

5174

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 5174



М. Дражев

ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ
И ЭКСПАНДЕРНО-ПОРОГОВОЕ УСТРОЙСТВО

1970

13 - 5174

М. Дражев

**СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ
И ЭКСПАНДЕРНО-ПороГОВОЕ УСТРОЙСТВО**

**Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ**

Высокое разрешение современных полупроводниковых детекторов может быть реализовано, если параметры элементов спектрометрического тракта обеспечивают не только необходимое отношение сигнал-шум, но и высокую стабильность коэффициента усиления или передачи при возможных изменениях рабочих условий: напряжения питания, температуры окружающей среды, амплитуды и частоты следования сигналов. Перечисленные требования предъявляются в особой степени к спектрометрическому усилителю и соответственно к экспандерному блоку.

1. Усилитель

Линейный неперегружающийся усилитель (УС-100/40), который используется в течении последних лет в ЛНФ/1,2/, построен на базе классической "тройки" (см. рис. 1) с гальванической связью между каскадами. Усилитель охвачен общей отрицательной обратной связью по переменному и по постоянному току, что позволяет без усложнения схемного решения обеспечить достаточно высокую стабильность рабочих точек и всех параметров.

Коэффициент усиления отдельных каскадов такой "тройки" будет равен:

$$K_1 \approx \frac{h_{11\ominus} h_{21\ominus} R_{k_1}}{(h_{11\ominus} + R_{k_1})(h_{11\ominus} + h_{21\ominus} R)} \quad (1)$$

$$K_2 \approx \frac{h_{21\ominus} R_{k_2} (h_{11\ominus} + h_{21\ominus} R_H)}{h_{11\ominus}^2}, \quad (2)$$

$$K_3 \approx \frac{h_{21\ominus} R_H}{h_{11\ominus} + h_{21\ominus} R_H}, \quad (3)$$

где R_{k_n} - эквивалентное сопротивление нагрузки соответствующего каскада, R_{\ominus} - эквивалентное сопротивление в эмиттерной цепи, R_H - сопротивление нагрузки выходного эмиттерного повторителя.

Тогда, в предположении одинаковости параметров транзисторов, общий коэффициент усиления для средних частот без обратной связи будет иметь вид:

$$K_0 = K_1 K_2 K_3 \approx \frac{h_{21\ominus}^3 R_{k_1} R_{k_2} R_H}{h_{11\ominus} (h_{11\ominus} + R_{k_1}) (h_{11\ominus} + h_{21\ominus} R_{\ominus})}, \quad (4)$$

и для $h_{11\ominus} = 10^3$ ом, $h_{21\ominus} = 70$, $R_{k_1} = 0,7 \cdot 10^3$ ом, $R_{k_2} = 1,2 \cdot 10^3$ ом, $R_H = 10^2$ ом и $R_{\ominus} = 27$ ом $K_0 = 6 \cdot 10^3$.

Так как делитель в цепи общей обратной связи есть

$$\beta \approx \frac{R_{\ominus}}{R_{\ominus} + R_{OC}}, \quad (5)$$

где R_{OC} - эквивалентное сопротивление в цепи обратной связи ($R_{OC} = R_{24} || R_{25} + R_{26}$)
фактор обратной связи по переменному току $1 + \beta K_0 \approx 60$ и коэффициент усиления усилителя дается выражением

$$\frac{1}{K} \approx \frac{h_{11\ominus} (h_{11\ominus} + R_{k_1}) (h_{11\ominus} + h_{21\ominus} R_{\ominus})}{h_{21\ominus}^3 R_{k_1} R_{k_2} R_H} + \frac{R_{\ominus}}{R_{\ominus} + R_{OC}}. \quad (6)$$

Независимо от простоты схемного решения из-за большого фактора обратной связи изменение напряжения питания (+12в) приводит к незначительному изменению коэффициента усиления ($10^{-4}/\%$, см. рис. 2), что позволяет снизить требования к источнику питания. Зависимость остальных параметров от изменения постоянного напряжения питания (полное входное сопротивление, внутреннее сопротивление и изменение рабочих точек по постоянному току показаны на рис. 3, рис. 4 и рис. 5).

Дополнительное снижение температурной зависимости обеспечивается применением термистора (R_{26}) в цепочке обратной связи (см. рис. 6), и коэффициент усиления изменяется примерно на 0,08% при изменении температуры от 15 до 50°C (см. рис. 7), а зависимость коллекторного тока третьего транзистора от температуры приведена на рис. 8.

Общая обратная связь позволяет не только улучшить линейность (на нагрузке в 100 ом в диапазоне 0-10 в дифференциальная нелинейность не превышает $\pm 0,2\%$, см. рис. 9), но и получить достаточно малое время нарастания (35 нсек) и хорошие показатели входной и выходной цепи без применения входного и сложного выходного эмиттерных повторителей. Так, полное входное сопротивление усилителя, которое дается выражением

$$Z_{ВХ} \approx \frac{h_{21\ominus}^3 R_{k_1} R_{k_2} R_H R_{\ominus}}{(h_{11\ominus} + R_{k_1}) (h_{11\ominus} + h_{21\ominus} R_{\ominus}) R_{OC}}, \quad (7)$$

имеет величину порядка $60 \cdot 10^3$ ом (см. рис. 3). Высокое полное входное сопротивление позволяет использовать простой входной делитель ($R_4 \dots R_{14}$ - с шагом деления $\approx 1,5$) без дополнительных компенсационных элементов.

Внутреннее сопротивление усилителя выражается следующим образом:

$$R_i \approx \frac{R_{\ominus} R_{OC} h_{11\ominus} (h_{11\ominus} + R_{k_1}) (h_{11\ominus} + h_{21\ominus} R_{\ominus})}{h_{21\ominus}^3 R_{k_1} R_{k_2} R_H R_{\ominus}} \quad (8)$$

и равно примерно 1,5 ом (см. рис. 3, рис. 10, рис. 11 и рис. 12).

Гальваническая связь между каскадами и стабильность рабочих точек облегчают получение хороших перегрузочных характеристик в частотном и амплитудном отношении, и в случае стократной амплитудной перегрузки время восстановления коэффициента усиления до 0,99 K_0 для импульсов с длительностью 0,5 мксек меньше чем 1,5 мксек (см. рис. 13 и 14).

Константы дифференцирования и интегрирования усилителя регулируются в пределах от 50 нсек до 5 мксек, и при этом параметры выходного сигнала меняются незначительно при изменении коэффициента усиления (см. рис. 15).

В усилителе предусмотрен дополнительный высокоомный вход контрольных сигналов, а также согласованные (50 или 100 ом) выходы (низкоомные выходы используются только в случае согласования кабелей передачи в приемном конце).

Инвертирующий трансформатор на выходе позволяет простейшим способом получать одновременно и импульсы положительной полярности. Такой трансформатор в случае необходимости может быть применен и на входе; зависимость его коэффициента передачи от амплитуды импульсов (для малых и больших амплитуд) иллюстрируется рис. 16 и рис. 17. Величина этого коэффициента передачи K очень близка к единице (намотка биффилярная - $N_p = N_s$), и потери обуславливаются почти исключительно сопротивлением первичной и вторичной обмотки R_p и R_s :

$$K \approx \frac{R_1 + R_H}{R_1 + R_H + R_p + R_s}, \quad (9)$$

где R_1 - сопротивление источника сигналов, а R_H - сопротивление нагрузки.

