

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.38.2029.6

Х. А. АБДЕЛЬ ФАТТАХ

### РАСЧЕТ АМПЛИТУДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБКРИТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ НА $n$ — GaAs

Исследованию субкритических усилителей (СКУ) на образцах из  $n$ -GaAs, имеющих произведение  $nL \leq 10^{12} \text{ см}^{-2}$  (где  $n$  — концентрация электронов, равная концентрации доноров при полной ионизации,  $L$  — длина образца) и работающих при электрических полях, меньше порогового значения генерации, посвящено много работ [1, 2, 3]. Однако вопрос о расчете зависимости коэффициента усиления от амплитуды входного сигнала и о механизме, приводящем к отклонению амплитудной характеристики от линейной, не рассмотрен. В данной заметке предложен метод расчета амплитудной характеристики и, следовательно, зависимости проводимости СКУ от амплитуды входного сигнала.

Зависимость нормированной отрицательной проводимости образцов из  $n$ -GaAs, имеющих  $nL \approx 10^{12} \text{ см}^{-2}$ , от значения электрического поля  $\beta$ , выраженного в относительных единицах [3], дается выражением

$$G_H = \frac{(4\pi^2 - \xi^2)(1 - \xi - e^{-\xi}) + 8\pi^2\xi}{(1 - \xi - e^{-\xi})^2 + 4\pi^2} = G_- \frac{L^2}{\epsilon A v_{01}}, \quad (1)$$

где

$$\xi = \frac{n\mu q}{\epsilon} \frac{L}{v_{01}} (1 + \gamma), \quad \gamma = -\frac{4\beta^4}{1 + \beta^4}, \quad \beta = \frac{E}{E_H} = \frac{v}{v_H} = \frac{v}{v_-},$$

$n$ ,  $\mu$ ,  $q$ ,  $v_{01}$  — концентрация, подвижность, заряд и скорость электронов,  $U_H$  и  $E_H$  — пороговое напряжение и поле генерации. На рис. 1 показана эта зависимость. Как видим,  $G_H$  имеет максимальное значение при  $\beta$  около единицы. Такой вид кривой может быть аппроксимирован в виде квадратичного полинома вблизи рабочей точки (точка максимума отрицательной проводимости)

$$G_- = -|G_M| \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_0} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где  $G_M$  — максимальное значение отрицательной проводимости. На рис. 1 выражение (2) показано пунктирной кривой, в общем виде  $G_M$  и  $v_0$  зависят от значений  $n$  и  $L$ .

Исходя из энергетических соображений, можно найти значение эффективной проводимости при воздействии сигнала, изменяющегося по гармоничному закону с амплитудой  $v$ . Поскольку средняя величина энергии, отдаваемой активным образцом за период в нагрузку, должна быть равна средней энергии, выделяемой на эффективной проводимости за этот же интервал времени [4], получим

$$G_{\text{эф}} = -|G_M| \left[ 1 - \frac{1}{4} \left( \frac{v}{v_0} \right)^2 \right]. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет учитывать зависимость проводимости и, следовательно, коэффициента усиления от амплитуды сигнала. Рассмотрим случай регенеративного проходного усилителя, где в качестве активного элемента используются образцы из  $n$ -GaAs. Эквивалентная схема усилителя может быть представлена в виде параллельного соединения проводимости образца  $G_{эф}$  и суммарной проводимости нагрузки и резонатора  $G$ . Вносимый коэффициент усиления по напряжению задается выражением

$$k = \frac{G}{G + G_{эф}}, \quad (4)$$

напряжение  $v$  равно сумме входного и выходного сигналов, т. е.  $v = u_{вх} + ku_{вх} = u_{вх}(1+k)$ , где  $u_{вх} = \sqrt{\frac{2P_{вх}}{G}}$ ,  $u_{вх}$  и  $P_{вх}$  — амплитуда и мощность входного сигнала;

$$G_{эф} = -|G_M| \left[ 1 - \frac{1}{2} \frac{P_{вх}}{G} \frac{(1-k)^2}{v_0^2} \right] = -|G_M| [1 - \gamma P_{вх} (1+k)^2], \quad (5)$$

где

$$\gamma = \frac{1}{2Gv_0^2} = \frac{1}{2\beta_0 v_0^2 |G_M|},$$

$\beta_0 = G/|G_M|$  — коэффициент связи, который определяет значение коэффициента усиления.

