

4. Н. С. Крейнгель. Шумовые параметры радиоприемных устройств. Л., «Энергия», 1969.
5. Кристаллические детекторы, т. II. Перевод с англ. под ред. Е. А. Пумпера. М., «Советское радио», 1950.
6. Радиоприемные устройства на полупроводниковых приборах. Под ред. Р. А. Валитова и А. А. Куликовского. М., «Советское радио», 1968.

*Поступило в редакцию
23 декабря 1971 г.*

УДК 621.317.725

А. Н. КАСПЕРОВИЧ, В. И. СОЛОНЕНКО
(Новосибирск)

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ ЦИФРОАНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

В ряде задач автоматизации научно-технического эксперимента возникает необходимость в цифровом управлении отклонением электронного луча. В зависимости от типа отклоняющей системы — магнитного или электростатического — для этой цели приходится использовать цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) соответственно с мощным токовым выходом* или с высоким выходным напряжением.

Обычно для отклонения луча в трубках с электростатическим отклонением используются ламповые усилители типа применяемых в осциллографах. Однако они сложны, обладают низкой точностью, требуют высоких питающих напряжений и трудно стыкуются с ЦАП.

Ниже обосновывается блок-схема и описываются наиболее интересные узлы высоковольтного ЦАП, содержащего высоковольтные ключи и резисторы, либо с помощью в диссекторе типа ЛИ-602.

Управляющее напряжение может прикладываться либо к одной отклоняющей пластине (вторая при этом заземляется), либо к двум в противофазе. Второй вариант предпочтительнее, так как позволяет избежать расфокусировки луча, а также обойтись вдвое меньшим размахом отклоняющего напряжения по сравнению с первым вариантом.

Высокое отклоняющее напряжение может получиться либо с помощью высоковольтного ЦАП, содержащего высоковольтные ключи и резисторы, либо с помощью низковольтного ЦАП и высоковольтного выходного каскада. Второй путь более прост, поскольку не требует большого количества точных высоковольтных резисторов и ключей, управление ключами в нем облегчено, а также можно использовать готовые ЦАП низкого уровня.

На отклоняющие пластины можно подавать либо разнополярное напряжение, либо однополярное того же размаха. Второй вариант имеет те преимущества, что позволяет обойтись одним источником высокого напряжения и упростить схему выходного каскада высоковольтного ЦАП. При этом размах управляющего напряжения на пластинах будет соответственно $0 - \frac{1}{2}U_{\max}$ и $\frac{1}{2}U_{\max} - 0$ (U_{\max} — максимальное напряжение, прикладываемое к одной пластине в варианте, когда другая пластина заземлена). Общее изменение управляющего напряжения соответствует напряжению U_{\max} .

Из сказанного следует, что наиболее целесообразным вариантом в смысле удобства управления (низкие управляющие напряжения триггеров), простоты и минимизации количества и номиналов напряжения высоковольтных источников, снижения требований к элементам является раздельное управление потенциалами обеих пластин с помощью низковольтного ЦАП и двух высоковольтных выходных каскадов. Для того чтобы уменьшить влияние изменения параметров выходных каскадов на выходное напряжение, целесообразно последние выполнить в виде высоковольтных операционных усилителей (ВОУ) с глубокой отрицательной обратной связью.

Для уменьшения фронта управляющего напряжения выходы ВОУ должны быть нагружены минимальными емкостями, а это возможно, когда ВОУ смонтированы непосредственно у пластин диссектора. Остальные узлы ЦАП лучше выполнять отдельно, так как диссектор может перемещаться вместе с ВОУ и чем меньше оборудования установлено на нем, тем лучше. Кроме того, и для безопасности желательно разделить высоковольтные и низковольтные цепи ЦАП.

* В. А. Алексеев, В. А. Беломестных, В. Н. Вьюхин, А. Н. Касперович, Ю. А. Попов, В. И. Солоненко. Многоточечная быстродействующая система сбора и хранения информации. — Автометрия, 1971, № 2.

Так как весь ЦАП состоит из двух частей, разнесенных на некоторое расстояние, то было необходимо разрешить вопрос о том, где лучше подключить линию связи с тем, чтобы ее емкость влияла на быстродействие, возможно, меньше.