При этом собственное время нарастания трансформатора (без выбросов) меньше 5 нсек, а эквивалентная время-константа $\tau_{\text{эkv}} (R_p \approx R_s \ll R_H)$ равна:

$$\tau_{\text{эkv}} \approx \frac{L(R_1 + R_H)}{R_H(R_1 + R_p)}, \quad (10)$$

здесь L -индуктивность обмотки.

Усилитель позволяет каскадирование (максимальный коэффициент усиления 10^4 , время нарастания ≈ 50 нсек), и для обеспечения оптимального соотношения сигнал/шум коэффициент усиления первой секции должен выбираться максимальным, а второй - минимально возможным.

Основные параметры спектрометрического усилителя приведены в табл. 1.

Таблица 1

1. Полярность входных импульсов	отрицательная
2. Полярность выходных импульсов	отрицательная и положительная одновременно
3. Коэффициент усиления	2 100
4. Шаг регулирования коэффициента усиления	$\approx 1,5$
5. Собственное время нарастания	35 нсек
6. Входное сопротивление без входного делителя	50 ком
7. Входное сопротивление с входным делителем	1 ком (50 или 100 ом)
8. Внутреннее сопротивление	1,5 ом и 50 ом (100 ом)
9. Дифференциальная нелинейность	$\pm 0,2\%$
10. Константы дифференцирования и интегрирования	50 нсек 5 мсек
11. Температурная зависимость	эквивалент $5 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$
12. Зависимость коэффициента усиления от изменения напряжения питания ($\pm 12\text{в}$)	$10^{-4}/\%$
13. Шумы, приведенные к входу для максимальной полосы пропускания	14 мкв эфф.
14. Время восстановления при стократной амплитудной перегрузке	2,5 мс и +12 в 14 ма -12 в 14 ма
15. Питание	
16. Расчётный критерий надежности	$3,1 \cdot 10^{-6}/\text{час}$
17. Число транзисторов	3

2. Экспандерно-пороговое устройство

Прецизионное пороговое устройство для измерения амплитудных характеристик спектрометрических трактов (см. рис. 18)/1,2,3/ используется совместно со спектрометрическим усилителем и в качестве экспандера для "растяжения" исследуемых спектров.

Поскольку в /3/ приводится информация только о его работе как измерительного устройства с постоянной амплитудой на выходе, ниже рассматривается его применение в "экспандерном" режиме.

В таком режиме первостепенное значение имеет не только стабильность величины порога U_0 (см. рис. 19, 20 и 21), но и постоянство, с которым сохраняется величина коэффициента передачи λ , поскольку амплитуда выходного сигнала $U_{\text{вых}}$ определяется непосредственно ими:

$$U_{\text{вых}} \approx \lambda (U_{\text{вх}} - U_0), \quad (11)$$

где $U_{\text{вх}}$ - амплитуда входных импульсов.

Общий характер передаточной функции экспандера для разных амплитуд входных сигналов и величины порога иллюстрируется рис. 22, и а на рис. 23 представлен характер функции передачи в области небольших амплитуд входных сигналов.

Интегральная и дифференциальная нелинейность экспандера в зависимости от амплитуды входных импульсов для разных величин порога приводятся на рис. 24 и рис. 25, а на рис. 26 и 27 показана зависимость амплитуды выходных импульсов от изменения напряжений питания (± 12 в) и изменения температуры (для разных величин порога и амплитуды входных сигналов).

Наконец, рис. 28 позволяет получить представление об уровне собственных шумов экспандера и оптимально достижимом амплитудном разрешении δ в зависимости от амплитуды входных импульсов при небольшой амплитуде выходного сигнала. Основные параметры экспандерно-порогового устройства приведены в табл. 2.

Таблица 2

1. Полярность входных и выходных импульсов	отрицательная
2. Амплитуда входных импульсов	0 10 в
3. Входное сопротивление	100 ком (100 ом)
4. Амплитуда выходных импульсов	0 10 в

5. Внутреннее сопротивление	1,5 ом (100 ом)
6. Величина порога	0,2.... 10 в
7. Точность установления порога	лучше 0,05%
8. Коэффициент передачи	0,97
9. Интегральная нелинейность	$\pm 0,1\%$
10. Дифференциальная нелинейность	см.рис. 25
11. Шумы и пролезание подпороговых сигналов	меньше 1 мв
12. Температурная зависимость порога	эквивалент $3 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
13. Температурная зависимость коэффициента передачи	эквивалент $3 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
14. Зависимость величины порога от напряжений питания (± 12 в)	меньше $6 \cdot 10^{-4}/\%$
15. Зависимость коэффициента передачи от изменения напряжений питания (± 12 в)	меньше $6 \cdot 10^{-4}/\%$
16. Питание	+12 в 58 ма -12 в 58 ма
17. Расчётный коэффициент надежности	$5,5 \cdot 10^{-6}/\text{час}$
18. Число транзисторов	3

Л и т е р а т у р а

1. М. Дражев, Р. Краузе. Материалы симпозиума по ядерной электронике. Варна, 1969, стр. 145-151, Дубна, 1969.
2. М. Дражев. Препринт ОИЯИ, 3-3637, Дубна, 1968.
3. М. Дражев, Р. Краузе, С. Паржицкий. Препринт ОИЯИ, 13-3913, Дубна, 1968.

Рукопись поступила в издательский отдел

10 июня 1970 года.

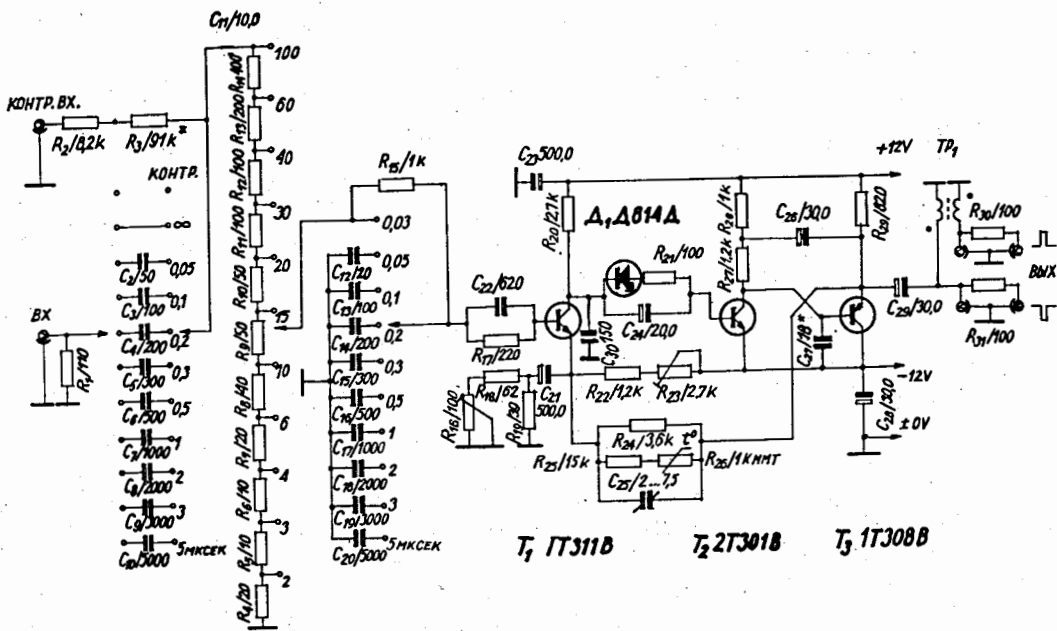


Рис. 1. Принципиальная схема спектрометрического усилителя.

