

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОКОНТРОЛЯ

Е. С. БАТАЛИН, М. С. РОЙТМАН

(Представлена научным семинаром факультета автоматики и вычислительной техники)

Из многообразных требований, предъявляемых к измерительным усилителям переменного напряжения различного целевого назначения, можно выделить несколько основных, определяющих границы возможного применения данного усилителя или данного класса усилительных схем.

Получение максимального возможного усиления на один каскад при минимальных фазовых искажениях — одно из таких требований.

Располагая запасом по усилению при соответствующей форме фазо-частотной характеристики можно вводить глубокие внутрикаскадные и межкаскадные противосвязи, которые являются одним из основных средств стабилизации параметров усилителя и изменения их в соответствии с конкретными техническими требованиями.

Общеизвестным способом увеличения модуля коэффициента усиления является увеличение сопротивления нагрузки. При реализации такой меры в реостатных транзисторных измерительных усилителях возникают две существенные трудности: резко увеличивается неустойчивость режима каскада вплоть до полной потери работоспособности и снижается экономичность.

Указанные недостатки можно преодолеть, используя в качестве нагрузки не просто активное сопротивление, а элемент с некоторыми особыми свойствами.

Такой нагрузочный элемент должен:

а) иметь малое статическое сопротивление (сопротивление постоянному току) и большое динамическое сопротивление (сопротивление переменному току);

б) менять сопротивление постоянному току при медленном изменении последнего, с таким расчетом, чтобы падение напряжения за счет постоянного тока на нагрузочном элементе при этом оставалось постоянным;

в) давать возможность управлять характером зависимости динамического сопротивления от окружающих условий, приспособив ее для компенсации изменения параметров транзистора.

Совершенно очевидно, что нагрузка, удовлетворяющая таким требованиям, должна содержать нелинейное управляемое сопротивление.

Нагрузочный элемент, обладающий в значительной степени перечисленными свойствами, показан на рис. 1. Это двухполюсник, содержащий транзистор с дополнительными сопротивлениями и конденсато-

ром. В дальнейшем такой двухполюсник мы будем сокращенно называть «Нелинейное управляемое сопротивление» (НУС).

На рис. 2 и 3 показаны зависимости статического и модуля динамического сопротивления НСУ от температуры окружающего пространства для различных значений параметров входящих в него элементов.

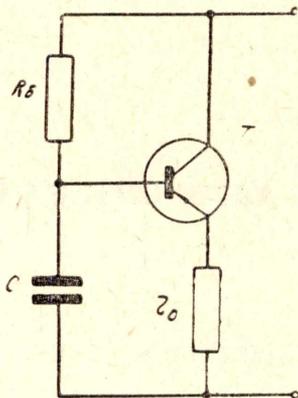


Рис. 1. Схема «нелинейного управляемого сопротивления».

Изменение температуры окружающего пространства — одна из главных причин нестабильности параметров транзисторного усилителя.

На рис. 4 изображена зависимость от температуры окружающего пространства модуля коэффициента усиления по току β и обратного тока коллекторного перехода $I_{к0}$ транзисторов П 13—15.

Для других типов полупроводниковых триодов зависимость β и $I_{к0}$ от температуры имеет аналогичный вид.

Сопоставляя кривые, приведенные на рис. 2, 3 и рис. 4, легко видеть, какие возможности температурной стабилизации усилительного каскада дает замена активного сопротивления нагрузки нелинейным управляемым сопротивлением.

Уменьшение с ростом температуры динамического сопротивления НУС компенсирует рост β , а уменьшение статического сопротивления НУС, одновременно с ростом $I_{к0}$, предотвращает значительное изменение постоянного напряжения на коллекторе триода, нагрузкой которого служит НУС. Выби-

