

СЗУЧ.3а

С-218

17/xii - 65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2417



Ю.В. Сафрошкин

ЛИНЕЙНЫЕ УСИЛИТЕЛИ  
С РЕЛАКСАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

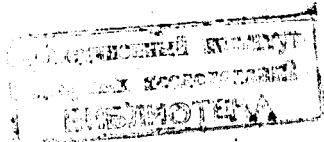
1965

2417

Ю.В. Сафрошкин

ЛИНЕЙНЫЕ УСИЛИТЕЛИ  
С РЕЛАКСАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Направлено в журнал "Радиотехника"



## 1.

В радиоэлектронике широко используются различные виды линейных усилителей. Известны также релаксационные устройства: триггеры, одновибраторы, мультивибраторы и т.д., применяемые для реализации дискретных математических функций. И те и другие в известном смысле можно считать элементарными логическими ячейками.

Во многих прикладных задачах усилители и релаксационные устройства используются совместно в тех или иных комбинациях. Примером может служить блок-схема (рис. 1-в), содержащая: амплитудный дискриминатор (пороговое устройство) - Д, статический триггер - Т, управляющий схемой пропускания - И, а также усилитель - УС. Характеристика передачи "вход - выход" такого тракта является линейной (или почти линейной) до определенной - пороговой величины сигнала, при которой происходит релаксационный переход в запертое состояние с резко уменьшенным выходным сигналом. Подобная характеристика изображена на рис. 1-б.

Реализация непрерывных и дискретных математических операций отдельными элементарными ячейками, как на рис. 1-в, характерна для большинства областей схемной радиоэлектроники. Однако, как будет показано ниже, такое разделение не обязательно, а дискретные и непрерывные операции могут быть реализованы в одной элементарной ячейке, что приводит к значительной экономии компонентов.

Для линейных (или почти линейных) усилителей низкочастотный вещественный коэффициент регенерации  $\rho_o$  <sup>x)</sup> обычно удовлетворяет соотношению /1,2/

$$\rho_o < 0 ,$$

т.е. доминирует отрицательная обратная связь. Релаксационные же устройства работоспособны лишь при выполнении условия

$$\rho_o > 1 ,$$

т.е. должны содержать сильную положительную обратную связь.

<sup>x)</sup> Коэффициент регенерации (или возвратное отношение) эквивалентен понятию "глубины обратной связи" для цепей с явно выраженной одноконтурной структурой.

Усилительные и релаксационные функции могут быть объединены, таким образом, лишь в таком устройстве, параметр  $\rho_0$  которого под воздействием какого-либо внешнего фактора (например, уровень сигнала) изменяется от отрицательных значений до положительных значений, превышающих единицу. Это возможно лишь при введении в схему заведомо нелинейной обратной связи — отрицательной или положительной.

Нелинейные обратные связи в последние годы находят все более широкое и разнообразное применение. В качестве одного из первых примеров можно указать на использование отрицательной нелинейной обратной связи для устранения насыщения и задержки в транзисторных ключевых каскадах<sup>/3/</sup>. Применение нелинейной обратной связи в транзисторных стабилизаторах для сообщения последним свойства самовыключения (т.е. самозащиты) при перегрузках на выходе описано в работах<sup>/4,5/</sup>. Ниже рассматриваются некоторые из многочисленных возможных<sup>х)</sup> практических схем, реализующих другой принцип, поясненный выше в общем виде и кратко формулируемый так: применение нелинейной обратной связи для сообщения линейному усилителю дополнительно релаксационных свойств, проявляющихся при некотором пороговом уровне сигнала. Называть линейным такое устройство можно, разумеется, лишь условно, поскольку линейным остается ограниченный участок характеристики "вход-выход". Однако эта оговорка в равной степени относится ко всем реальным "линейным" усилителям, в том числе и не обладающим релаксационными свойствами.