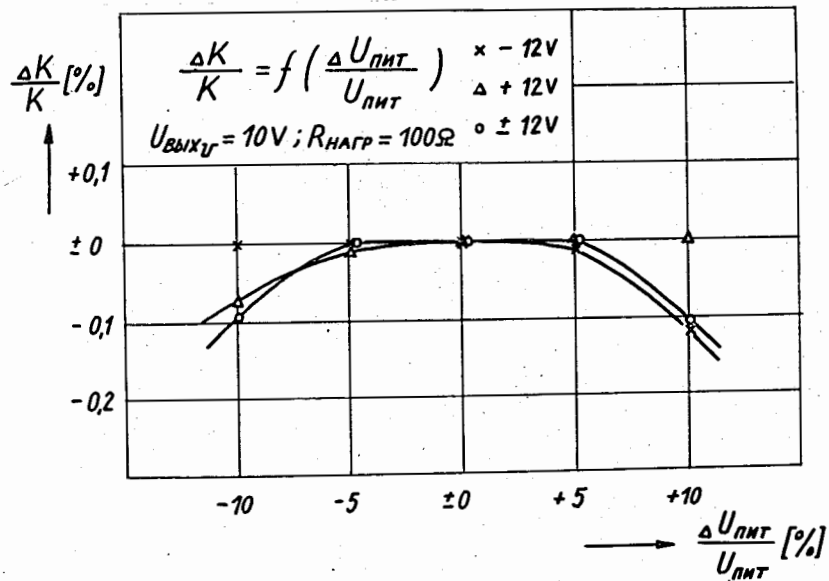


Рис. 2. Относительное изменение коэффициента усиления как функция напряжения питания (± 12 в). Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

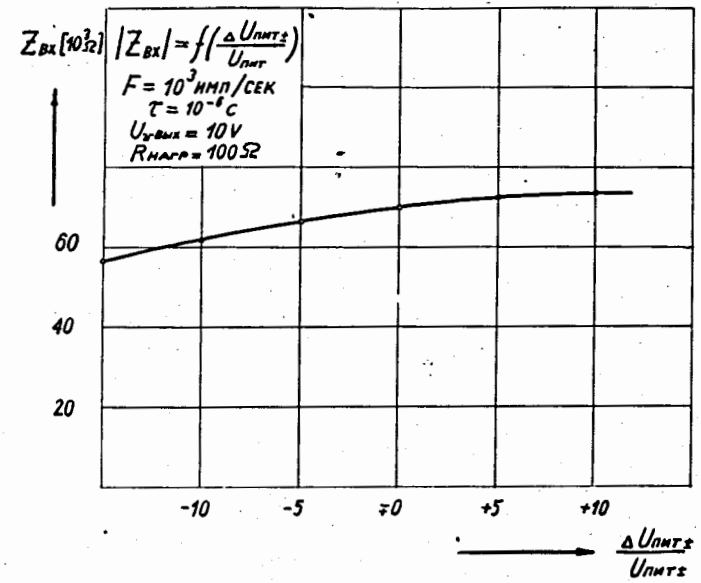


Рис. 3. Зависимость величины полного входного сопротивления усилителя (в 10^3 ом - без входного делителя) от изменения напряжений питания (± 12 в). Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

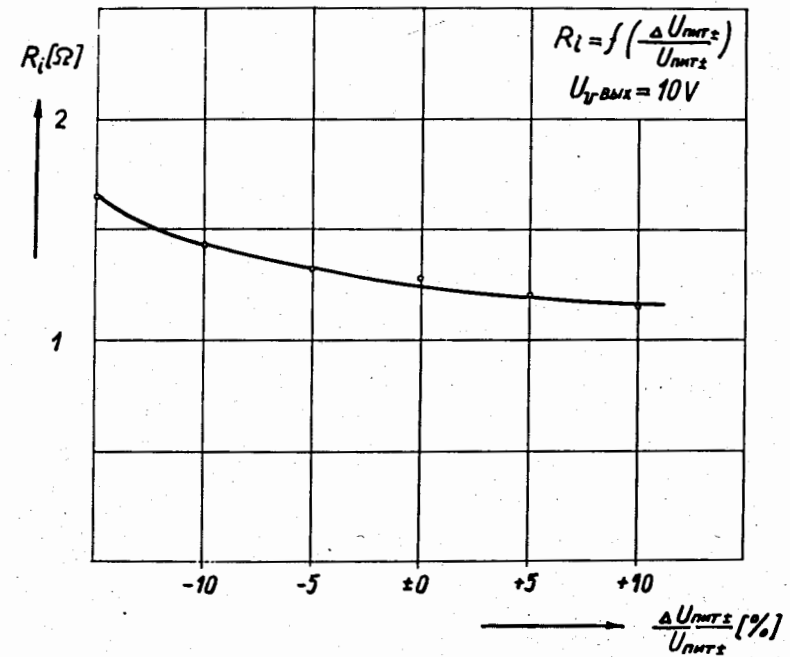


Рис. 4. Зависимость величины внутреннего сопротивления от изменения напряжений питания (± 12 в). Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

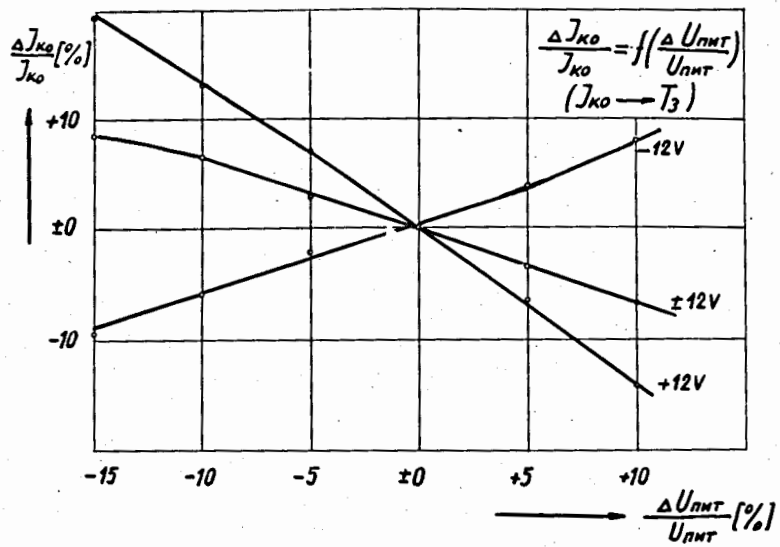


Рис. 5. Сохранение рабочих точек по постоянному току при изменении напряжений питания - изменение коллекторного тока I_{k0} третьего транзистора.

