

# Терменвокс

Л. КОРОЛЕВ, г. Москва

О терменвоксе журнал "Радио" писал неоднократно. Наиболее значимыми из публикаций на эту тему были статьи московского радиолюбителя Л. Королева "Современный терменвокс" (1985, № 2, с. 43—46 и 3-я с. обл.; № 3, с. 38—40) и "Визуализация пространственного грифа терменвокса" (1982, № 5, с. 44—46).

В последние годы автор этих статей многое сделал для усовершенствования инструмента, расширения его исполнительских возможностей, приспособления к практике обучения игры на нем. С итогами этой работы читателей знакомит помещенная здесь статья.

Нынешний год в жизни Льва Дмитриевича Королева стал заметной вехой — исполняется пятьдесят лет его радиолюбительской деятельности. От имени наших читателей мы поздравляем Л. Королева с этим юбилеем и желаем ему дальнейших творческих успехов.

Световой индикатор длины пространственного звуковысотного грифа, подключенный к выходу детектора биений генератора—манипулятора, позволяет устанавливать или подстраивать требуемую длину грифа без воспроизведения звука через громкоговорители. Узел запуска формирует запускающие импульсы для визуализатора грифа. Управляющее напряжение на генератор—манипулятор поступает с переключателя исполнительских школ игры (ПШ), куда он приходит либо — при игре сидя — с отдельного пульта управления, либо — при игре стоя — с выхода канала управления громкостью.

Пульт управления в зависимости от выбранного режима работы инструмента формирует все амплитудные характеристики звука — атаку, затухание, длительное (струнное) затухание, стакато.

в генераторно-манипуляторный блок, во многом идентичны и собраны по схеме индуктивной трехточки. Идентичность схемного построения, а также однофункциональных элементов необходима для обеспечения высокой стабильности музыкального строя.

Делители напряжения R1R2 и R4R5 уменьшают глубину внутренней ОС генераторов, что устраняет возможные скачкообразные изменения частоты. Конденсатор С1 постоянного генератора — эквивалент суммарной емкости штыря, его зажима и соединительного провода. Подстроечный конденсатор С3 — элемент взаимной связи генераторов, играющей исключительно важную и принципиальную роль в выравнивании мензуры грифа; значения частоты генераторов сближаются тем быстрее, чем меньше их расстройка (чем ни-

тенки. Фильтр С10R19C12 подавляет остаточные составляющие с частотой генераторов.

Манипулятор собран на резисторном оптроне ЗОР124А (U1), обладающем хорошим быстродействием, широким интервалом изменения сопротивления фоторезистора и слабо выраженной "усталостью", которая проявляется в нестойкости модуляционной характеристики из-за гистерезисных явлений [2]. Применение оптрона позволило схемотехнически просто избавиться от щелчков при манипуляции и обрабатывать сигналы с большими уровнями. Регулируемый делителем напряжения служит сопротивление фоторезистора оптрона и входное сопротивление эмиттерного повторителя на транзисторе VT8.

Излучатель оптрона включен в нагрузочную цепь другого эмиттерного повторителя, собранного на транзисторе VT6. На базу транзистора поступает управляющее напряжение с переключателя школ игры SA2. В верхнем по схеме положении переключателя (игра стоя) оно приходит с выхода канала управления громкостью, в нижнем (игра сидя) — с пульта управления. Нелинейная цепь R24VD3 в выходной цепи эмиттерного повторителя VT6 служит для улучшения акустических качеств при имитации струнного звучания.

Резистор R31 — токоограничивающий. Контакты тумблера SA1 при игре сидя должны быть разомкнутыми. При игре стоя их замыкают после окончания пьесы (или когда исполнитель отходит от инструмента), блокируя прохождение сигнала ЗЧ в усилительный тракт.

Транзистор VT5 индикатора длины пространственного грифа высоты тона открывают положительные полуволны напряжения биений. Длину грифа оценивают по факту появления биений — началу миганий светодиода HL1.

Узел запуска визуализатора грифа представляет собой усилитель—ограничитель биений, собранный на транзисторе VT7. Напряжение на его выходе по форме близко к "меандру", положительные фронты которого запускают визуализатор грифа. Конденсаторы С14, С15 дополнительно подавляют высокочастотные составляющие сигнала, улучшая стабильность запуска.

Схема пульта управления изображена на рис. 3. Пульт обеспечивает три режима работы инструмента: готовые атака—затухание звука, регулируемые атака—затухание и имитация струнного (щипкового) звучания. Манипуляцию (включение—выключение звука) выполняют тремя кнопками SB1—SB3 с самовозвратом. Положение контактов переключателей на схеме соответствует режиму готовые атака—затухание.

При нажатии на одну из кнопок SB1—SB3 происходит зарядка конденсатора С1 пульта до напряжения, близкого к напряжению питания. Постоянная времени зарядки задана резистором R6 (сопротивлением резисторов R4, R8 и диода VD1 можно пренебречь) — она определяет атаку звука.

При отпускании манипуляционной кнопки конденсатор С1 разряжается че-

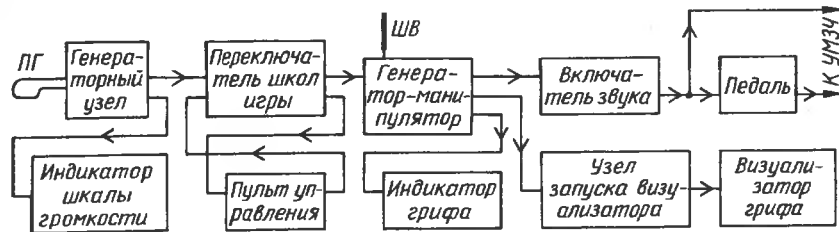


Рис. 1

В канал управления громкостью входит генераторный узел с петлевым электродом управления громкостью (ПГ) и световой индикатор длины пространственной шкалы регулирования громкости. Управляющее напряжение на выходе канала изменяется при изменении расстояния между рукой исполнителя и петлевым электродом, зависит от конфигурации кисти руки и определяет громкость звука и ряд его амплитудных характеристик.