Блок-схема разработанного высоковольтного ЦАП изображена на рис. 1. Низковольтная часть включает в себя регистр ЦАП, ЦАП и низковольтный операционный усилитель HOY_1 с резистором обратной связи R_1 , инвертирующей HOY_2 с резисторами R_2 и R_3 , а высоковольтная — BOY_1 с резисторами R_4 , R_6 , R_8 и BOY_2 с резисторами R_5 , R_7 , R_9 , также с резистором R_{10} и R_{11} . Выходные напряжения HOY_1 и HOY_2 составляют ± 2 В.

Следует заметить, что инверсное напряжение, получаемое с помощью HOY_2 , можно получить с помощью еще одного ЦАП низкого уровня, управляемого от того же регистра ЦАП, что и первый ЦАП, но с других плеч триггеров, однако вариант с HOY_2 проще, поскольку ЦАП — более сложное устройство, чем операционный усилитель.

Наиболее интересным в данном высоковольтном ЦАП является операционный усилитель, на вход которого подается низкое напряжение от HOY_1 , а выход которого подключен к пластине диссектора. Высоковольтный операционный усилитель (рис. 2) представляет собой инвертирующий ОУ, состоящий из низковольтного предварительного усилителя на микросхеме 1УТ401, каскада сдвига уровня $T_1—T_4$, выходного усилителя ($T_5—T_7$), цепи задания потенциала баз транзисторов выходного усилителя на T_3 , входных резисторов R_1 и R_2 и резистора обратной связи R_3 .

Микросхема 1УТ401 применена в предварительном усилителе для уменьшения его дрейфа и обеспечения необходимого коэффициента усиления. Для получения требуемого диапазона 0—600 В используется усилитель на каскаде с общей базой, имеющей хорошие динамические свойства. Известно, что для повышения быстродействия желательно выбирать сопротивление в коллекторе, возможно, меньшим. Однако при его уменьшении увеличивается мощность, рассеиваемая на транзисторах. Поскольку в настоящее время отсутствуют мощные высоковольтные и быстродействующие транзисторы, пришлось применить каскад, содержащий два транзистора T_5 и T_6 типа КТ604Б, соединенных между собой последовательно, и транзистор T_7 , поддерживающий равными напряжения $U_{кз}$ транзисторов T_5 , T_6 . В связи с тем, что напряжение насыщения транзисторов типа КТ604Б достаточно велико — 12—15 В (для тока коллектора порядка 20 мА), то для получения на выходе усилителя напряжения, равного нулю, оказалось необходимым использовать каскад сдвига уровня на 35 В. Для увеличения коэффициента передачи каскада сдвига уровня в его состав включен повторитель на T_3 , тепловой режим которого облегчается за счет динамической нагрузки на T_4 . Транзистор T_3 , включенный по схеме эмиттерного повторителя, обеспечивает постоянство потенциала базы транзистора T_6 , несмотря на изменения его тока базы. С целью обеспечения взаимозаменяемости BOY_1 и BOY_2 с выходов HOY_1 и HOY_2 поступает

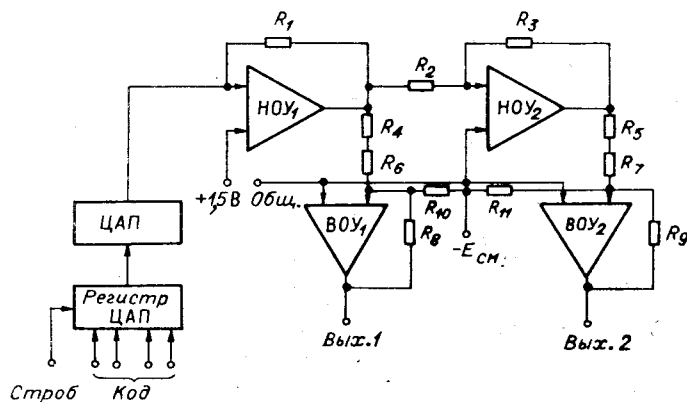


Рис. 1.

* В. А. Алексеев, В. А. Беломестных, В. Н. Вьюхин, А. Н. Касперович, Ю. А. Попов, В. И. Солоненко. Многоточечная быстродействующая система сбора и хранения информации. — Автометрия, 1971, № 2.

