

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



*СЗУУ.38*

*С-302*

*19/III-73*

P13 - 6924

Б.Ю.Семенов, О.В.Ломакин

*1037/2-73*

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ИМПУЛЬСОВ  
ВЫСОКОСТАБИЛЬНОЙ АМПЛИТУДЫ

**1973**

**ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ**

Р13 - 6924

Б.Ю.Семенов, О.В.Ломакин

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ИМПУЛЬСОВ  
ВЫСОКОСТАБИЛЬНОЙ АМПЛИТУДЫ**

Однн из наиболее распространенных в настоящее время способов формирования импульсов высокостабильной амплитуды - использование ключевых схем на транзисторах сплавного типа, например схем, подобных изображенным на рис. 1. Если есть требование малости времени фронта выходного импульса, то схема, приведенная на рис. 1а, применяется для формирования импульсов положительной полярности, а схема, приведенная на рис. 1б, - отрицательной.

Стабильность амплитуды формируемого этими схемами сигнала определяется стабильностью напряжения закрытого транзистора, напряжения коллектор - эмиттер насыщенного транзистора, стабильностью опорного напряжения. Именно из-за хорошей стабильности напряжения насыщения в таких формирователях применяются исключительно транзисторы сплавного типа, а если при этом есть еще и требование малости времени фронта, - транзисторы с достаточно хорошими частотными свойствами.

Описанию формирователей импульсов высокостабильной амплитуды /ФИВА/ посвящено много работ, например [1,2], однако ряд вопросов их проектирования с должной полнотой не рассмотрен. В настоящей работе освещаются вопросы выбора типа транзистора ФИВА, его режима и способа включения.

Нестабильность напряжения на выходе ключевой схемы при закрытом транзисторе для прямого и инверсного его включения может иметь вид соответственно

$$\Delta V_3 = i_{э3} R = \phi_3 (I_{э3}) R,$$

$$\Delta V_3 = i_{к3} R = \phi_k (I_{к3}) R,$$

где  $i_{э3}(i_{к3})$  - изменение тока эмиттера /коллектора/ закрытого транзистора,  $R$  - сопротивление нагрузки,  $I_{э3}(I_{к3})$  - полное /начальное/ значение тока эмиттера /коллектора/.

Вид функции  $\phi_{\text{э}}(k)$  обычно известен, следовательно вместо  $i_{\text{эз}}(i_{\text{кз}})$  можно изучать  $I_{\text{эз}}(I_{\text{кз}})$ . Типичная зависимость этого тока от напряжения смещения базы транзистора приведена на рис. 2. Распределение по величине тока  $I_{\text{эз}}(I_{\text{кз}})$  транзисторов различных типов показано на рис. 3.

Из рис. 2 следует, что напряжение смещения базы предпочтительнее иметь в пределах  $-200 \div -300$  мВ /вертикальные пунктирные линии на рис. 2/. Ток  $I_{\text{эз}}(I_{\text{кз}})$  в пределах этого интервала не имеет существенных изменений, вместе с тем этот интервал достаточен для того, чтобы не предъявлять чрезмерно строгих требований к схеме формирования напряжения смещения.

Из рис. 3 следует, что для транзисторов МП37, МП38 и МП42 предпочтительнее режим прямого включения ( $I_{\text{эз}} \ll I_{\text{кз}}$ ), в то время как для ПЗО такого явного предпочтения нет. По графикам рис. 3 можно оценить ожидаемую нестабильность выходного уровня  $V_{\text{э}}$  из-за изменения  $I_{\text{эз}}(I_{\text{кз}})$  при заданном проценте отбраковки транзисторов или, наоборот, найти процент отбраковки при заданной величине нестабильности.

Для снижения нестабильности  $V_{\text{э}}$  вместо пассивного сопротивления  $R$  можно включить управляемый по базе транзистор /рис. 1а/ так, чтобы он был открыт /насыщен/ при закрытом верхнем. Из-за малости сопротивления насыщенного транзистора нестабильность уровня  $V_{\text{э}}$  может быть при этом снижена на несколько порядков. Однако подобный вариант ФИВА требует довольно сложной схемы запуска, поэтому его применение не всегда оправдано.

Нестабильность напряжения эмиттер-коллектор насыщенного транзистора ( $V_{\text{н}}$ ) из-за изменения температуры окружающей среды, тока эмиттера, коллектора, нагрузки или базы может быть определена через соответствующие коэффициенты передач:  $K_{\text{T}} = \Delta V_{\text{н}} / \Delta T$  и  $R_{\text{э}}(k, n, \beta) = -\Delta V_{\text{н}} / \Delta I_{\text{э}}(k, n, \beta)$ .