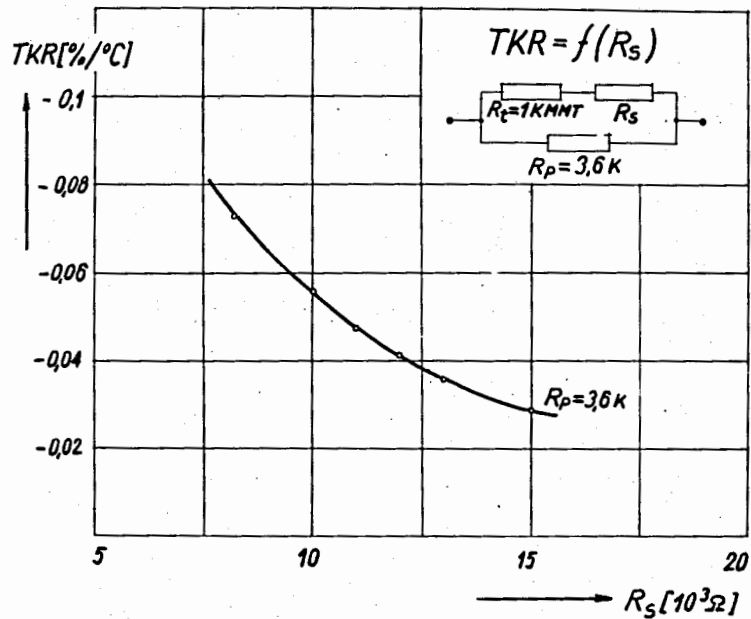


Рис. 6. Температурный коэффициент цепочки обратной связи в зависимости от величины последовательного сопротивления R_s (R_{25} на рис. 1).

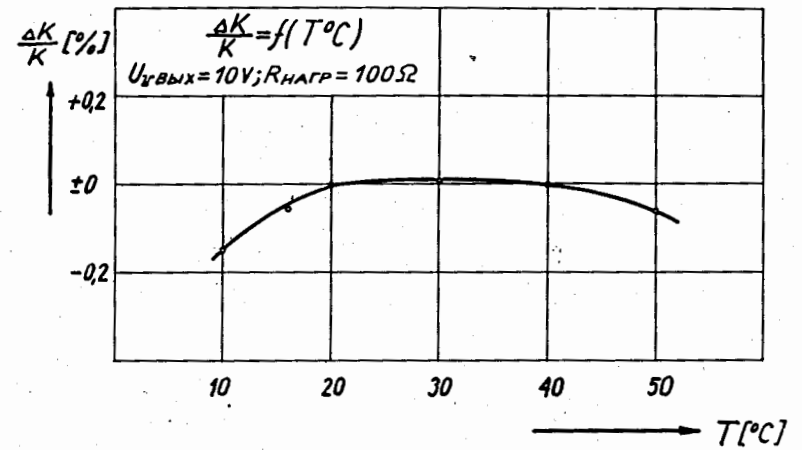


Рис. 7. Относительное изменение коэффициента усиления как функции изменения температуры. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

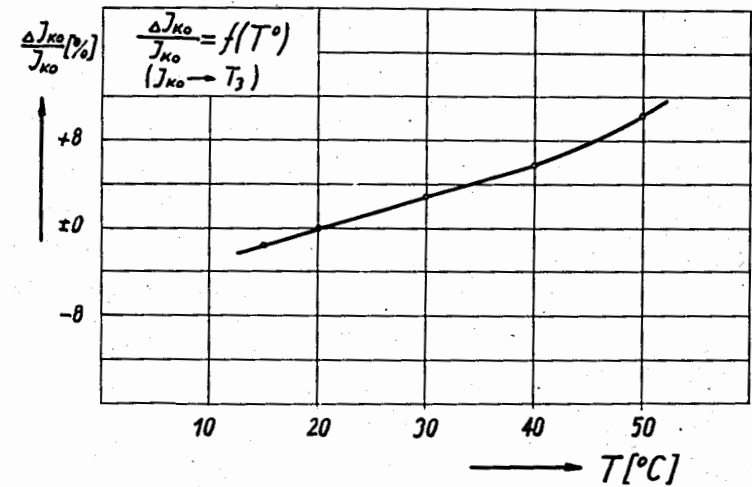


Рис. 8. Сохранение рабочих точек транзисторов по постоянному току при изменении температуры - относительное изменение величины коллекторного тока третьего транзистора.

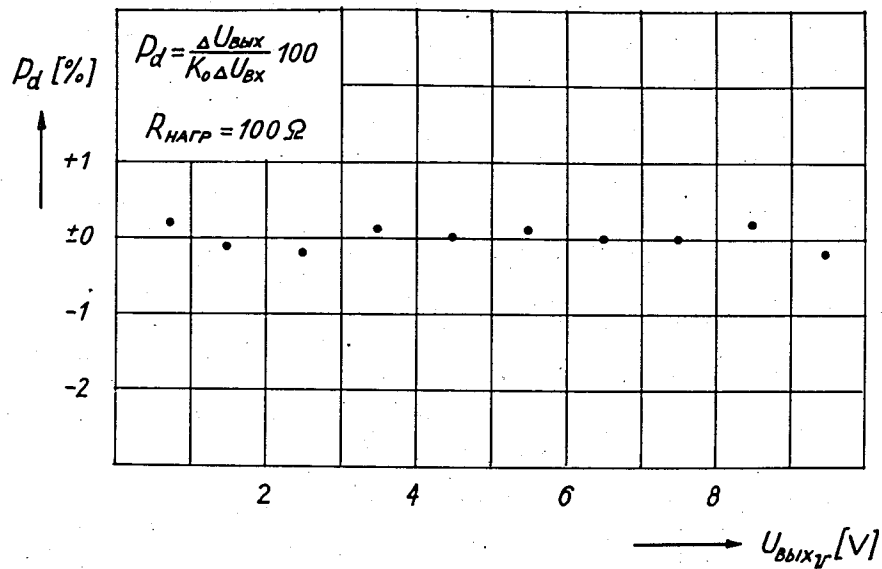


Рис. 9. Дифференциальная нелинейность усилителя в зависимости от амплитуды выходного сигнала. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

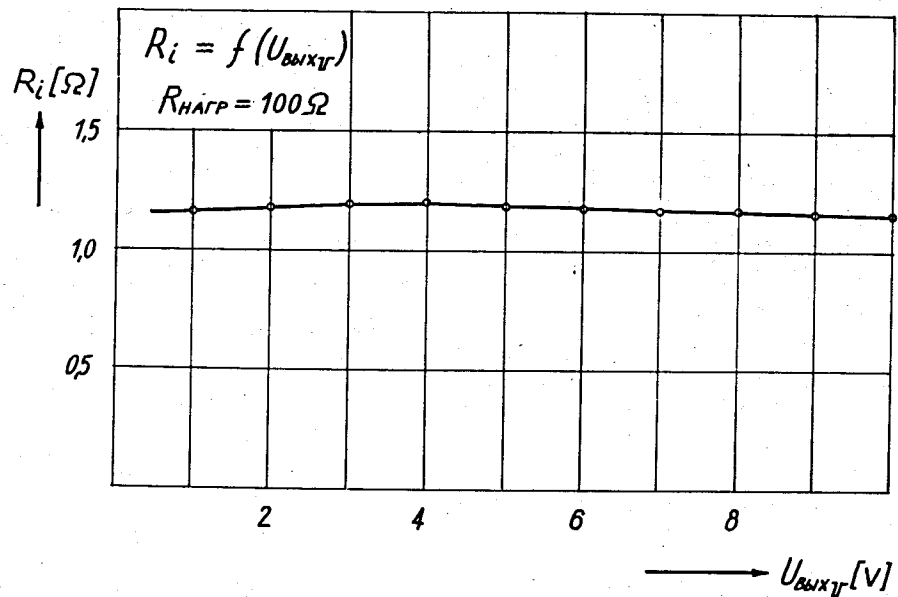


Рис. 10. Внутреннее сопротивление усилителя как функция амплитуды выходного сигнала. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