## 2.

На рис. 1-а показан двухкаскадный транзисторный усилитель с непосредственной связью каскадов и с отрицательной обратной связью через сопротивление  $R_-$ , стабилизирующей рабочие точки обоих каскадов (около 2,5 в и 1,5 ма для  $T_1$  и около 5 в, 8 ма для  $T_2$ ). Оптимальной формой входного сигнала является ток. Внутреннее сопротивление источника сигнала 5-10 ком можно считать достаточным для задания тока во входную цепь усилителя. Коэффициент передачи напряжения усилителем от базы триода  $T_1$  до коллектора триода  $T_2$  составляет около  $10^3$ , а спектр передаваемых сигналов ограничен только сверху граничными частотами каскадов. Компоненты  $D$ ,  $C$ ,  $R$ ,  $R_0$ ,  $R_+$ ,  $R_1$  для работы схемы в качестве усилителя не нужны. Подключение их практически не влияет на параметры усилителя и на режимы каскадов, поскольку диод закрыт напряжением, снимаемым с делителя  $R_+ - R_0$  (малым обратным током диода пренебрегаем). Сплошные соединения на схеме соответствует рассматриваемому триггерному варианту усилителя.

х) Будут рассмотрены только транзисторные схемы, хотя возможны и их ламповые аналоги.

На осциллограммах рис. 2-а, б, в отражена передача таким усилителем импульсного положительного сигнала разных уровней. Из этих осциллограмм можно заключить, что характеристика "вход-выход" практически линейна до уровня выходного положительного сигнала, равного 3,5 в. Это основное состояние усилителя можно назвать состоянием "включено" или "1".

Линейность характеристики сохраняется лишь до определенного уровня положительного сигнала (см. пункт на рис. 1-б), соответствующего открыванию диода и включению положительной обратной связи. Величина положительной связи определяется номиналом сопротивления  $R_+$ . Если с учетом положительной связи  $\rho_0 > 1$  (см. п. 1), то достигнутый уровень сигнала соответствует возникновению в схеме релаксационного скачка, в процессе которого триод  $T_2$  переходит в насыщенное состояние, а передача сигнала на выход резко уменьшается, как это видно на осциллограмме рис. 2-г. Более крупный масштаб последней осциллограммы позволяет оценить степень подавления сигнала в этом состоянии, которая составляет около 300 (т.е. сигнал уменьшается в 300 раз по сравнению с состоянием "включено").

Критическая величина сопротивления  $R_+$ , соответствующая условию  $\rho_0 = 1$ , составляет для данной схемы примерно 70 ком. Практически номинал  $R_+$  следует брать значительно меньше для получения надежных регенеративных процессов.

Рассмотренное второе устойчивое состояние схемы целесообразно именовать "выключено" или "0", как в обычных триггерах. В силу потенциальных связей схема может находиться в этом состоянии неограниченно долго. Для перевода ее в исходный режим усиления требуется вспомогательный сигнал, который, в частности, можно подавать через сопротивление  $R_1$ .

Распределение потенциалов рассмотренной схемы в состояниях "1" и "0", также как и величина и полярность скачка, могут быть самыми разнообразными, в зависимости от модификации схемы и номиналов деталей. Более подробный анализ этой и последующей схем выходит за рамки настоящей работы.

## 3.

Усилителю рис. 1-а, обладающему триггерным эффектом, может быть сообщен одновибраторный эффект, если добавить один реактивный времязадающий элемент (емкость  $C$ ) и подключить диод так, как показано пунктиром на том же рисунке. Сопротивление  $R$  в этом случае служит для отвода тока диода и для регулирования времени выдержки.

Такая схема имеет одно устойчивое состояние "включено", в котором усиливает

сигнал так же, как и в предыдущем случае. Соответствующие осциллограммы приведены на рис. 3-а, б. По достижении пороговой амплитуды положительного сигнала схема скачком переходит в квазистойчивое состояние, время выдержки которого определяется постоянной  $\tau = RC$ . При этом формируется стандартный импульс (см. рис. 3-в, г), амплитуда и длительность которого не зависят от входного сигнала. После этого схема возвращается в исходное состояние, причем специальная цепь возврата (сопротивление  $R_1$ ) в этом случае, очевидно, не нужна. Величина порога срабатывания и параметры генерируемого импульса легко поддаются регулировке.

4.