На рис. 4 приведена зависимость напряжения  $V_{\text{н}}$  от тока эмиттера при токе базы 20 мА и температуре окружающей среды 20 и 40°C. График  $V_{\text{н}} = \phi(I_{\text{э}})$  в представленном диапазоне изменения тока эмиттера - прямая линия, т.е.  $R_{\text{э}} = -\Delta V_{\text{н}} / \Delta I_{\text{э}} = t_{\text{га}} / \phi(I_{\text{э}})$ . Зная  $R_{\text{э}}$ , просто определить  $R_{\text{к}}$  и  $R_{\text{н}}$ , ибо  $I_{\text{г}} = I_{\text{э}} + I_{\text{к}} = \text{const}$ , а  $R_{\text{н}} = R_{\text{э}}$  для прямого включения и  $R_{\text{н}} = R_{\text{к}}$  - для инверсного.

$K_{\text{T}} \approx 0$  при  $V_{\text{н}} > 0$  и увеличивается по модулю при увеличении модуля  $V_{\text{н}}$ , поэтому для целей проектирования полезно знать величину  $I_{\text{э}}$  при  $V_{\text{н}} = 0$ , т.е.  $I_{\text{э}}^*$ .

Рассмотренные выше зависимости достаточно полно характеризуют транзистор как основной элемент ФИВА. Часто полезно также иметь зависимость времени фронта от тока базы, которая представлена на рис. 8.

Приведенный материал позволяет сформулировать следующие рекомендации. Для формирования импульсов высокостабильной амплитуды положительной полярности следует использовать транзисторы типа МП38, а отрицательной полярности - ПЗО, так как эти транзисторы имеют меньше по сравнению с остальными значения  $R_{э}$ ,  $R_{б}$ ,  $K_T$  и  $T_{ф}$ . 2. Для транзисторов типа МП38 и ПЗО следует применять режим прямого включения, как режим с меньшим током закрытого транзистора и с меньшим временем фронта выходного сигнала. /Можно отметить также, что явных преимуществ по каким-либо другим характеристикам инверсный режим включения транзисторов МП38 и ПЗО не имеет/. 3. Для запуска формирователя следует использовать большие токи базы, так как им соответствуют лучшие параметры транзистора-формирователя в состоянии насыщения. 4. Напряжения смещения базы следует выбирать таким образом, чтобы оно удовлетворяло интервалу  $250 \pm 50$  мВ.

Материал работы можно использовать также для оценки ожидаемой нестабильности проектируемого ФИВА. Так, например, при  $I_{б} = 20$  мА, сопротивления нагрузки  $R = 1$  ком, в интервале значений опорного напряжения  $V_{оп} = 1 \div 10$  вольт, температуре окружающей среды  $T = 20 + 10$  °С и при 50-процентной отбраковке транзисторов по току  $I_{эз}$  формирователя, спроектированные с учетом приведенных выше рекомендаций, будут иметь нестабильность амплитуды не более 1 мВ при положительной полярности сигнала и 0,5 мВ - при отрицательной. Эти цифры позволяют обосновать ограничение на нестабильность тока базы. Так, если потребовать, чтобы нестабильность тока базы укладывалась в 1%, то ее вклад в общую амплитудную нестабильность не превысит  $10 \div 20$  %.

Авторы выражают благодарность В.И. Гялеву, принимавшему участие в работе на первой ее стадии.

#### *Литература*

1. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Б.В.Фефилов. *Препринт ОИЯИ, Р13-3246, Дубна, 1967.*
2. M.G.Strauss, L.L.Sifter, F.R.Leksusz and R.Brenner *IEEE Transactions on Nuclear Science, NS-15, 518 (1968).*

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 января 1973 года.

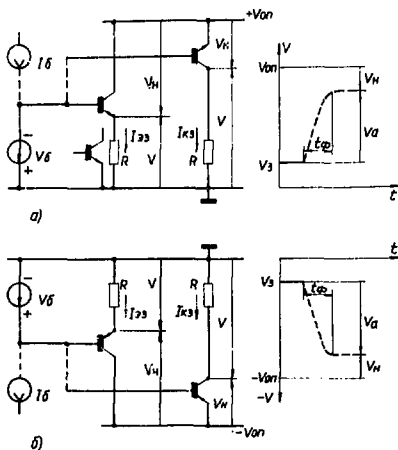


Рис. 1. Формирователи импульсов высокостабильной амплитуды: а - на транзисторе  $n-p-n$  типа в прямом и инверсном включении; б - на транзисторе  $p-n-p$  типа в прямом и инверсном включении.

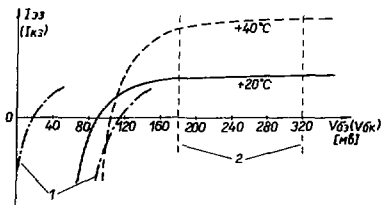


Рис. 2. Ток закрытого транзистора в зависимости от напряжения смещения базы. Примечание: 1 - предельное положение графиков  $I_{бз}(V_{бз})$  и  $I_{кз}(V_{бк})$  для транзисторов типов П29, П30, МП42, ПАО6, МП37, МП38, П103 и МП111, 2 - наиболее предпочтительный для использования интервал величин напряжений смещения базы.