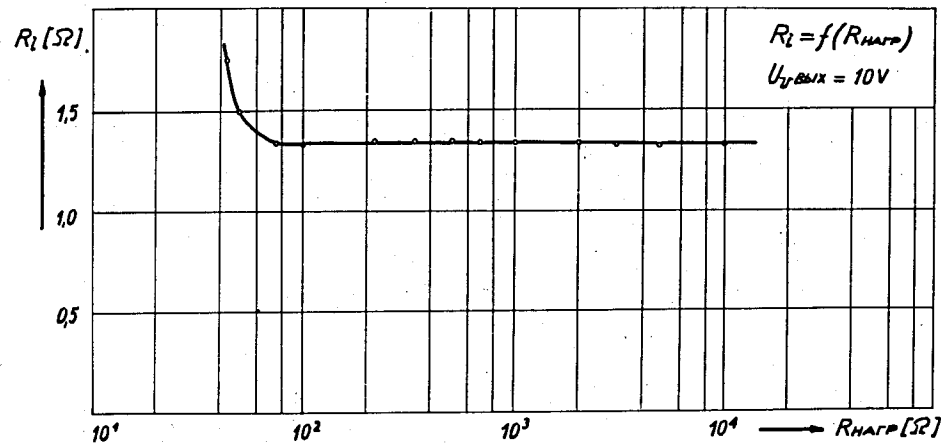


Рис. 11. Внутреннее сопротивление усилителя в зависимости от сопротивления нагрузки. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

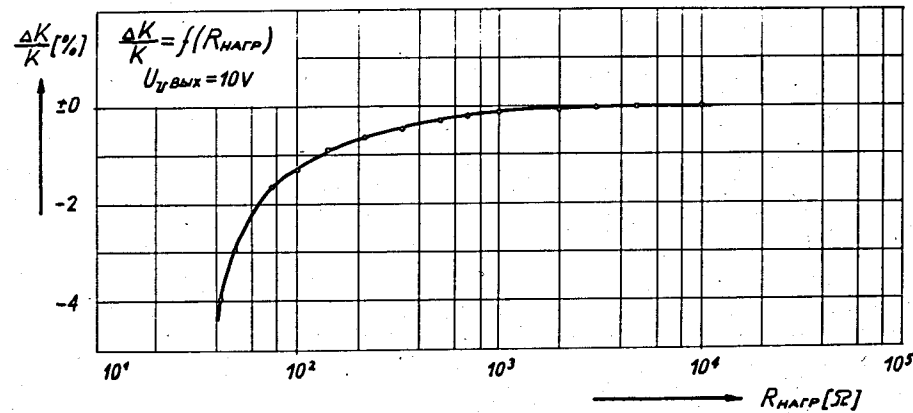


Рис. 12. Относительное изменение коэффициента усиления как функция сопротивления нагрузки, частота повторения - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек.

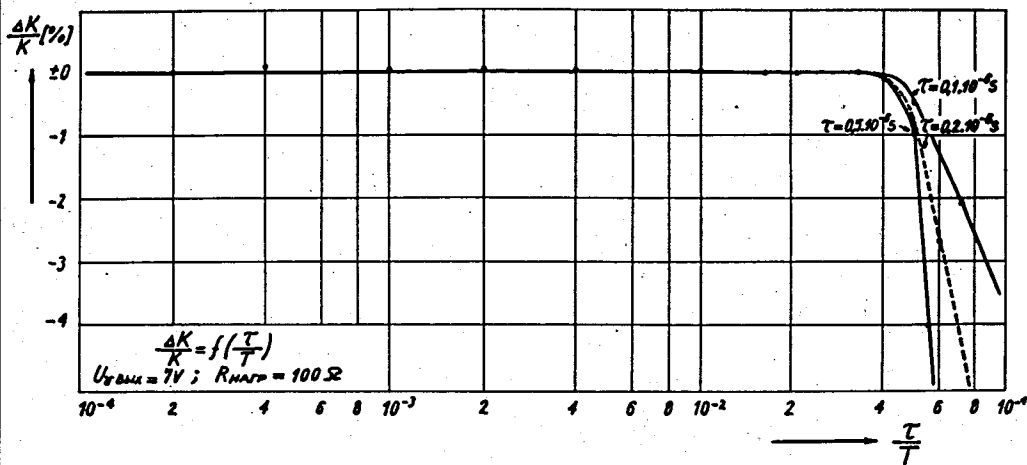


Рис. 13. Относительное изменение коэффициента усиления в зависимости от коэффициента заполнения.

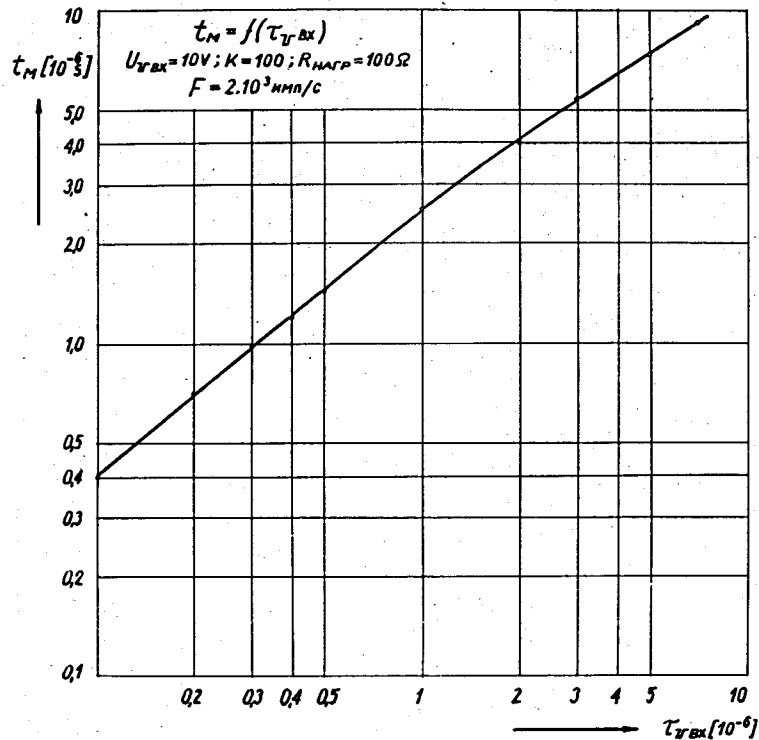


Рис. 14. Время восстановления коэффициента усиления до величины 0,99 в 10^{-6} сек как функция длительности импульсов.

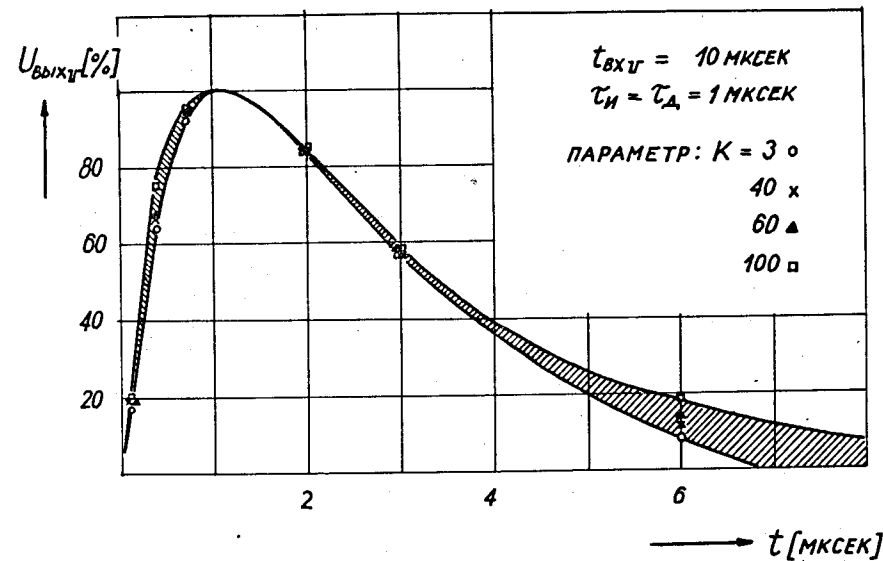


Рис. 15. Изменение формы нормированного выходного сигнала в зависимости от коэффициента усиления. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность входного импульса - 10^{-5} сек, константы дифференцирования и интегрирования - 10^{-6} сек.