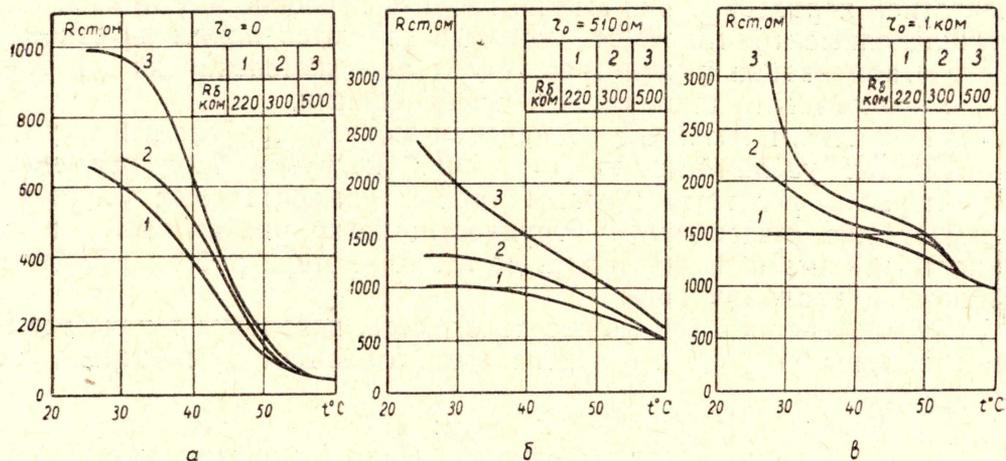


Рис. 2. Зависимость статического сопротивления НУС от температуры.

рая надлежащим образом параметры пассивных элементов, входящих в схему НУС, можно стабилизировать коэффициент усиления усилителя в диапазоне температур.

Усилительный каскад, в котором нагрузкой служит НУС, показан на рис. 5. Здесь и далее он для краткости называется просто «усилитель».

На рис. 6 показана зависимость коэффициента усиления такого усилителя от температуры окружающего пространства при вариации параметров, входящих в него элементов. Эти графики подтверждают сделанный вывод о повышении температурной стабильности усилителя, в качестве нагрузки которого используется НУС.

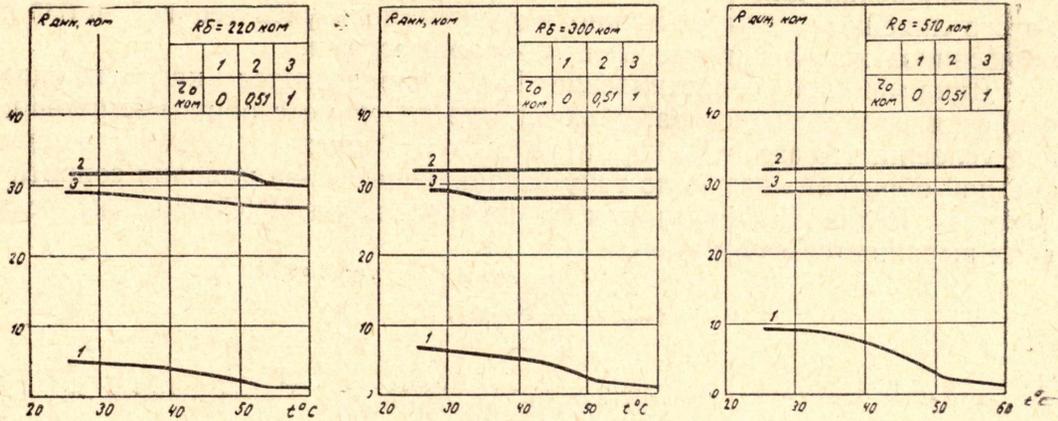


Рис. 3. Зависимость модуля динамического сопротивления НУС от температуры.

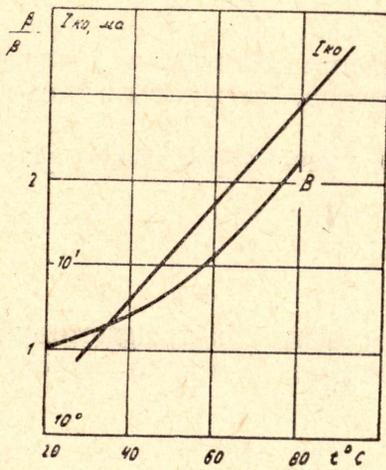


Рис. 4. Зависимость коэффициента усиления по току и обратного тока коллекторного перехода транзисторов П13-15 от температуры окружающего пространства.

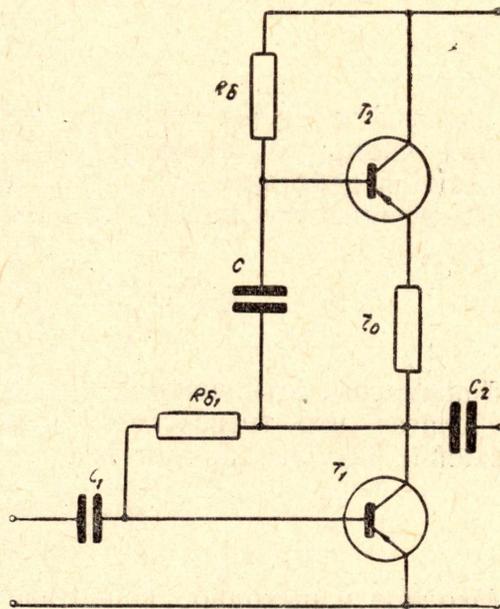


Рис. 5. Схема усилительного каскада с НУС.

