

14 76

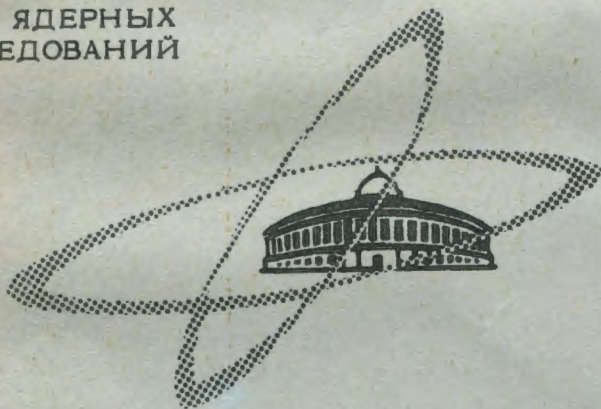
11-50

5/1-672

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13 - 3246



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Э.Г. Имаев, В.И. Приходько, В.Г. Тишин,
Б.В. Фефилов

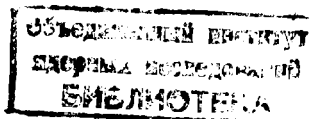
О ВОЗМОЖНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНЗИСТОРНОГО ГТА
В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА РЕПЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ
В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ТРАКТА

1967.

P13 - 3246

Э.Г. Имаев, В.И. Приходько, В.Г. Тишин,
Б.В. Фефилов

О ВОЗМОЖНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРАНЗИСТОРНОГО ГТА
В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА РЕПЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ
В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ
СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ТРАКТА



В в е д е н и е

В настоящее время практически во всех многоканальных амплитудных анализаторах применяются системы стабилизации "нуля" (порога) и коэффициента усиления спектрометрического тракта. При этом в качестве реперов в таких системах используются специфические пики в исследуемом спектре^{/1/}, либо в спектре от стороннего источника излучения^{/2/}, а также электрические импульсы^{/3,4/} или световые вспышки^{/5/} от специальных генераторов.

Применение того или иного источника реперных импульсов обусловлено конкретными условиями эксперимента, однако во многих случаях использование электрических импульсов наиболее удобно. Основное преимущество генератора точной амплитуды (ГТА) в данном применении заключается в возможности привязать реперную линию к любой точке шкалы анализатора, упрощении схемы выделения реперных импульсов среди импульсов от источника излучения и, наконец, в универсальности системы стабилизации^{/6/}.

Основным требованием к ГТА является стабильность амплитуды реперного импульса. Это требование определяется, в первую очередь, разрешением применяемых детекторов ядерных излучений и, как следствие, числом каналов амплитудного анализатора. Наилучшее разрешение, полученное на спектрометре с полупроводниковым Ge(Li) детектором при использовании предусилителя на полевых транзисторах с минимальной шириной линии шума 0,5 кэВ^{/7/}, в зависимости от энергии может быть найдено из выражения:

$$\bar{\Delta}_{\min} (\text{кэВ}) = \sqrt{\bar{\Delta}_{\text{д,у}}^2 + \bar{\Delta}_{\text{о}}^2} = \sqrt{(0,5)^2 + (1,6)^2} \text{E} (\text{МэВ}) = 0,5 \sqrt{1 + 10 \text{E} (\text{МэВ})}.$$

где $\bar{\Delta}_{д,у}$ - ширина линии шума, определяемая параметрами детектора и усилительного тракта;

$$\bar{\Delta}_0 = 2,36 \sqrt{F \cdot \epsilon \cdot E(\text{МэВ})} = 1,6 \sqrt{E(\text{МэВ})}$$

- ширина линии шума, определяемая статистикой образования электронно-дырочных пар;

$F = 0,15$ - фактор Фано для германия;

$\epsilon = 2,95\text{эВ}$ - средняя энергия образования электронно-дырочной пары в Ge;

$\bar{\Delta}_{\min}$ - полная ширина на половине высоты кривой спектрального распределения пика с энергией E (МэВ).

