

УДК 621.373

В. К. Корнев

# О НЕСИНХРОННЫХ КОЛЕБАНИЯХ ВБЛИЗИ ПОЛОСЫ СИНХРОНИЗАЦИИ В ШИРОКОПОЛОСНОЙ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

В данной работе рассматривается влияние нелинейных свойств усилителя на характер несинхронных колебаний вблизи полосы синхронизации в широкополосной автоколебательной системе с запаздыванием, состоящей из нелинейного усилителя, вход и выход которого замкнуты линейной цепью запаздывающей обратной связи.

Известно, что для томсоновского автогенератора, находящегося в неавтономном режиме, форма несинхронных колебаний (биений) вблизи полосы синхронизации зависит от характера ограничения («мягкое» или «жесткое») отклонений амплитуды сигнала в системе от амплитуды стационарных автоколебаний [1]. Несмотря на различие механизмов синхронизации томсоновских генераторов (тушение собственных колебаний внешней силой) и систем релаксационного типа (захват частоты путем модуляции нелинейности внешней силой) можно ожидать, что и для рассматриваемых здесь автогенераторов форма несинхронных колебаний вблизи полосы синхронизации будет зависеть от характера нелинейности усилителя

$$U_{\text{вых}} = \Phi[U_{\text{вх}}].$$

Выделим два предельных случая рассматриваемых систем: 1) система с «мягким» ограничением отклонения амплитуды колебаний от амплитуды  $U_0$  стационарных автоколебаний:

$$\left| \frac{d}{dU} \Phi[U] \right|_{U=U_0} \ll 1$$

и 2) система с «жестким» ограничением:

$$\left| \frac{d}{dU} \Phi[U] \right|_{U=U_0} \sim 1.$$

В качестве рабочей использована модель автоколебательной системы [2—4], в рамках которой колебательный процесс описывается следующим нелинейным интегральным уравнением:

$$F[U(t)] = \int_0^t h_\delta(t - \xi) U(\xi) d\xi + f(t),$$

где  $F[\cdot]$  — «обратная» нелинейность усилителя, выражающая сигнал на входе усилителя  $F[U(t)]$  через сигнал на его выходе  $U(t)$ ;  $h_\delta(t)$  — импульсная реакция цепи обратной связи;  $f(t)$  — внешнее воздействие.

Для расчета несинхронных колебаний в неавтономной системе использован метод численного моделирования процесса [4]. Расчет про-

водился в два этапа. Сначала, задавая некоторое начальное воздействие  $f(t)$ , например, прямоугольный импульс, рассчитывали процесс установления собственных автоколебаний в автономном режиме на отрезке времени  $[0, t_1]$  порядка характерной длительности переходного процесса в такой системе. Затем, задавая для  $t > t_1$  гармоническое внешнее воздействие  $f(t) = v \cos(pt)$  и используя рассчитанные для  $t < t_1$  мгновенные значения сигнала  $U(t)$ , рассчитывали процесс установления колебаний в неавтономной системе на отрезке времени  $[t_1, t_2]$  порядка той же характерной длительности переходного процесса.

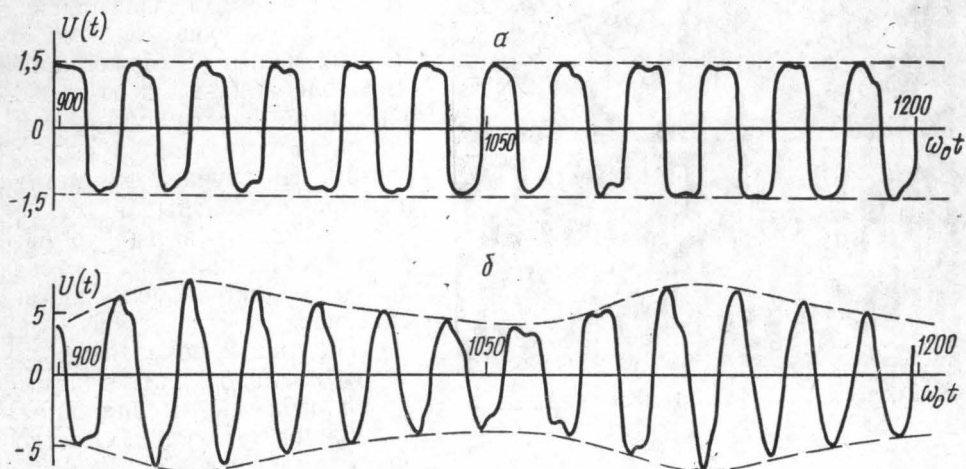


Рис. 1. Несинхронные колебания, рассчитанные для системы с «жестким» (а) и «мягким» (б) ограничением амплитудных отклонений ( $\omega_0$  — частота среза  $LC$ -цепи обратной связи)