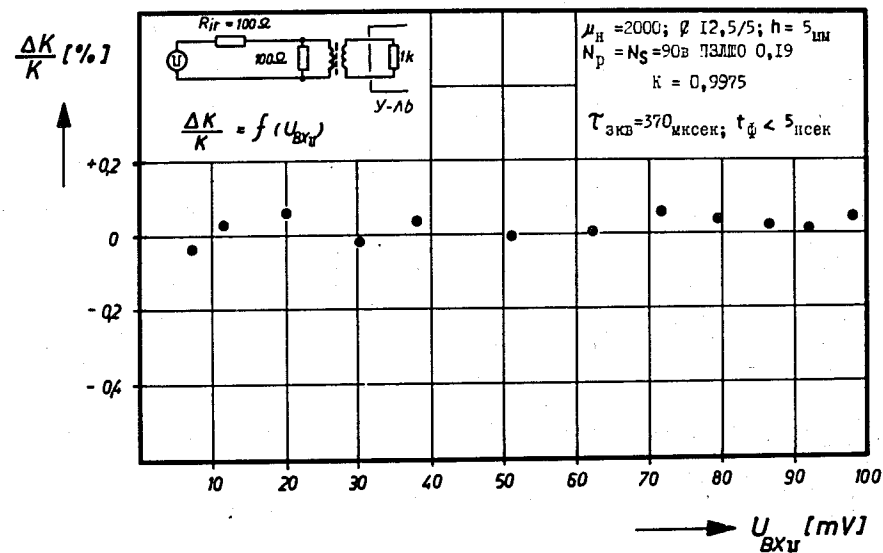


Рис. 16. Относительное изменение коэффициента передачи инвертирующего трансформатора на входе усилителя ($K = 0,9975$) в зависимости от амплитуды входных импульсов. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность входного импульса - 10^{-6} сек.

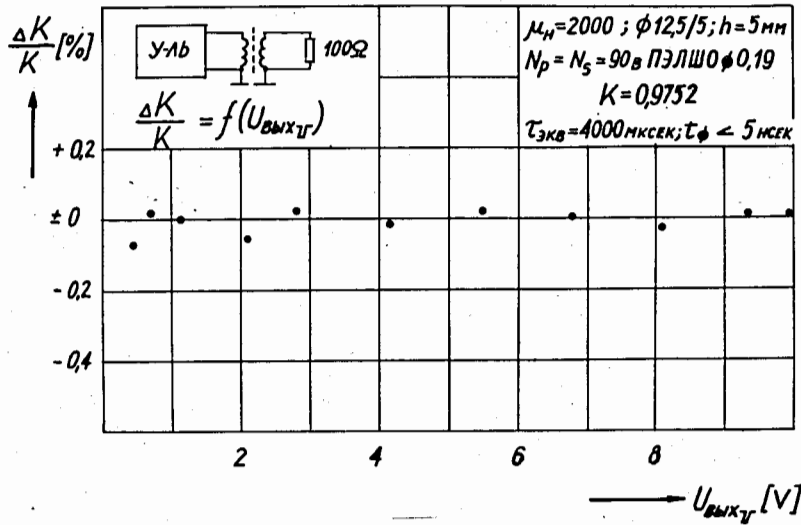


Рис. 17. Относительное изменение коэффициента передачи инвертирующего трансформатора на выходе усилителя ($K = 0,9752$) в зависимости от амплитуды выходных импульсов. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек, нагрузка 100 ом.

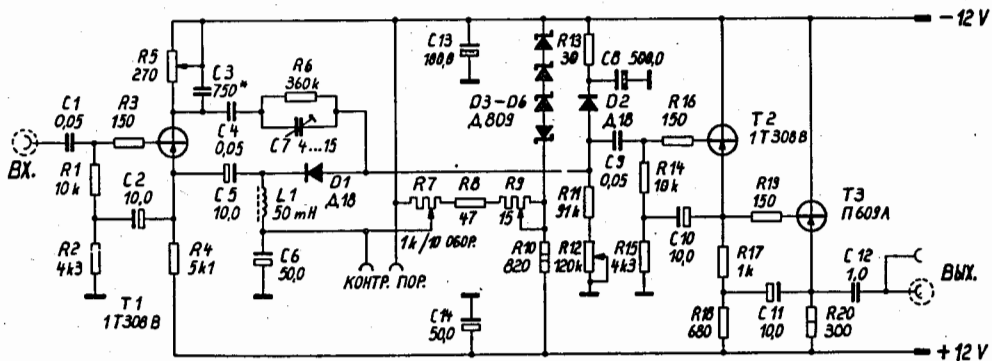


Рис. 18. Принципиальная схема экспандерно-порогового устройства.

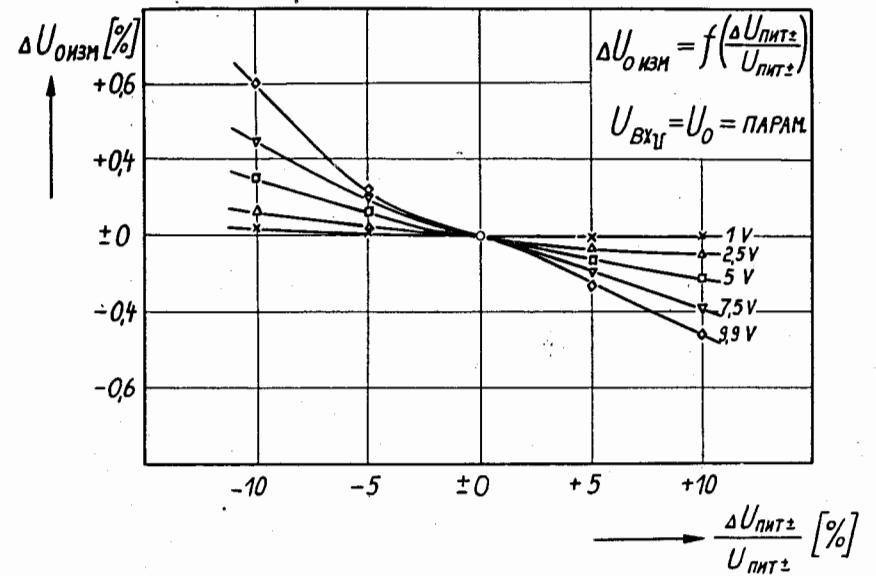


Рис. 19. Относительное изменение величины порога U_0 в зависимости от относительного изменения напряжений питания ($\pm 12 \text{ В}$).