Из табл. 1 видно, что если задаться требованием, чтобы в заданном диапазоне энергий γ -квантов (например, $0 \div 3$ МэВ) любой из исследуемых пиков занимал не менее трех каналов, необходимо иметь амплитудный анализатор с числом каналов $N = 3000 \div 4000$. Следовательно, для обеспечения стабильности преобразования с точностью до 1 канала стабильность амплитуды ГТА должна быть не хуже $\frac{1}{N} = 0,025 \div 0,03\%$.

Т а б л и ц а 1

| E (МэВ) | $\bar{\Delta}_{\min}$ (кэВ) | N = 1000 | | N = 2000 | | N = 3000 | | N = 4000 | |
|------------|--------------------------------|------------------|---------------------------|----------|-----|----------|------|----------|-----|
| | | δ кэВ/кан | каналов для ΔE | δ | n | δ | n | δ | n |
| 0,1 | 0,7 | 0,1 | 7 | 0,05 | 14 | 0,033 | 21 | 0,025 | 28 |
| 0,5 | 1,25 | 0,5 | 2,5 | 0,25 | 5 | 0,17 | 7,5 | 0,125 | 10 |
| 1 | 1,7 | 1 | 1,7 | 0,5 | 3,4 | 0,33 | 5,1 | 0,25 | 6,8 |
| 2 | 2,3 | 2 | 1,15 | 1 | 2,3 | 0,7 | 3,45 | 0,5 | 4,6 |
| 3 | 2,8 | 3 | 0,9 | 1,5 | 1,8 | 1,0 | 2,7 | 0,75 | 3,7 |
| 5 | 3,6 | 5 | 0,7 | 2,5 | 1,4 | 1,7 | 2,1 | 1,25 | 2,9 |

Специфика применения ГТА в спектрометрическом тракте обуславливает требования к параметрам импульса генератора. Время нарастания импульса ГТА должно быть близко к времени нарастания импульса от полупроводникового детектора (времени собирания заряда), составляющего в зависимости от типа и параметров детектора от единиц до сотен наносекунд и, во всяком случае, должно быть меньше минимально возможной постоянной времени формирования в усилительном тракте. Постоянная времени спада импульса ГТА должна быть больше самой большой постоянной времени в цепи формирования.

2. Описание функциональной и принципиальной схем ГТА

Блок-схема ГТА, используемого для стабилизации порога и коэффициента усиления спектрометрического тракта, включающего детектор, предусилитель, линейный усилитель и амплитудный анализатор на 4096 каналов^{/4/}, приведена на рис. 1.

Частота эталонных импульсов задается генератором синусоидальных колебаний (ГС) и регулируется в пределах от 10 до 200 гц. Положительная полярность синусоиды формируется триггером Шмитта (ТШ) и подается на триггер (Тр). Перепады напряжения на выходе Тр формируются одновибраторами $ОВ_1$ и $ОВ_2$ и поступают на входы ГТА. С выхода ГТА два реперных импульса, один из которых используется для стабилизации коэффициента усиления спектрометра, другой - для стабилизации порога, поступают на предусилитель. Отношение амплитуд этих импульсов обычно выбирается равным 8 : 1. Одновременно с реперными импульсами в логику амплитудного анализатора подаются управляющие импульсы, которые формируются цепочкой ЭП - трансформатор. Эти импульсы используются для выделения реперных сигналов среди импульсов от источника. Импульс положительной полярности соответствует реперному импульсу, стабилизирующему усиление, отрицательный - реперному импульсу, стабилизирующему порог спектрометра.

При работе в режиме амплитудно-временного анализа (АВ) запуск ГТА осуществляется задержанным стартовым импульсом.

Форма импульсов в различных точках схемы показана на временной диаграмме.

Принципиальная схема собственно ГТА дана на рис. 2. Это несколько измененный вариант схемы, предложенной Чейзом^{/3/}. ГТА состоит из двух

составных ключей T_1, T_2, T_3 и T_4, T_5, T_6 , включенных между землей и эталонным потенциалом, стабилизированным опорным диодом D_1 .

