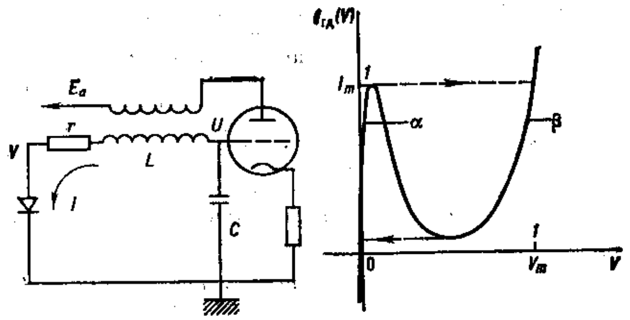

Рис. 2. Принципиальная схема (*а*) простого генератора шума — генератора Ван-дер-Поля, в сеточный контур которого добавлен туннельный диод. Вольт-амперная характеристика (*б*) нелинейного элемента — туннельного диода.

том с вольт-амперной характеристикой, представленной на рис. 2 *б*. Пока ток I в контуре и напряжение на сетке U малы, туннельный диод не оказывает существ. влияния на колебания в контуре, и они, как и в обычном ламповом генераторе, нарастают. При этом через туннельный диод течёт ток I, а напряжение на нём определяется ветвью α характеристики $I(V)$. Когда же ток I достигает значения I_m, происходит почти мгновенное переключение туннельного диода (быстрота переключения связана с малостью ёмкости C_1) — скачком устанавливается напряжение V_m. Затем ток через туннельный диод уменьшается и происходит его обратное переключение с участка β на α. В результате двух переключений туннельный диод почти полностью поглощает поступившую в контур энергию и колебания начинают снова нарастать. (При рассмотрении работы схемы характеристику лампы можно считать линейной; это оправдано тем, что в интересующем нас режиме колебания ограничиваются нелинейной характеристикой туннельного диода.) Т. о., генерируемый сигнал $U(t)$ представляет собой последовательность цугов нарастающих колебаний; окончание каждого цуга характеризуется скачком напряжения $V(t)$.

Для количественного описания работы схемы исходные ур-ния

$$LC\frac{dI}{dt} = (MS - rC)\,I + C\,(U - V),$$

$$C\frac{dU}{dt} = -I, \qquad \frac{dV}{dt} = I - I_{mD}(V)$$

преобразуют к безразмерному виду:

$$\dot{x} = 2hx \times y - gz, \quad \dot{y} = -x, \quad \mu\dot{z} = \dot{x} - f(z), \qquad (1)$$

где $x = I/I_m$, $z = V/V_m$, $y = U\sqrt{R}/I_m\sqrt{L}$, $\tau = t\sqrt{LC}$, $f(z) = I_{mD}(V_m z)/I_m$ — нормированная характеристика диода. Здесь $\mu = 9C_1/C$ — малый параметр ($\mu \ll 1$). Поэтому все движения в фазовом пространстве (рис. 3)

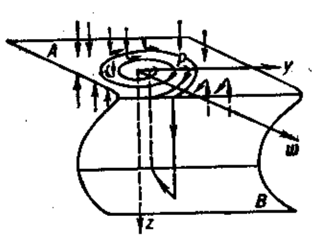

Рис. 3. Поведение траекторий в фазовом пространстве системы (1) при $\mu = 0$.

можно разбить на быстрые переключения диода (прямые $x = \text{const}$, $y = \text{const}$) и медленные, при к-рых напряжение на диоде «следит» за током; соответствующие траектории лежат на поверхностях A и B [$x = f(z)$, $f'(z) > 0$], отвечающих участкам α и β характеристики диода.

Система имеет одно неустойчивое [при $sh > g/f'(0)$] состояние равновесия $x = y = z = 0$ типа седло. Траектории, лежащие на поверхности A, раскручиваются вокруг неустойчивого фокуса и в конце концов достигают края поверхности A. Здесь происходит срыв точки, отображающей на фазовой траектории состояние системы (т. н. изображающей точки) по линии быстрых движений на поверхность B. Пройдя по B, изображающая точка срывается обратно на поверхность A и попадает в окрестность состояния равновесия — начинается новый цуг нарастающих колебаний. Построенная картина движения соответствует реализации, представленной на рис. 4, и её спектру мощности.

Отображение Пуанкаре, соответствующее ур-ниям (1), при $\mu = 0$ кусочно можно описать непрерывной ф-цией, график к-рой приведён на рис. 5. Линейный участок I с коэф. угла наклона, большим единицы,

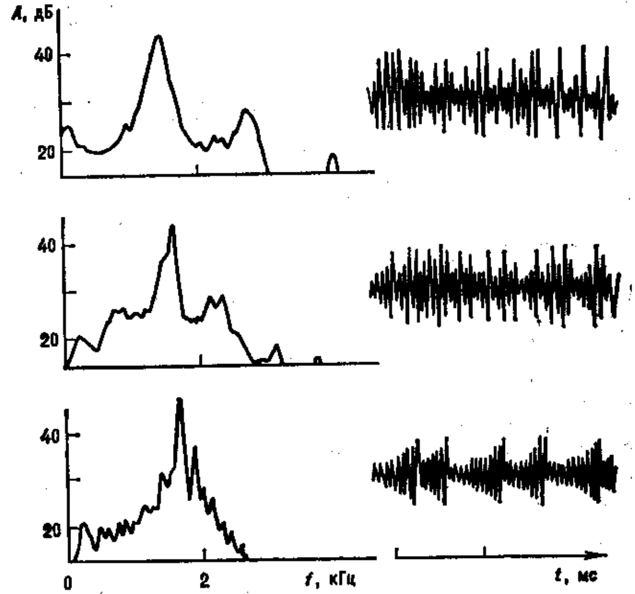

Рис. 4. Спектр мощности сигнала, генерируемого схемой, представленной на рис. 2а, и осциллограмма этого сигнала.

описывает раскручивание траектории на поверхности медленных движений A, соответствующей нарастанию колебаний в контуре. Участок II описывает этап возвращения траекторий, сорвавшихся с поверхности A на поверхность B, обратно на A (см. рис. 3). Все траектории, лежащие вне основания обозначенного пунктиром квадрата, входят в него при асимптотически

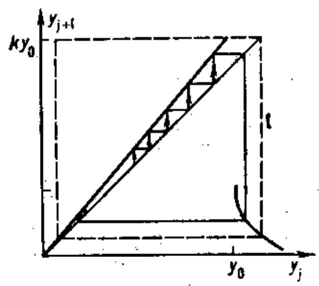

Рис. 5. График функции $f(x)$, описывающей динамику схемы рис. 2 при $\mu = 0$.

больших значениях времени, т. е. область D — поглощающая и содержит аттрактор. Все траектории внутри этой области неустойчивы, т. е. аттрактор является странным. При малых значениях $\mu > 0$ свойства стохастичности движений (как показывают численные исследования) сохраняются.