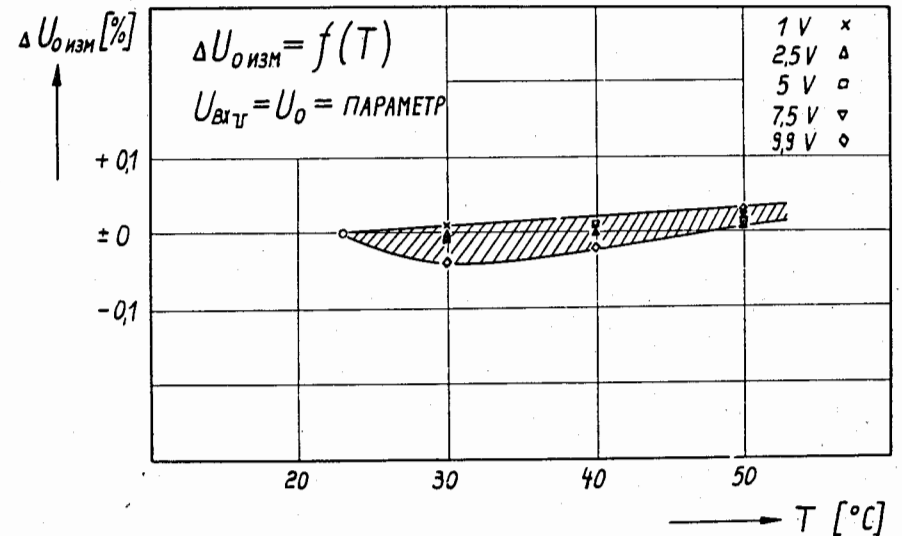


Рис. 20. Относительное изменение величины порога U_0 в зависимости от изменения температуры.

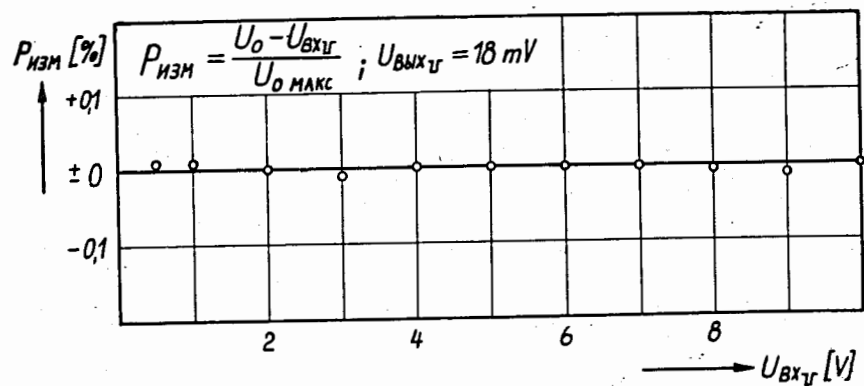


Рис. 21. Максимальное отклонение (точность) при измерении амплитуды импульсов от генератора контрольных сигналов.

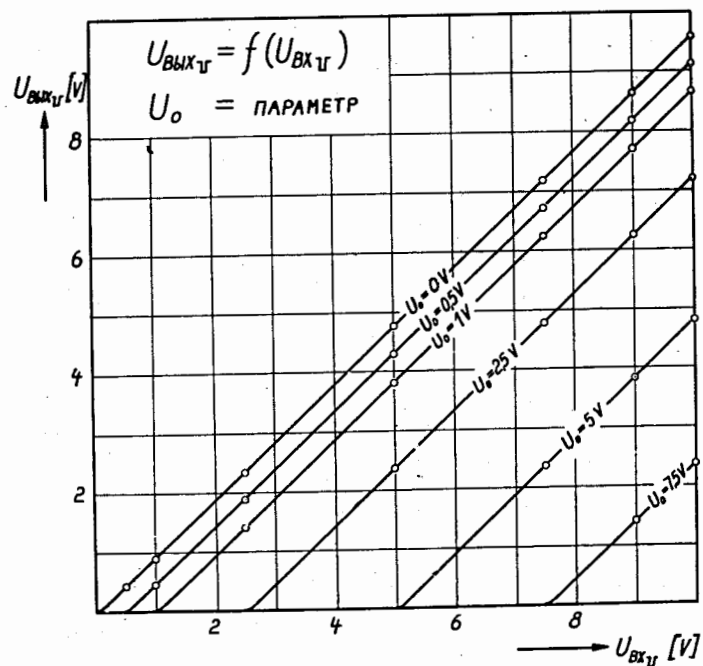


Рис. 22. Амплитуда импульсов на выходе экспандера как функция амплитуды входных сигналов для разных напряжений порога. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек, нагрузка - 100 ом.

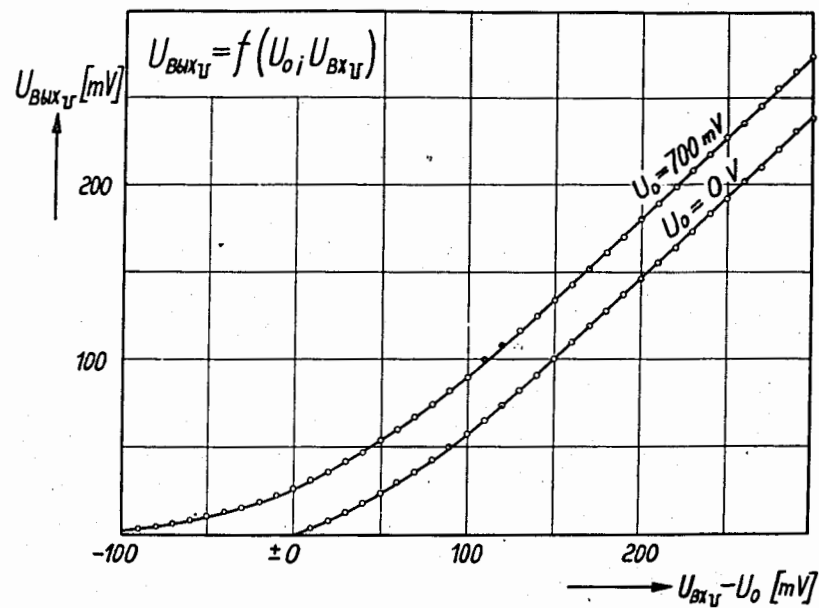


Рис. 23. Передаточная характеристика экспандера в области малых амплитуд выходного сигнала. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек, нагрузка - 100 ом.

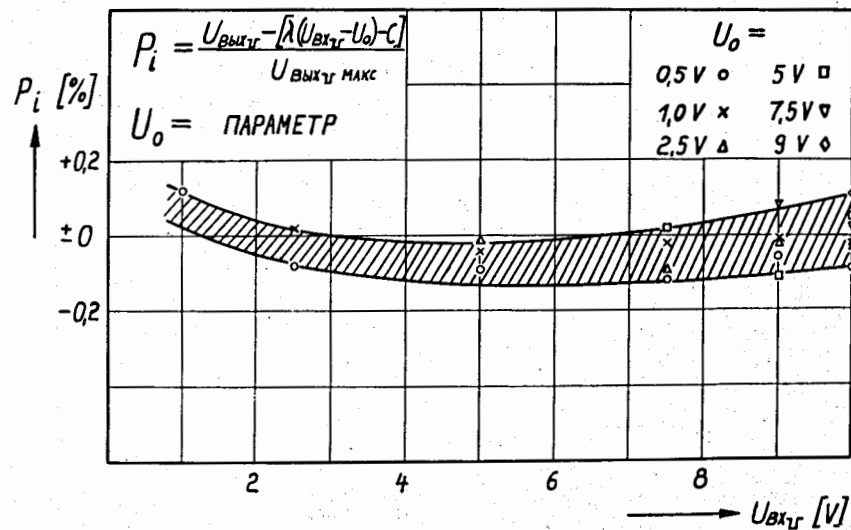


Рис. 24. Интегральная нелинейность экспандера как функция амплитуды выходных сигналов для разных величин порога. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек, нагрузка - 100 ом.