В исходном состоянии транзисторы T_1, T_3 и T_5, T_6 закрыты, а T_2, T_4 насыщены, при этом точки 3,4 оказываются подключенными к опорному напряжению через открытые переходы транзисторов T_2, T_4 . Приход импульса на вход 1 вызывает отпирание T_1, T_3 и запираание T_2 ; при этом потенциал в точке 3 повышается до нуля, а в момент окончания входного импульса возвращается к начальному уровню. Аналогично формируется реперный импульс при управлении по входу 2.

2. Стабильность амплитуды ГТА

Стабильность амплитуды импульсов ГТА определяется стабильностью опорного напряжения, а также стабильностью коммутирующих и временных характеристик ключей. Проблема стабилизации опорного напряжения была решена применением опорного диода Д818 Е (D_1), собственная стабильность которого не хуже 0,001%/град.С. С целью повышения общего коэффициента стабилизации напряжение питания от внешнего источника дополнительно стабилизируется цепочкой из двух опорных диодов Д818 Е (D_2, D_3), причём температурный коэффициент этой пары выбран противоположным температурному коэффициенту D_1 .

Для определения стабильности ключей и подбора подходящих типов транзисторов были проведены измерения, блок-схема которых изображена на рис.3.

В табл. 2 приведена зависимость падения напряжения на открытом переходе транзистора от степени насыщения (S), тока коллектора (I_k) и температуры (t°) для различных типов транзисторов. Измерения были проведены для пяти типов транзисторов. В таблице даны значения для двух транзисторов каждого типа, имеющих наилучшие и наихудшие параметры из партии произвольно выбранных транзисторов (10 штук).

На рис. 4 (а,б,в) приведен характер зависимости $\Delta U_{кэ} = f(t^\circ, S, I_k)$, причём построены лишь граничные кривые, соответствующие табличным данным, для остальных транзисторов из этой партии кривые лежат в заштрихованной области.

Результаты измерений показывают, что наиболее подходящими для использования в ГТА являются транзисторы П407 (П408), при этом оптимальные условия включения достигаются выбором следующих параметров: $S = 15$, $I_k = 5$ ма. Номиналы в схеме ГТА (рис. 2) рассчитаны исходя из этих данных. ГТА, собранный на транзисторах П407, имеет общую нестабильность амплитуды импульса $= 0,026\%/10^\circ\text{С}$.

Таблица 2

| I_k ма | S | $t^\circ\text{С}$ | Тип транзистора | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|
| | | | П407 | | П408 | | П42Б | | ТМ-10В | | | |
| | | | $\beta = 42$ | $\beta = 120$ | $\beta = 43$ | $\beta = 130$ | $\beta = 74$ | $\beta = 98$ | $\beta = 22$ | $\beta = 28$ | | |
| | | | $U_{кэ}$ мВ | | $U_{кэ}$ мВ | | $U_{кэ}$ мВ | | $U_{кэ}$ мВ | | | |
| мин. | | макс. | | мин. | | макс. | | мин. | | макс. | | |
| 5 | 15 | 25 | 15,65 | 42,27 | 24,55 | 40,85 | 37,85 | 48,87 | 201,0 | 176,5 | | |
| | | 36 | 14,80 | 41,05 | 23,81 | 39,27 | 34,4 | 44,78 | 203,0 | 275,0 | | |
| | | 50 | 13,95 | 39,55 | 22,77 | 37,23 | 29,77 | 39,46 | 208,5 | 278,2 | | |
| 2 | 10 | 25 | 9,77 | 30,52 | 16,00 | 28,81 | 26,37 | 36,66 | 152,3 | 222,4 | | |
| | | 36 | 9,4 | 29,80 | 15,55 | 28,00 | 24,48 | 34,03 | 154,2 | 219,0 | | |
| | | 50 | 9,38 | 29,08 | 15,20 | 27,36 | 22,06 | 30,76 | 157,6 | 219,6 | | |
| 15 | 5 | 25 | 6,4 | 22,27 | 10,8 | 20,77 | 18,95 | 27,85 | 115,8 | 178,5 | | |
| | | 36 | 6,31 | 22,05 | 10,7 | 20,51 | 18,03 | 26,31 | 117,3 | 175,1 | | |
| | | 50 | 6,1 | 21,38 | 10,43 | 20,25 | 16,64 | 24,05 | 119,7 | 174,0 | | |
| 5 | 10 | 25 | 20,55 | 49,54 | 31,3 | 49,15 | 46,61 | 58,03 | 325,8 | 471,1 | | |
| | | 36 | 20,00 | 49,13 | 30,85 | 48,63 | 44,65 | 56,55 | 334,6 | 485,2 | | |
| | | 50 | 19,44 | 48,47 | 30,27 | 47,75 | 42,00 | 53,58 | 337,8 | 492,1 | | |
| 5 | 10 | 25 | 11,41 | 31,63 | 17,82 | 30,45 | 29,10 | 39,78 | 243,6 | 374,8 | | |
| | | 36 | 11,28 | 31,63 | 17,82 | 30,42 | 28,46 | 38,98 | 247,4 | 379,1 | | |
| | | 50 | 11,17 | 31,37 | 17,74 | 30,42 | 27,30 | 37,48 | 260,0 | 382,5 | | |