На рис. 1 изображены несинхронные колебания, рассчитанные для системы с  $LC$ -цепочкой обратной связи из 6 звеньев. Расстройка частоты внешнего сигнала равна  $\xi = -0,17$ , амплитуда составляет 0,3 от амплитуды автоколебаний в автономном режиме. Первый процесс соответствует несинхронным колебаниям в системе с «жестким» ограничением амплитудных отклонений и, как видно из рисунка, не имеет явно выраженной огибающей. В случае системы с «мягким» ограничением амплитудных отклонений (второй процесс) несинхронные колебания имеют, как показано на рисунке, ярко выраженную огибающую. При чем по мере приближения частоты внешнего сигнала к границе полосы синхронизации форма огибающей становится все более несинусоидальной, а ее период возрастает. Из расчета следует, что частичное увлечение частоты основного тона внешней силой больше для системы с «мягким» ограничением амплитудных отклонений, чем для системы с «жестким» ограничением. Это объясняется тем, что в первом случае глубина модуляции нелинейности усилителя  $\left| \frac{d}{dU} \Phi[U] \right|_{U=U_0} v/U_0$  внешним сигналом значительно больше, чем во втором случае.

Такое поведение, как известно [1], типично для одночастотной неавтономной системы. Поэтому в первом приближении подобную широкополосную систему можно рассматривать как одночастотную, пренебрегая всеми гармониками, кроме основного тона. Однако, как показывает расчет, широкополосность рассматриваемой системы и на-

личие в ней дисперсии запаздывания обуславливают ряд особенностей, связанных с появлением в спектре несинхронных колебаний других, не эквидистантных между собой, собственных частот системы. Роль этих особенностей мала в рассматриваемом здесь случае сильной дисперсии

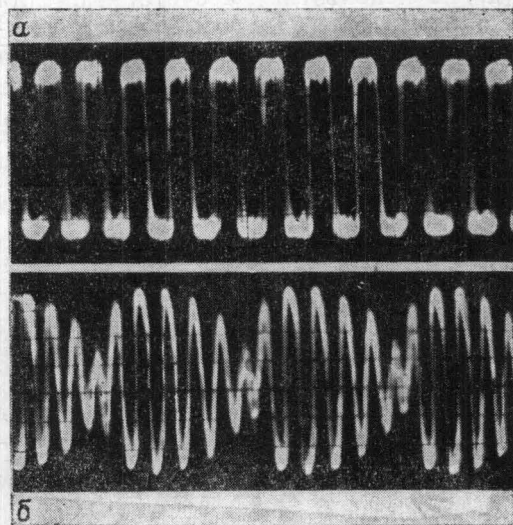


Рис. 2. Экспериментальные осциллограммы несинхронных колебаний в случае «жесткого» (а) и «мягкого» (б) ограничений амплитудных отклонений

запаздывания (число звеньев меньше 12), когда возможны только такие режимы генерации, в спектре которых преобладает амплитуда основного тона. При этом взаимодействие возбуждающихся собственных частот с гармониками автоколебания мало из-за значительной расстройки их частот и малости амплитуды гармоник. В случае же малой дисперсии запаздывания следует ожидать в первую очередь проявления свойств, связанных с широкополосностью системы.

На рис. 2 показаны экспериментально наблюдаемые осциллограммы несинхронных колебаний в случаях «жесткого» и «мягкого» ограничений амплитудных отклонений. Процессы засняты в режиме непрерывной развертки осциллографа при близких к расчет-

ным параметрам системы и внешнего воздействия. Экспериментальное исследование подтверждает правильность выбора модели для описания неавтономного режима генерации в рассматриваемых реальных автоколебательных устройствах.

В заключение автор выражает благодарность чл.-кор. АН СССР В. В. Мигулину за обсуждение результатов и внимание к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко А. С. Канд. дис. МГУ, 1971.
2. Азьян Ю. М., Мигулин В. В. «Радиотехника и электроника», 1956, 1, 4.
3. Азьян Ю. М., Снигирев О. В., Корнев В. К. «Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон.», 1974, 15, № 2.
4. Корнев В. К. «Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон.», 1977, 18, № 1, 92.

Поступила в редакцию  
4.6 1977 г.  
Кафедра  
физики колебаний