

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Д. Я. СВЕТ

**О ДЕМОДУЛЯЦИИ КОЛЕБАНИЯ, ОГРАНИЧЕННОГО
ПО АМПЛИТУДЕ**

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 23 III 1954)

1. В радиотехнике существует положение о невозможности демодуляции амплитудно-модулированного колебания после достаточно глубокого его ограничения по амплитуде.

Приведенное положение считается очевидным и доказывается тем (см., например, (1⁻³)), что амплитудная модуляция уничтожается, «срезается» ограничителем амплитуды. Более пристальное рассмотрение этого вопроса показывает, что это не совсем так.

2. Записав амплитудно-модулированное колебание до ограничения в виде

$$U = U_m \sin \omega t = U_n [1 + M(t)] \sin \omega t \quad (1)$$

и полагая, что $U_{\text{огр}} < (1 - M_{\text{макс}})$ (где $U_{\text{огр}}$ — порог ограничения, а $M_{\text{макс}}$ — наибольшее значение коэффициента глубины амплитудной модуляции, причем $M_{\text{макс}} < 1$), импульсное колебание $U_1(t)$, имеющее вид синусоидальной трапеции (с периодом $T = 2\pi\omega^{-1}$) на выходе ограничителя можем аналитически записать в виде схемы*

$$\begin{aligned} |U_1(t)| &= U_m \sin \omega t, & 0 < t \leq \nu; \\ |U_1(t)| &= U_{\text{огр}} = \text{const}, & \nu < t \leq \frac{T-2\nu}{2}; \\ U_1(t) &= U_m \sin \omega t, & \frac{T-2\nu}{2} < t \leq \frac{T+2\nu}{2}; \\ U_1(t) &= -U_{\text{огр}} = \text{const}, & \frac{T+2\nu}{2} < t \leq T-\nu; \\ U_1(t) &= U_m \sin \omega t, & T-\nu < t < T \text{ и т. д.} \end{aligned} \quad (2)$$

Из (2) видно, что, несмотря на уничтожение ограничителем амплитудной модуляции, последняя остается в виде медленных с частотой модулирующего колебания уклонений скорости нарастания и спада амплитуды импульса.

Используя существующий в области импульсной модуляции принцип терминологического образования, мы эти уклонения можем с полным основанием назвать модуляцией импульса по скорости или времени нарастания (спада) и, следовательно, трактовать процесс амплитудного ограничения как процесс преобразования одного вида модуляции в другой**.

* В целях упрощения выражений, но несколько не жертвуя принципиальной стороной вопроса, к анализу процессов преобразования мы в данном случае подходим «кинематически», т. е., говоря радиотехническим языком, полосу пропускания всех элементов преобразователя полагаем бесконечно широкой.

** Расширяя классическое понятие модулированного колебания как колебания, медленно уклоняющегося от гармонического (4), на импульсно-модулированные колебания.

Анализируя интервал времени $\nu = \nu(t)$ импульсного колебания, модулированного по времени нарастания (2), при поставленном выше условии $U_{огр} / U_{мин} < 1$, имеем

$$\nu(t) = \frac{T}{2\pi} \arcsin \frac{U_{огр}}{U_n} [1 - M(t) + M^2(t) - M^3(t) + \dots], \quad (3)$$

т. е. коэффициент глубины модуляции по времени нарастания от степени амплитудного ограничения не зависит.

Процесс модуляции по времени нарастания сопровождается в данном случае нелинейными искажениями. Причиной последних является нелинейная зависимость (3) между временем нарастания и амплитудой колебания.

3. Демодуляция колебания (2) может быть осуществлена при помощи нелинейного элемента, имеющего П-образную, в частности прямоугольную, вольт-амперную зависимость (см. рис. 1).

При подаче на вход такого элемента колебания (2) и условии, что $U_{огр} > U'_0$, напряжение на выходе будет получаться в виде прямоугольных импульсов с амплитудой U_A и длительностью

$$\tau_i = \frac{T}{2\pi} \arcsin \frac{U'_0}{U_m}, \quad (4)$$

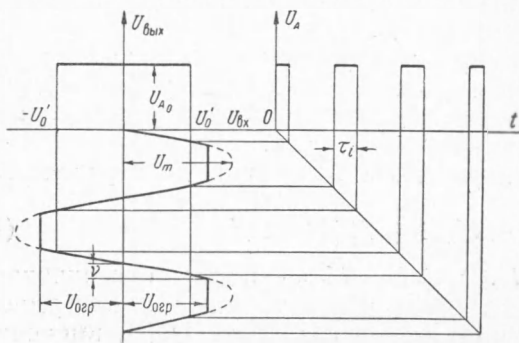


Рис. 1

т. е. в такой системе модуляция по времени нарастания преобразуется в модуляцию по длительности*.

Очевидно, что при таком процессе модулирующее колебание может быть непосредственно выделено на выходе системы, но процесс демоду-

ляции, как показано в (3), будет сопровождаться при больших значениях M значительными нелинейными искажениями.

Для неискаженной демодуляции выделим из спектра прямоугольных импульсов с амплитудой U_{A_0} составляющую основной частоты

$$U_{A_1} = \frac{2U_{A_0}U'_0}{\pi U_m} \sin 2\omega t. \quad (5)$$

Преобразуя колебание (5) при помощи второго элемента с прямоугольной зависимостью, которую запишем как

$$\begin{aligned} U &= U_{B_0}, & -U''_0 < U < +U''_0; \\ U &= 0, & -U''_0 > U > +U''_0, \end{aligned}$$

для постоянной составляющей напряжения U_{B_0} на выходе преобразователя получим выражение

$$U_{B_0} = \beta U_m + \frac{\beta^3 U_m^3}{3} + \frac{1.3\beta^5 U_m^5}{2.4 \cdot 5} + \dots, \quad (6)$$

где

$$\beta = \frac{U_{B_0}U''_0}{U_{A_0}U'_0}; \quad U_m = U_n [1 + M(t)].$$

* Процесс получения в системе с П-характеристикой широтно-импульсной модуляции был описан в (5).

Таким образом, демодуляция возможна, причем величина нелинейных искажений может быть теоретически сколь угодно малой.

Парадоксальность полученного результата является следствием того, что в процессе ограничения амплитуды, при «достаточно широкой полосе пропускания» амплитудная модуляция не уничтожается, как это принято считать, а преобразуется в новый вид импульсной модуляции «по скорости нарастания (спадания)».

Неискаженная демодуляция такого вида колебаний обусловливается тем, что в рассмотренном методе преобразования амплитудная характеристика весьма близка к гиперболической ⁽⁶⁾.

Поступило
23 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. С. Гоноровский, Частотная модуляция, 1948. ² Г. А. Левин, Ю. М. Гадиев, Электросвязь, № 5, 1939 (1939). ³ Hund, Frequency Modulation, 1948. ⁴ Rayleigh, Sci. Papers., 4, 486. ⁵ Д. Я. Свет, Авт. свид. № 70455, 1944. ⁶ Д. Я. Свет, ДАН, 97, № 2 (1954).