4. Влияние формы импульса ГТА на стабильность амплитуды

Рассмотрим зависимость амплитуды импульса ГТА на выходе цепи формирования сигнала от r , предполагая, что постоянные дифференцирования и интегрирования равны, т.е. $r_g = r_u = r$. Идеальной формой импульса ГТА является скачок потенциала ($r_H = 0$). В этом случае $U_{\text{вых}}(t) = \frac{t}{r} \exp(-\frac{t}{r})$, $\bar{U} = U_{\text{вых}} \max = \frac{1}{e} = 0,3679$. Для реального импульса с временем нарастания $r_H = r_0$ (для простоты предположим, что нарастание импульса происходит по линейному закону) эта зависимость имеет вид:

$$U_{\text{вых}}(t) = \frac{r}{r_0} e^{-\frac{t}{r_0}} \left[e^{\frac{t}{r}} - 1 - \frac{r_0}{r} e^{\frac{t}{r}} + \frac{t}{r} \left(e^{\frac{t}{r}} - 1 \right) \right],$$

отсюда

$$\bar{U} = k e^{\frac{1}{(e^{-\frac{1}{k}} - 1)k}} \cdot (e^{\frac{1}{k}} - 1),$$

где

$$k = \frac{r}{r_0};$$

$$t_{\text{max}} = \frac{r}{k(1 - e^{-\frac{1}{k}})}$$

Различие в форме детекторного и реперного импульсов проявляется в неодинаковом изменении амплитуды этих сигналов при изменении постоянных времени в цепи формирования, что в конечном счёте эквивалентно нестабильности импульса ГТА. В табл. 3 приведены значения \bar{U} и $\Delta \bar{U}$ для различных k , а также величина ϵ , которая определяет относительное изменение \bar{U} при изменении k на 10%:

$$\epsilon \left| \frac{\Delta k}{k} = 0,1 \right. = \frac{\left(\frac{d\bar{U}}{dk} \right) \cdot \Delta k}{\bar{U}}$$

| | | П407 | | П406 | | П42Б | | ТН-10В | |
|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| I5 | 25 | 8,26 | 24,0 | 12,95 | 22,87 | 22,13 | 31,56 | 181,0 | 301,8 |
| | 36 | 8,18 | 24,05 | 13,05 | 22,95 | 21,73 | 30,92 | 182,4 | 311,7 |
| | 50 | 8,18 | 24,00 | 13,06 | 23,12 | 20,95 | 29,74 | 200,0 | 326,1 |
| 5 | 25 | 23,10 | 52,27 | 34,78 | 53,45 | 55,30 | 65,00 | 499,2 | 769,3 |
| | 36 | 23,00 | 52,54 | 34,82 | 53,47 | 54,66 | 64,48 | 506,8 | 797,6 |
| | 50 | 22,98 | 52,75 | 34,80 | 53,80 | 54,36 | 63,08 | 523,2 | 838,2 |
| 10 | 25 | 14,31 | 34,90 | 21,54 | 34,70 | 38,04 | 46,25 | 356,2 | 591,4 |
| | 36 | 14,35 | 35,23 | 21,65 | 35,02 | 37,81 | 45,97 | 359,2 | 605,4 |
| | 50 | 14,84 | 36,38 | 22,54 | 36,10 | 37,95 | 45,32 | 369,0 | 629,0 |
| I5 | 25 | 12,77 | 31,44 | 19,17 | 30,97 | 34,27 | 42,00 | 308,2 | 534,8 |
| | 36 | 12,77 | 31,64 | 19,20 | 31,3 | 33,91 | 41,75 | 308,8 | 542,4 |
| | 50 | 12,94 | 32,1 | 19,56 | 31,62 | 33,16 | 40,38 | 315,6 | 559,3 |