На рис. 2 построена теоретическая зависимость  $P_{вых}$  от  $P_{вх}$  при значении коэффициента усиления по мощности на малом сигнале  $k_{п0} = 9$ ,  $v_0 = 20$  в,  $|G_M| = 0,01 \text{ } \Omega^{-1}$ . График 2 показывает, что амплитудная характеристика остается линей-

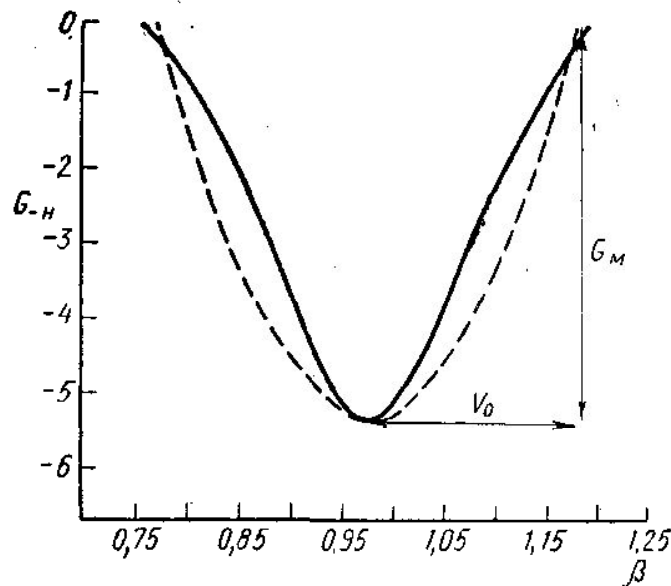


Рис. 1

ной вплоть до значения входной мощности порядка  $10^{-3}$  вт. Чтобы получить более наглядное представление о влиянии различных параметров на область линейности, представим (4) в следующем виде:

$$k^2 = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = \left| \frac{\beta_0}{(\beta_0 - 1) + \gamma P_{вх} (1+k)^2} \right|^2. \quad (6)$$

Из (6) можно определить значение входной мощности  $P_{вх1}$ , при которой происходит уменьшение коэффициента усиления на малом сигнале  $k_0 = \beta_0/(\beta_0 - 1)$  в  $\alpha_0$  раз. Тогда из (6) получим

$$P_{вх2} = \frac{\beta_0 (\alpha_0 - 1) \alpha_0^2}{\gamma (k_0 + \alpha_0)^3}. \quad (7)$$

Поскольку коэффициент усиления на малом сигнале  $k = \beta_0/(\beta_0 - 1)$  является заданной величиной и не зависит от мощности входного сигнала, то из (7) для фиксирован-

ного значения  $\alpha_0$  (т. е. для определенной степени отклонения от линейности) следует:  $P_{вх1} \sim 1/\gamma$ . Отсюда линейный диапазон амплитудной характеристики можно расширить, уменьшая значение  $\gamma = \frac{1}{2|G_m|v_0^2\beta_0}$ . Однако величина  $\beta_0$  определяет коэффициент усиления на малом сигнале  $k_0$  и обычно задана. Поэтому для расширения диапазона линейности остается только увеличить значения  $|G_m|$  и  $v_0$ . Это значит, необходимо работать при максимально отрицательной проводимости  $G_- = \frac{\epsilon v_0 A}{L} G_H$  (из (1)), которую следует установить за счет подбора значения  $A$ ,  $L$  и  $G_H$ . Величина проводимости  $G_H$  зависит от произведения  $nL$  и имеет максимальное значение при  $nL \sim 10^{12}$ , однако это значение критическое, усилитель может возбудиться при напряжении  $\beta \sim 1$ , соответствующем максимуму отрицатель-