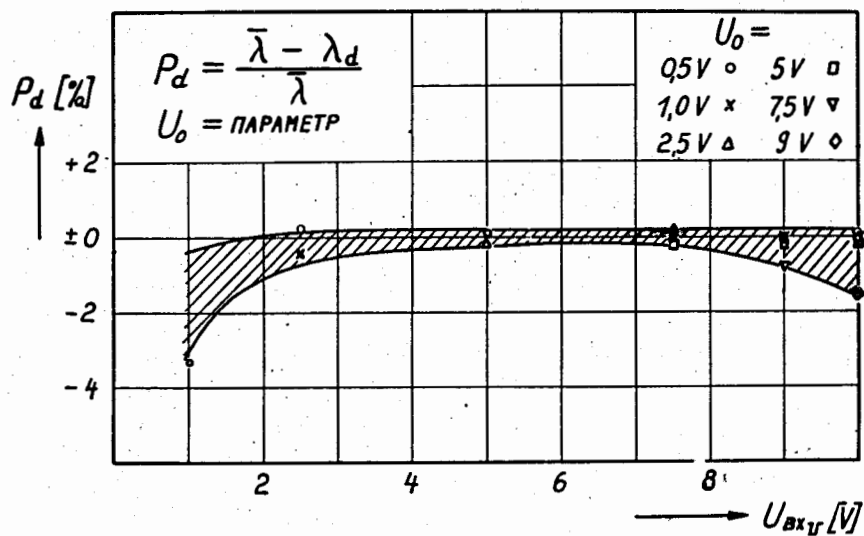


Рис. 25. Дифференциальная нелинейность экспандера как функция амплитуды выходных сигналов для разных величин порога. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек, нагрузка - 100 ом.

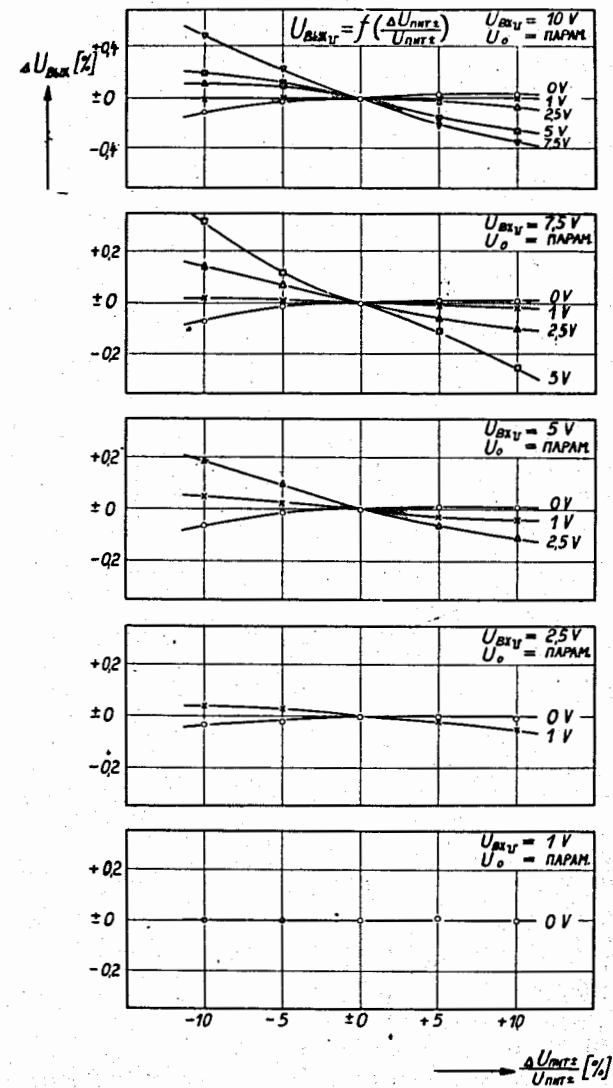


Рис. 26. Относительное изменение амплитуды выходных импульсов в зависимости от относительного изменения напряжений питания (± 12 в) для разных амплитуд входных сигналов и величин порога. Частота следования - 10^3 имп/сек, длительность - 10^{-6} сек, нагрузка 100 ом.

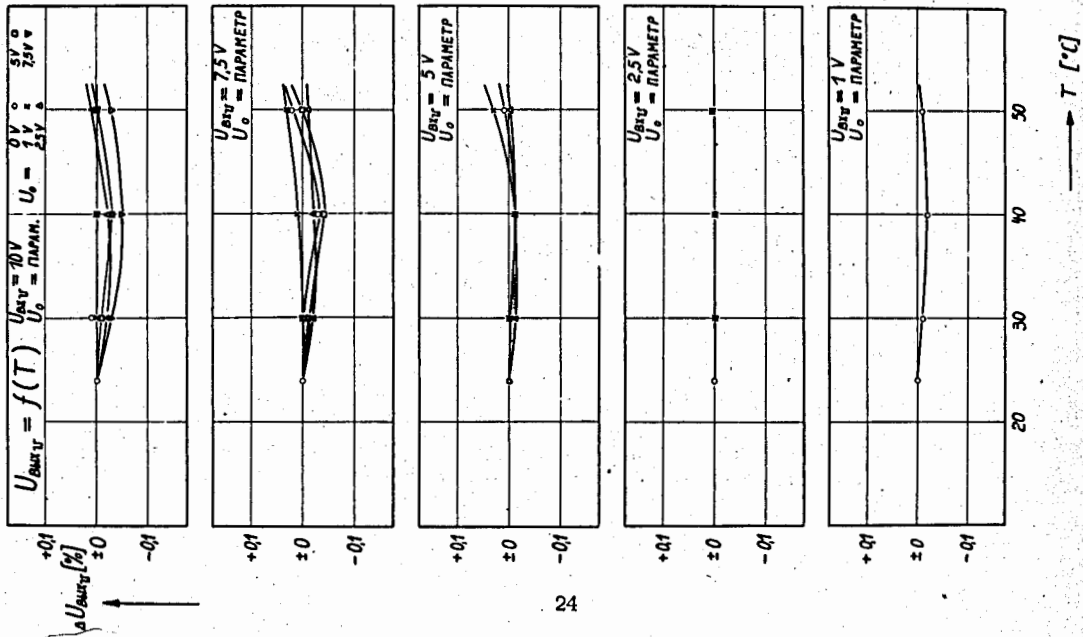


Рис. 27. Относительное изменение амплитуды выходных импульсов в зависимости от изменения температуры — для разных амплитуд входных сигналов и величин порога. Частота следования — 10^3 имп/сек, длительность — 10-6 сек, нагрузка — 100 ом.

Рис. 28. Оптимально достижимое амплитудное разрешение (в процентах) для небольшой постоянной амплитуды выходного сигнала (100 мв) в зависимости от амплитуды входных сигналов.

