

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ  
ПРИБОРЫ  
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

\*

*Сборник статей*

27

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРНОГО УСИЛИТЕЛЯ С ЭМИТТЕРНЫМ ВХОДОМ НА ЧАСТОТАХ, БЛИЗКИХ К ГРАНИЧНОЙ

**Введение.** Важным элементом многих радиотехнических схем является индуктивность. Ее функцию при определенных условиях могут выполнять различные полупроводниковые приборы и схемы [1—5], в частности усилитель на транзисторе с эмиттерным входом. Входное сопротивление такого усилителя на частотах, близких к граничной, имеет индуктивный характер. В данной работе приводятся результаты исследования входного сопротивления усилителя с эмиттерным входом в широком диапазоне частот.

### РАСЧЕТ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ УСИЛИТЕЛЯ С ЭМИТТЕРНЫМ ВХОДОМ

Принципиальная схема усилителя для переменного тока представлена на рис. 1, а его эквивалентная схема — на рис. 2. Полное входное сопротивление усилителя [6] выражается формулой

$$Z_{Вх} = R + jX = Z_{э1} + Z_{б1}(1 - \alpha_1) + Z_{б2}\alpha_2 + j[Z_{э2} + Z_{б2}(1 - \alpha_1) - Z_{б1}\alpha_2], \quad (1)$$

где  $R, X$  — активная и реактивная составляющие входного сопротивления;  $Z_{э1} = r_o / [1 + (2\pi f r_o c_{эп})^2]$  — активная составляющая полного сопротивления эмиттерного перехода;  $Z_{э2} = -2\pi f r_o^2 c_{эп} / [1 + (2\pi f r_o c_{эп})^2]$  — реактивная составляющая полного сопротивления эмиттерного перехода;

$$Z_{б1} = \frac{(r_б + R_б) (1 - 4\pi^2 f^2 c_{к1} c_{к2} R_б r_б) +}{(1 - 4\pi^2 f^2 c_{к1} c_{к2} R_б r_б)^2 +} + \frac{4\pi^2 f^2 R_б r_б [c_{к2} R_б + c_{к1} (r_б + R_б)] c_{к2}}{+ 4\pi^2 f^2 [c_{к2} R_б + c_{к1} (r_б + R_б)]^2}$$

— активная составляющая полного сопротивления базы;

$$Z_{02} = \frac{2\pi f \{ c_{к2} R_6 r_6 (1 - 4\pi^2 f^2 c_{к1} c_{к2} R_6 r_6) - \dots}{(1 - 4\pi^2 f^2 c_{к1} c_{к2} R_6 r_6)^2 + \dots} - \frac{[c_{к2} R_6 + c_{к1} (r_6 + R_6)] (r_6 + R_6) \dots}{+ 4\pi^2 f^2 [c_{к2} R_6 + c_{к1} (r_6 + R_6)]^2}$$

— реактивная составляющая полного сопротивления базы;  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  — соответственно активная и реактивная составляющие комплексного коэффициента передачи по току [7]. По формуле (1) был проведен расчет входного

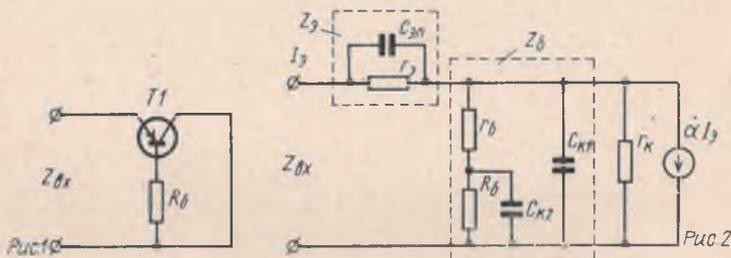


Рис. 1. Схема индуктивного транзистора по переменному току.

Рис. 2. Эквивалентная схема индуктивного транзистора.

сопротивления усилителя на транзисторе типа МП104 (рис. 3) с дополнительным сопротивлением базы  $R_6 = 10$  Ом и на транзисторе типа П411 (рис. 4) с  $R_6 = 100$  Ом. Данные для расчета получены в соответствии с методикой, предложенной в работе [7].

Как видно из графиков (рис. 3, 4), на частотах, близких к граничной ( $f_\alpha = 400$  кГц для транзисторов МП104 и  $f_\alpha = 400$  МГц для транзистора П411), входное сопротивление имеет индуктивный характер, обусловленный конечным временем пролета неосновных носителей в области базы. С ростом частоты выше граничной наблюдается уменьшение реактивной составляющей входного сопротивления, а при дальнейшем повышении частоты входное сопротивление меняет характер и становится емкостным (рис. 4). Активная составляющая входного сопротивления с увеличением частоты растет. Однако на сверхвысоких частотах этот рост менее значителен.