Инверсное включение транзистора

| | | $\beta = 11$ | $\beta = 5$ | $\beta = 13$ | $\beta = 12$ | $\beta = 4$ | $\beta = 11$ | | |
|-----|----|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---|---|
| 5 | 25 | 0,428 | 0,568 | 0,468 | 0,594 | 0,450 | 0,604 | - | - |
| | 36 | 0,424 | 0,548 | 0,450 | 0,584 | 0,430 | 0,552 | - | - |
| | 50 | 0,412 | 0,516 | 0,452 | 0,568 | 0,428 | 0,520 | - | - |
| 0,5 | 25 | 0,340 | 0,422 | 0,360 | 0,470 | 0,376 | 0,466 | - | - |
| | 36 | 0,334 | 0,410 | 0,356 | 0,462 | 0,374 | 0,446 | - | - |
| | 50 | 0,332 | 0,400 | 0,358 | 0,460 | 0,364 | 0,416 | - | - |
| I5 | 25 | 0,300 | 0,358 | 0,316 | 0,414 | 0,350 | 0,410 | - | - |
| | 36 | 0,300 | 0,354 | 0,322 | 0,412 | 0,355 | 0,404 | - | - |
| | 50 | 0,300 | 0,350 | 0,318 | 0,410 | 0,346 | 0,38 | - | - |

Таблица 3

| k | t _{max} | \bar{U} | $\Delta \bar{U}_1$ % | ϵ , % |
|----------|------------------|-----------|-------------------------|-------------------|
| 1 | 1,58 | 0,3539 | 3,78 | 0,74 |
| 2 | 1,27 | 0,3641 | 1 | 0,2 |
| 5 | 1,1 | 0,3674 | 0,14 | 0,05 |
| 10 | 1,05 | 0,3677 | 0,05 | 0,02 |
| 20 | 1,025 | 0,3678 | 0,02 | 0,012 |
| 100 | 1,005 | 0,3679 | 0,003 | - |
| 1000 | | 0,3679 | 0 | - |
| ∞ | | 0,3679 | 0 | - |

На рис. 5 изображена зависимость ϵ от k, из которой видно, что при уменьшении времени нарастания реперного импульса его амплитуда увеличивается и стремится к значению $U|_{r_0=0}$. Отсюда вытекает требование к длительности переднего фронта импульса ГТА, которая должна быть близкой к времени нарастания детекторного импульса. Параметры ключей^{х/} (рис.2) и формирующих каскадов на входе ГТА выбраны таким образом, чтобы максимально приблизить форму реперного импульса к детекторному. Поскольку в транзисторном ГТА рассматриваемого типа трудно обеспечить спад импульса близким по форме к спаду детекторного сигнала, в данном ГТА форма импульса выбрана прямоугольной, при этом его длительность больше максимальной постоянной времени формирующих цепей в усилительном тракте.

5. Заключение

Исследование транзисторного ГТА, проведенное в данной работе, показывает, что наиболее подходящими для использования в ГТА являются транзисторы типа П406, П407, параметры которых при соответствующем режиме

^{х/}Переходные процессы в транзисторных ключах рассмотрены в работе^{18/}.

включения позволяют получить стабильность амплитуды импульса ГТА 0,02%/10°C при времени нарастания 50÷70 нсек. Следовательно, данный ГТА может быть использован в качестве источника реперных импульсов для стабилизации многоканальных спектрометров с числом каналов до 4000.