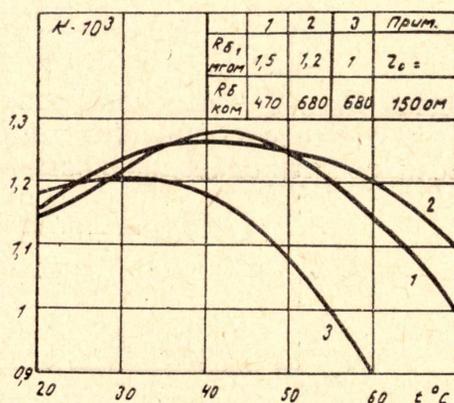
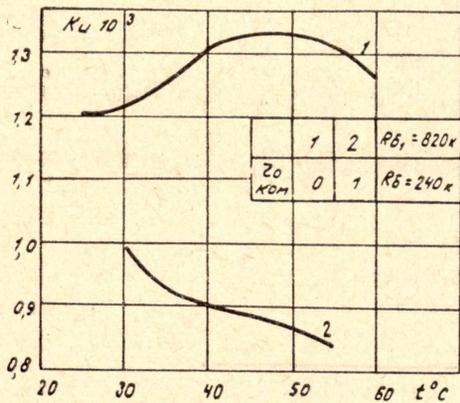


Рис. 6. Зависимость коэффициента усиления транзисторного усилителя с НУС от температуры.

Выражения для расчета основных параметров усилителя при работе в линейном режиме можно получить, пользуясь теорией четырехполюсников и малосигнальными h — параметрами.

Динамическое сопротивление НУС определяется как выходное сопротивление транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, при условии, что его вход коротко замкнут. Транзистор охвачен отрицательной обратной связью по току возникающей из-за наличия сопротивления r_0 . Величина динамического сопротивления НУС при этих условиях выражается формулой

$$R_{\text{дин}} = \frac{h_{11.э}}{D_{h.э}} \cdot a_1, \quad (1)$$

где

$$D_{h.э} = h_{11.э}h_{22.э} - h_{21.э}h_{12.э} \\ a_1 = \frac{1 + \frac{r_0}{h_{11.э}}(1 + h_{21.э})}{1 + r_0 \frac{h_{22.э}}{D_{h.э}}};$$

Здесь и далее мы полагаем, что усилитель работает в диапазоне средних частот и параметры всех элементов, входящих в схему, выражаются действительными числами.

Коэффициент усиления по напряжению рассматриваемого усилителя равен

$$K = \frac{h'_{21.э} \cdot R_{\text{дин}}}{h'_{11.э} + D'_{h.э} \cdot R_{\text{дин}}}. \quad (2)$$

Параметры, отмеченные штрихами, относятся к транзистору T_1 .

Полагая, что транзисторы T_1 и T_2 одинаковы, можно упростить выражение (2). Оно примет вид

$$K_u \approx \frac{h_{21.э}}{D_{h.э}} \cdot \frac{a_1}{1 + a_1}.$$

Входное и выходное сопротивления усилителя определяются по формулам:

$$R_{\text{вх}} = \frac{h'_{11.э} + D'_{h.э} \cdot R_{\text{дин}}}{1 + h'_{22.э} \cdot R_{\text{дин}}}, \quad (3)$$

$$R_{\text{вых}} = \frac{R_{\text{вых.тр.}} \cdot R_{\text{дин}}}{R_{\text{вых.тр.}} + R_{\text{дин}}}. \quad (4)$$

Здесь $R_{\text{вых.тр.}}$ — выходное сопротивление полупроводникового триода T_1 в схеме с общим эмиттером.

