТП. 1986. 20, № 5. С. 918. [7] Дмитриев А. С., Кислов В. Я., Скуро А. Г. // Радиотехн. и электроника. 1983. 28, № 12. С. 2430.

Поступила в редакцию
07.09.87