Л и т е р а т у р а

1. J. Jadd and J. Kennedy. CREL - 1063 (1961).
2. R. Dudley and R. Scarpatetti. Nucl. Instr. Meth., 25 N2, 297 (1964).
3. R. Chase. IRE Trans. on Nucl. Sci. NS-9, N1, 4 (1962).
4. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, 2492, Дубна, 1965.
5. S. Haum and D. Kamke. Nucl. Instr. Meth., D, 331 (1960).
6. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, 2707, Дубна, 1966.
7. R. Heath, W. Black and J. Cline. Nucleonics, May 1966.
8. Е.Г.Пронин. Вопросы радиоэлектроники, серия XII, 1963г., вып.24, стр.89.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 марта 1967г.

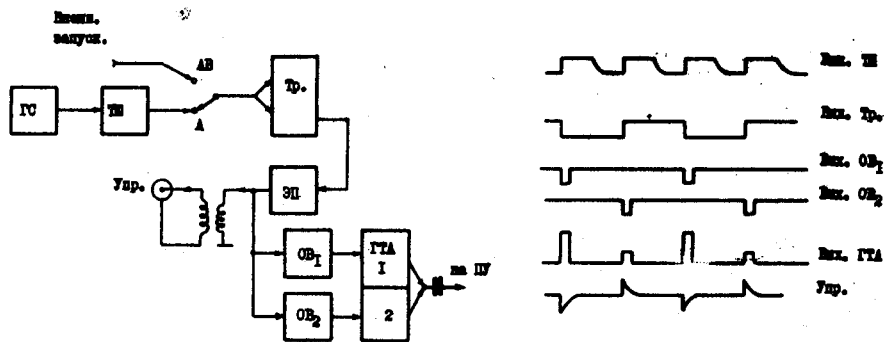


Рис. 1 Блок-схема ГТА.
 ГС - генератор синусоидальных колебаний;
 ТШ - триггер Шмитта; Тр - триггер;
 ОБ - одновибратор; ЭП - эмиттерный повторитель;
 ГТА - генератор точной амплитуды.

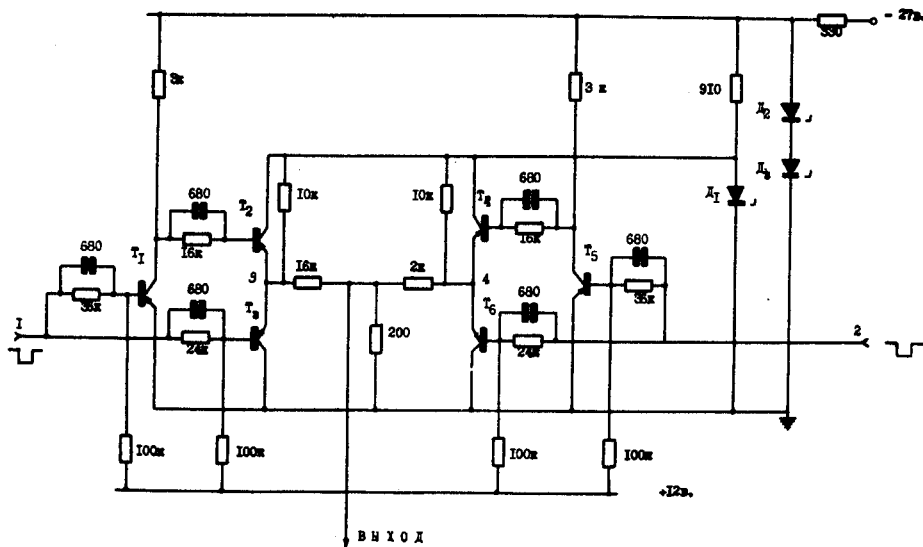
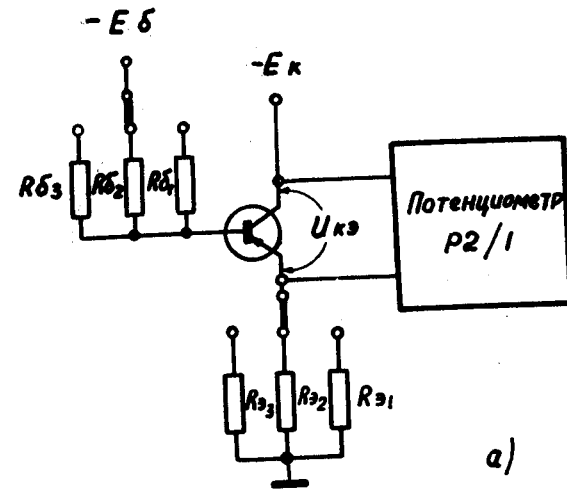
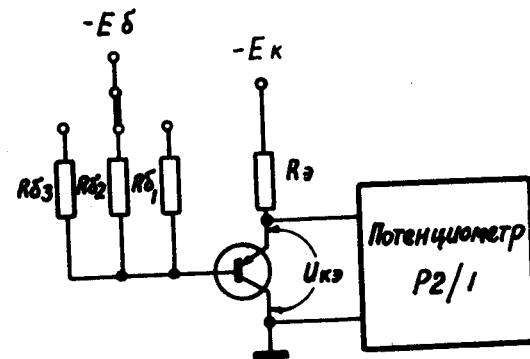