Экспериментальное исследование частотной зависимости входного сопротивления. На низких частотах измерение активной и реактивной составляющих входного сопротивления проводилось при помощи фазового метода. Экспериментальная установка для проведения этих ис-

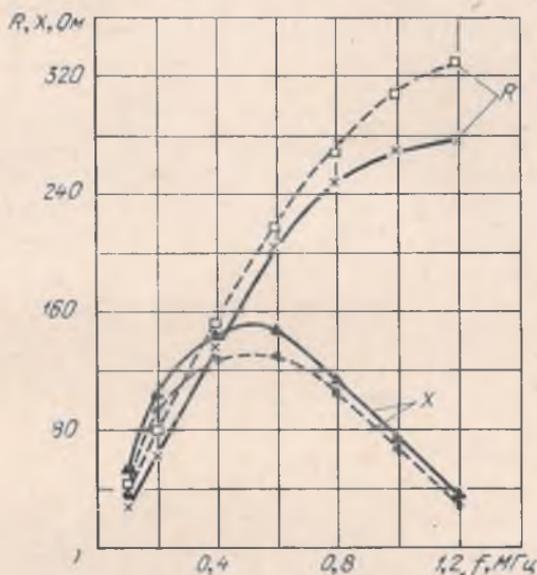


Рис. 3. Экспериментальные (—) и расчетные (---) зависимости активной  $R$  и реактивной  $X$  составляющих входного сопротивления индуктивного транзистора типа МП104 от частоты.  $I_0 = 3$  мА;  $U_k = 5$  В.

следований описана в работе [8]. Погрешность измерений была в пределах  $\pm 10\%$ . Экспериментальные результаты для транзистора МП104 представлены на рис. 3. Как видно из графиков, совпадение расчетных и экспериментальных кривых удовлетворительное.

Для определения входного сопротивления в диапазоне сверхвысоких частот применялся метод, основанный на измерении параметров стоячей волны в измерительной коаксиальной линии, нагруженный на исследуемый усилитель. Основная трудность при измерениях состояла в учете паразитных емкостей и индуктивностей. Для учета паразитных элементов транзистора короткое замыкание измерительной линии, при определении услов-

ного конца, осуществлялось макетом транзистора. Погрешность эксперимента определялась путем измерения величины эквивалентного комплексного сопротивления и была в пределах  $\pm 15\%$ . Исследование входного сопротивления усилителя на транзисторе П411 с дополнительным базовым сопротивлением  $R_6 = 100$  Ом проводилось в диапазоне 400—600 МГц (рис. 4).

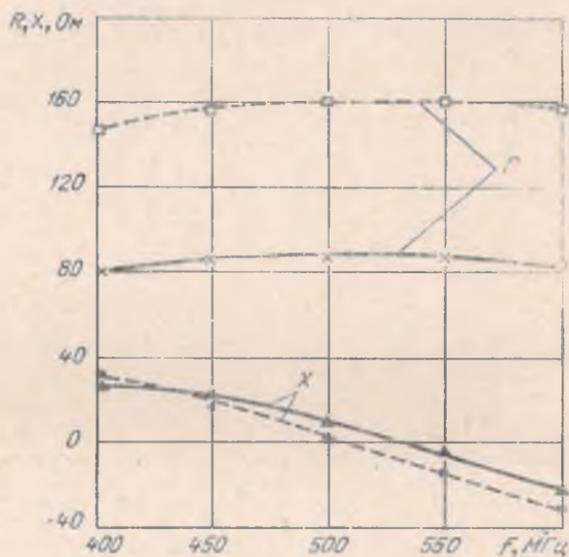


Рис. 4. Экспериментальные (—) и расчетные (---) зависимости активной  $R$  и реактивной  $X$  составляющих входного сопротивления индуктивного транзистора типа П411 от частоты.  $I_a = 8$  мА;  $U_k = -5$  В.

Сравнение расчетных и экспериментальных результатов показывает удовлетворительное совпадение кривых для реактивной составляющей входного сопротивления и существенное различие для активной составляющей, что, по-видимому, обусловлено неточностью учета базового сопротивления и паразитной базовой индуктивности [7].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pritchard R. L. «Proc. IRE», 1952, v. 40, № 11, p. 1476.
2. Ladany I. On analysis at inertial inductance in a junction diode.— «IRE Trans.», 1960, v. ED-7, № 10, p. 303—310.

3. Авакьянц Г. М., Гринберг И. С., Мурыгин В. И. К вопросу об индуктивности полупроводниковых диодов.— В кн.: Электронно-дырочные переходы в полупроводниках. Изд-во АН Узб. ССР, 1962.

4. Dill H. G. Semiconductor inductive elements.— «Semiconductor Products», 1962, v. 5, № 5.

5. Иглицын М. И., Фистуль В. И. Индуктивные свойства тонких электронно-дырочных переходов в полупроводниках.— Доклады АН СССР, 1963, т. 149, № 3.

6. Атабеков Г. И. Основы теории цепей. М., «Энергия», 1969.

7. Транзисторы. Параметры, методы измерений и испытаний. Под ред. И. Г. Бергельсона, Ю. А. Каменецкого, И. Ф. Николаевского. М., «Сов. радио», 1968.

8. Некрасов М. М., Осадчук В. С. Измерения действительной и мнимой частей полного сопротивления полупроводниковых приборов на высоких частотах.— В кн.: Полупроводниковая техника в микроэлектронике. Вып. 1, Киев, «Наукова думка», 1966.