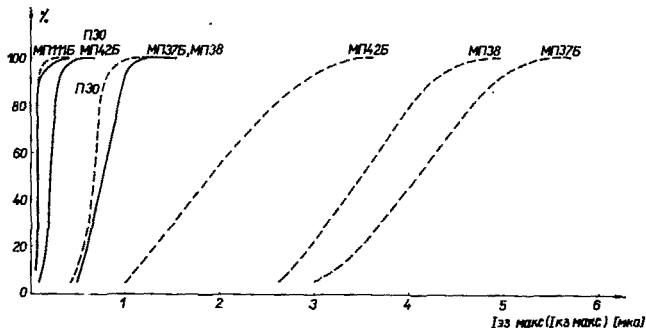


Рис. 3. Распределение транзисторов по величине  $I_{кз}$  ( $I_{кз макс}$ ).  
 Примечание: Графики определяют процент транзисторов, ток которых в закрытом состоянии не превышает значения, указанного на оси абсцисс. Сплошные линии - для прямого включения транзисторов, пунктирные - для инверсного. Режим измерения -  $|V_{кз}| = 10$  вольт,  $|V_{бз}|$  ( $|V_{бк}|$ ) = 300 мВ.



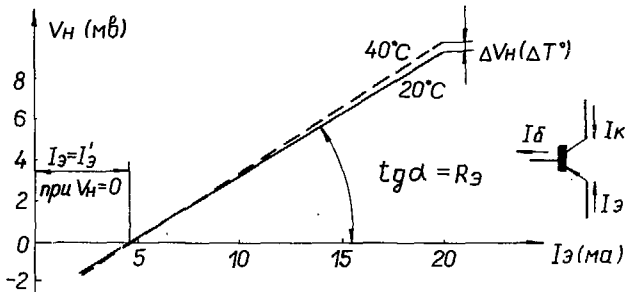


Рис. 4. Зависимость напряжения насыщения от тока эмиттера.  
Транзистор - ПЗО, ток базы - 20 ма.

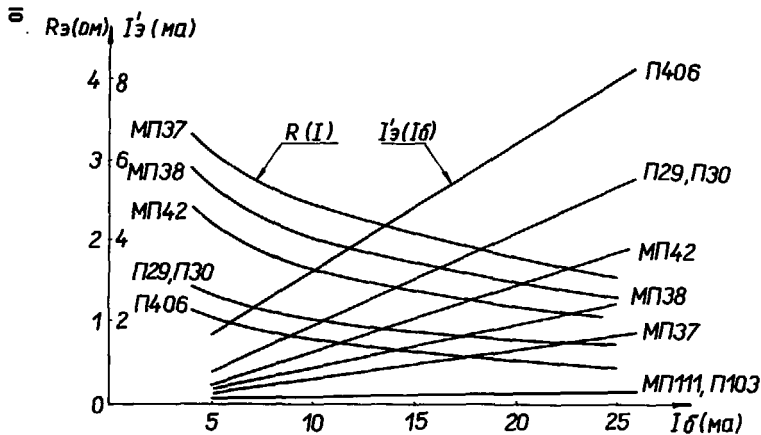


Рис. 5. Зависимость коэффициента передачи  $R_3$  и тока  $I_3$  от тока базы для транзисторов различных типов. /Транзисторы МП111 и П103 в приведенном диапазоне тока базы / 5 ÷ 25 ма/ имеют  $R_3$  соответственно 23 ÷ 13 ом и 30 ÷ 14 ом/.

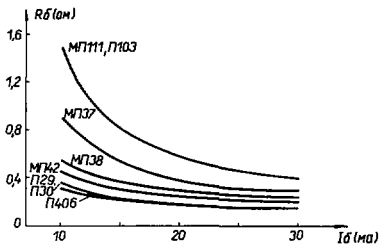


Рис. 6. Зависимость коэффициента передачи  $R_{\delta}$  от тока базы при токе эмиттера  $I_{\epsilon} = 5$  ма.

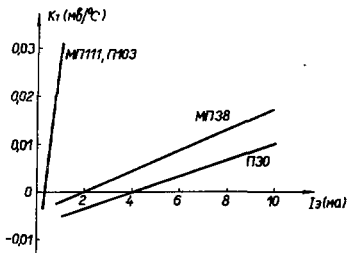


Рис. 7. Зависимость коэффициента передачи  $K_T$  от тока эмиттера.

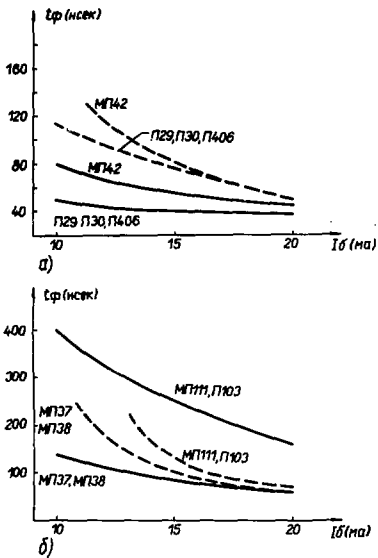


Рис. 8. Зависимость времени фронта выходного сигнала от величины запускающего тока /тока базы/; а - для транзисторов р-р-р типа, б - для транзисторов п-р-п типа. Сплошные линии - прямое включение транзисторов, пунктирные - инверсное.