Элементарные ячейки, объединяющие усилительные и релаксационные свойства, примеры которых кратко описаны выше, могут найти применение в электронных вычислительных устройствах, телемеханике, экспериментальной физической аппаратуре и т.д. Так, "триггерный" вариант усилителя может быть полезен, например, во входных блоках многоканальных анализаторов и подобных устройствах, когда канал линейного усиления должен запирается до или после достижения порогового уровня сигнала. "Одновибраторный" вариант может найти применение там, где, кроме усиления, требуется при определенном пороге формировать маркерный импульс: различного рода развертки, входные устройства анализаторов и аналого-цифровых преобразователей и т.п. Во многих из перечисленных устройств возможна определенная экономия деталей. Реализация подобных усилителей в виде твердых схем также представляется вполне возможной.

#### Л и т е р а т у р а

1. С.Мэзон, Г.Циммерман. Электронные цепи, сигналы и системы. ИЛ, Москва, 1963.
2. Б.Я.Лурье. Проектирование транзисторных усилителей с глубокой обратной связью. "Связь", Москва, 1965.
3. Б.Н.Кононов. "Применение нелинейной обратной связи для устранения насыщения полупроводниковых триодов в импульсных схемах". "Радиотехника и электроника", 1957, № 10.
4. R.C.Marshall, A Transistor Voltage Regulator with Inherent Short-Circuit Protection, "Electronics Engineering", Febr. 1963, p. 106-108.
5. Ю.В.Сафрошкин. Колебательная и апериодическая неустойчивость полупроводниковых стабилизаторов. Сб. "Полупроводниковые приборы и их применение", под ред. Я.А.Федотова. "Сов. Радио", М., 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 ноября 1965 г.

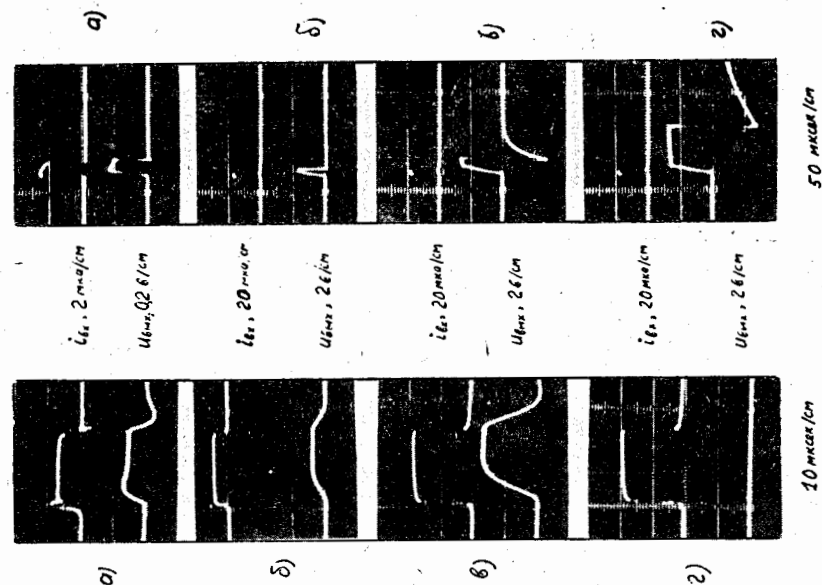


Рис. 2.

Рис. 3.

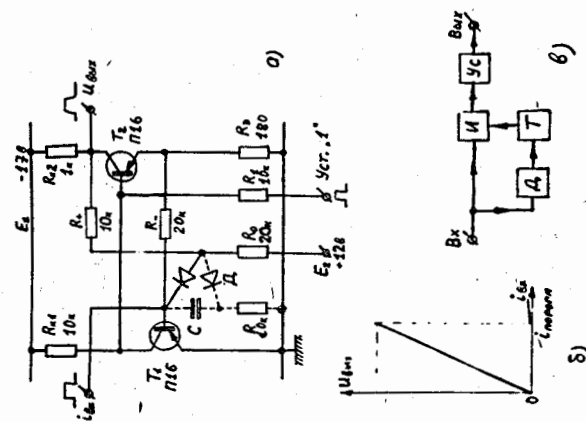


Рис. 1.