Если оба триода одинаковы, то выражения (3, 4) принимают вид:

$$R_{\text{вх}} = \frac{h_{11.э}(1 + a_1)}{1 + a_1 \frac{h_{22.э} \cdot h_{11.э}}{D_{h.э}}}, \quad (5)$$

$$R_{\text{вых}} = \frac{h_{11.э} + R_{\Gamma}}{D_{h.э} + h_{22.э}R_{\Gamma}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1 + R_{\Gamma}/h_{11.э}}{\left(1 + \frac{h_{22.э} \cdot R_{\Gamma}}{D_{h.э}}\right)} \cdot a_1}. \quad (6)$$

Для придания усилителю большей универсальности целесообразно уменьшить его выходное сопротивление, подключив на выход эмиттерный повторитель, играющий роль трансформатора сопротивления. Полученную схему можно рассматривать как единую функциональную

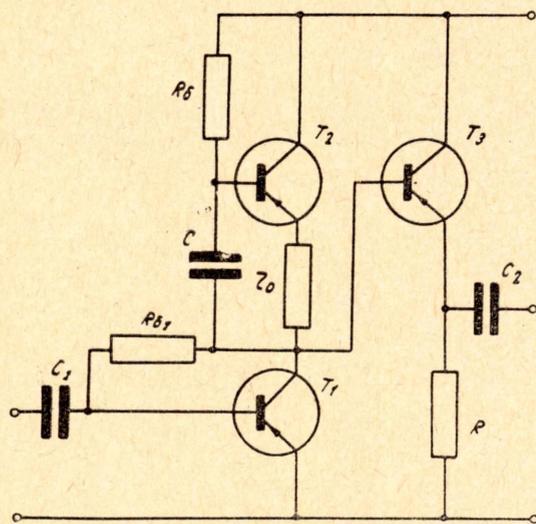


Рис. 7. Схема усилительного модуля.

систему, которую мы будем называть в дальнейшем усилительным модулем (УМ) (рис. 7).

На рис. 8 изображены фазочастотные характеристики усилительного модуля и для сравнения фазочастотная характеристика реостатного усилительного каскада на транзисторе. Сравнение показывает, что практически они идентичны.

Следовательно, ограничения, накладываемые на допустимую величину глубины противосвязи требованием устойчивости, при использовании УМ будут не более жесткими, чем при использовании обыч-

ного реостатного усилительного каскада.

Если допустимая глубина отрицательной обратной связи ограничивается только требуемой величиной коэффициента усиления, то исполь-

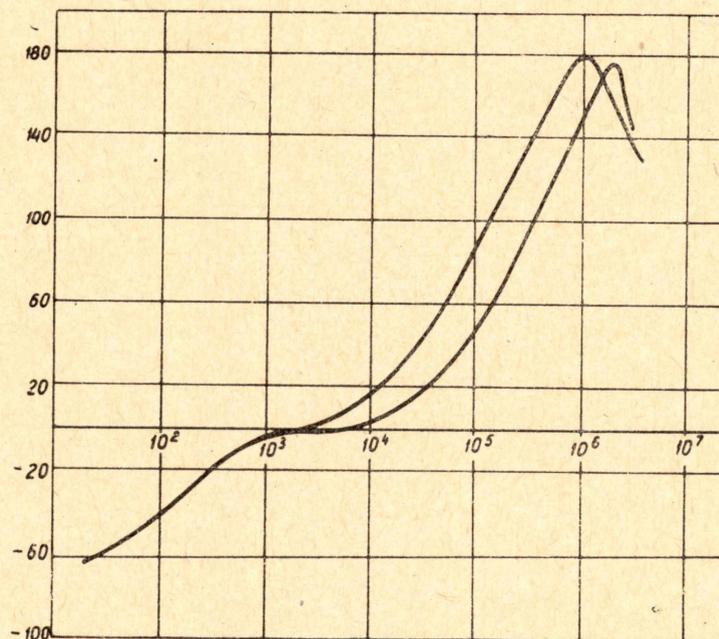


Рис. 8. Фазочастотные характеристики усилительного модуля (верхняя кривая) и реостатного усилительного каскада (нижняя кривая).

зование УМ вместо реостатного усилительного каскада позволяет вводить более глубокие противосвязи.

Полученные результаты использованы при проектировании измерительных усилителей переменного напряжения. Нами разработаны два варианта измерительных усилителей. Оба усилителя конструктивно выполнены в виде модулей и обладают значительной универсальностью в отношении возможности применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Будинский. Усилители низкой частоты на транзисторах, Связьиздат, 1963.
 2. H. C. Verboya. High resistance transistor circuits, Radio and Electron. Engr 26, № 1, 1963.
-