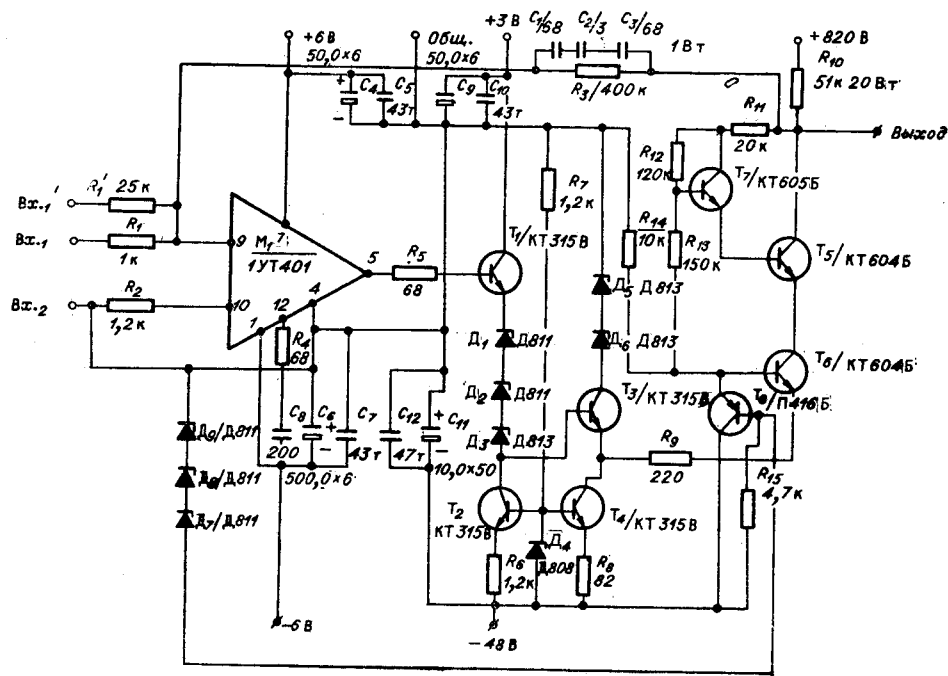


Рис. 2.

разнополярное напряжение. Поскольку выходное напряжение изменяется от 0 до $+600$ В, то необходимо подать на Вх.1 каждого ВОУ через резистор R_1 сдвигающий ток порядка 1 мА от источника отрицательного напряжения, причем ток этот должен быть стабильным, ибо его изменения приводят к параллельному сдвигу выходного напряжения. Элементы R_4 , C_8 , C_2 служат для срыва генерации и достижения максимально крутых фронтов выходного напряжения.

Расчет погрешностей ВОУ производится обычным образом, за исключением того, что здесь необходимо принимать во внимание разогрев резисторов и транзисторов выходного каскада выделяемой мощностью. Коэффициент усиления разомкнутого ВОУ составляет около $200\,000$, $K\beta \approx 500$. Минимальный ток через транзистор T_6 выбран равным 2 мА, максимальный — 18 мА. Наиболее тяжелый режим по рассеиваемой мощности — середина диапазона, т. е. при $U_{\text{вых}} = 300$ В. При этом ток через T_6 составляет около 10 мА, падение напряжения на нем 150 В, а рассеиваемая мощность $1,5$ Вт.

Размах выходного напряжения операционного усилителя на микросхеме был выбран 4 В, что при принятом перепаде токов — 16 мА — требует значения сопротивления R_9 порядка 250 Ом. Это, в свою очередь, определяет значения резистора в коллекторе около 50 кОм. Максимальная мощность (около 16 Вт) будет рассеиваться на этом резисторе при нулевом выходном напряжении.

Важным оказывается вопрос о выборе резистора обратной связи R_3 , поскольку при изменении выходного сигнала мощность, выделяемая на нем, а следовательно, и его сопротивление меняются. Это явление может привести к «подползанию» выходного напряжения к установившемуся значению после резкого изменения входной величины. Поэтому в качестве резистора обратной связи использовано четыре резистора типа С2-14 с допустимой мощностью рассеивания $0,25$ Вт при максимальной рассеиваемой мощности $0,9$ Вт.

Выполненный ЦАП имеет следующие параметры: число разрядов 7 , размах выходного напряжения 1200 В, статическая погрешность $0,2\%$, постоянная времени установления (при емкости нагрузки 5 пФ) $0,5$ мкс.

Конструктивно макет высоковольтного цифроаналогового преобразователя выполнен в виде двух блоков — низковольтного, укрепленного в шасси размером $40 \times 200 \times 400$, и высоковольтного, смонтированного в кожухе размером $70 \times 100 \times 180$ непосредственно у диссектора.

Высоковольтный ЦАП успешно прошел опытную эксплуатацию совместно с диссектором и малой ЭВМ «Электроника-100».

Поступило в редакцию 16 октября 1972 г.