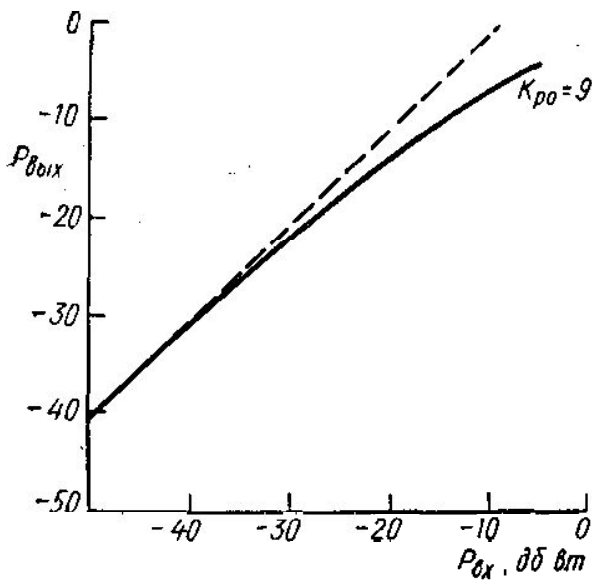


Рис. 2

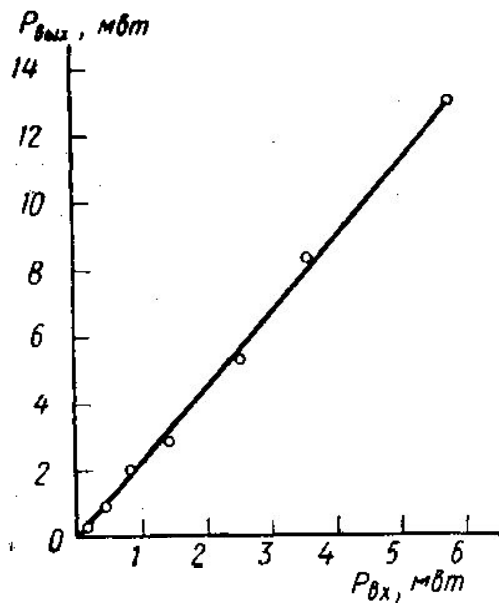


Рис. 3

ной проводимости. Поэтому наиболее подходящим значением является  $nL \sim 5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , так как усилитель устойчив, легко установить рабочую точку в минимуме кривой  $G_H(\beta)$  (максимум отрицательной проводимости).

Из (7) вытекает также, что для различных режимов усилителя (различные коэффициенты усиления  $k_0$ ) и при малом фиксированном значении  $\alpha_0$  мощность  $P_{вх1}$  падает пропорционально  $k_0^{-3}$ .

Для сравнения с результатом расчета была снята экспериментально амплитудная характеристика проходного СКУ на образцах, имеющих  $nL \approx 10^{12}$  по схеме [3], и при коэффициенте усиления  $k_0 \approx 2$  (для обеспечения стабильности усилителя) и показана на рис. 3. Амплитудная характеристика остается линейной вплоть до значения выходной мощности  $\approx 20 \text{ мвт}$ .

Следует обратить внимание на экспериментальные результаты работы [5] для СКУ отражательного типа, в которой было установлено, что выходная мощность насыщения растет с ростом произведения  $nL$ , достигая максимума ( $\approx 100 \text{ мвт}$ ), при этом амплитудная характеристика остается линейной до выходной мощности  $\approx 40 \text{ мвт}$  и  $nL \approx 10^{11}$ , а при дальнейшем увеличении  $nL$  мощность насыщения падает.

Автор выражает благодарность В. В. Мигулину за внимание к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Nakki B. W. J. Appl. Phys., 38, No. 2, 1967.
2. Thim H. W. Appl. Phys. Lett., 7, 176, 1965.
3. Абдель Фаттах Х. А., Ржевкин К. С. «Радиотехника и электроника», 14, № 7, 1969.
4. Воронцов Ю. И., Ржевкин К. С. «Радиотехника и электроника», 7, вып. 6, 1064, 1962.
5. Hayes R. E. IREE Trans, ED—15, 185, 1968.

Поступила в редакцию  
26.5 1969 г.

Кафедра  
физики колебаний