Рис. 2 Принципиальная схема ГТА. Все транзисторы П407, диоды - Д818 Е.



а)



б)

Рис. 3 Блок-схема измерения стабильности ключей.
 а) нормальное включение транзистора;
 б) инверсное включение транзистора.

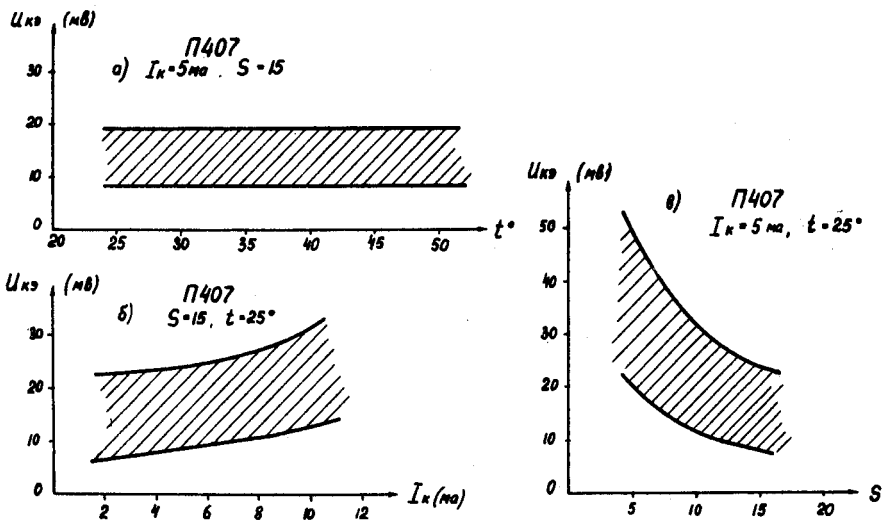


Рис. 4. Графики зависимости $U_{кз}$ от S , I_k и t° .

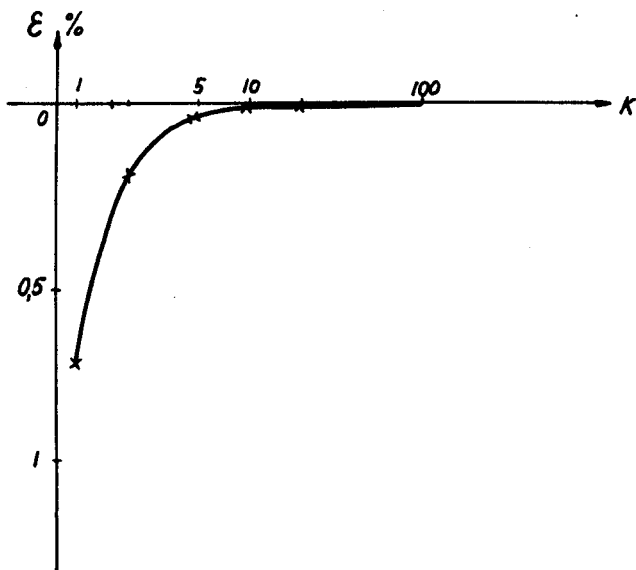


Рис. 5. График зависимости ϵ от k .