Принципиальная схема инструмента показана на рис. 2. Формирователь звукового сигнала построен традиционно, с использованием двух генераторов, один (на транзисторе VT2) с постоянной частотой, а второй (VT1) управляемый — с переменной; в дальнейшем для краткости будем называть их постоянным и управляемым. Оба генератора — управляемые и постоянные, — входящие

же высота тона). Это компенсирует естественный разбег звуковысотных интервалов инструмента, или, говоря иначе, гриф на определенном участке становится равномерным [1].

Установку или подгонку требуемой длины пространственного грифа выполняют небольшим смещением частоты управляемого генератора посредством варикапов VD1, VD2. Суммирующая цепь выполнена на конденсаторах С5—С7. Для уменьшения собственного шума и внешних наводок входное сопротивление усилительной ступени на транзисторе VT3 выбрано сравнительно небольшим. Детектирование биений происходит на нелинейном эмиттерном переходе транзистора VT4, куда с цепи R13—R16 поступает регулируемое напряжение смещения. Это приводит к вариации формы кривой биений, позволяя получать различные тембровые от-

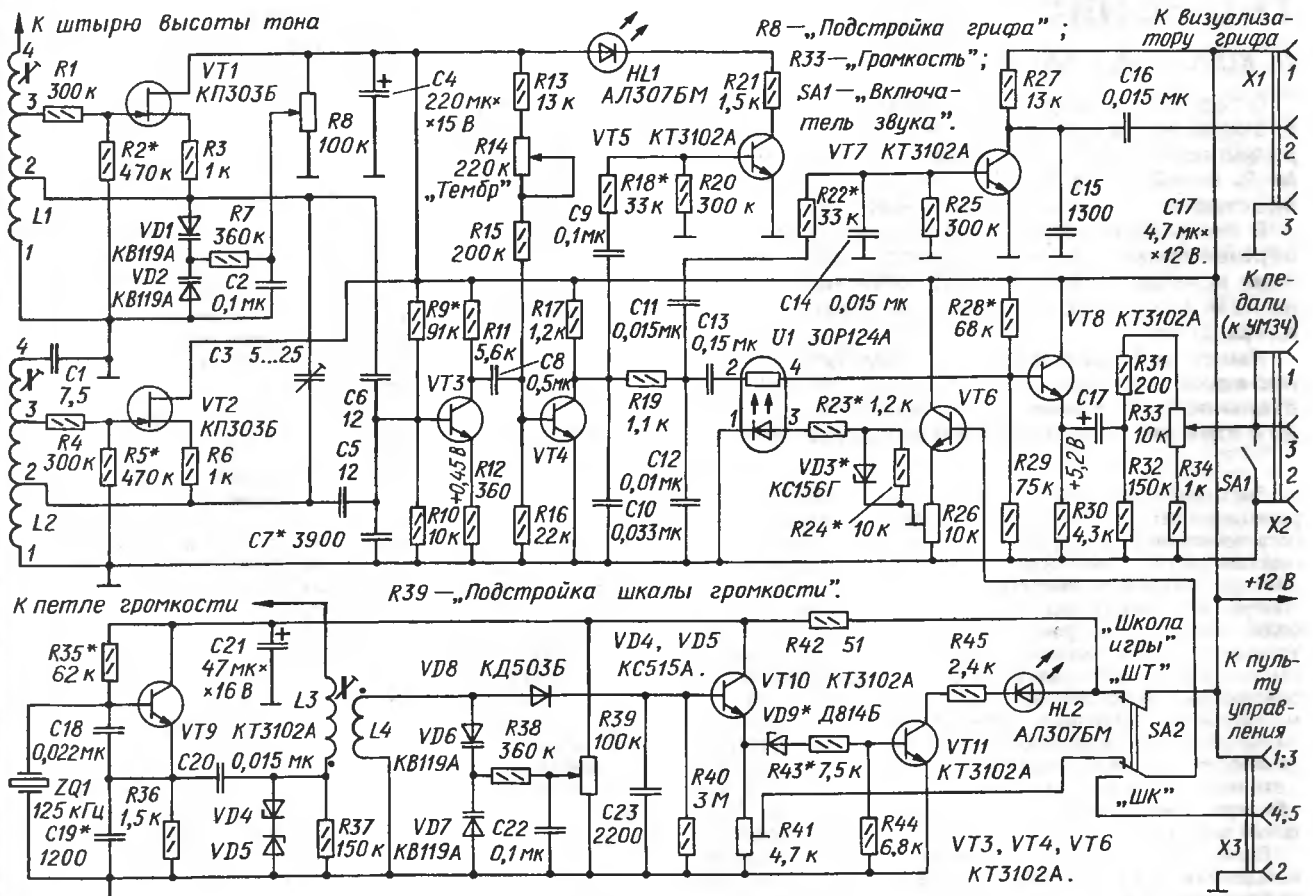


Рис. 2

рез резистор R1. Постоянная времени разрядки определяет затухание звука.

Практика применения терменвокса показала, что фиксированных значений атаки и затухания звука явно недостаточно. Для их ручной регулировки тумблер SA1 переводят в другое положение, а требуемые атаку и затухание устанавливают резисторами R7 и R3 соответственно.

Звучание струнных инструментов имитируют короткими и легкими ударами пальцем по одной из кнопок SB1—SB3 при нажатой другим пальцем и удерживаемой во время исполнения кнопке SB4. Для длительной игры в этом режиме может быть введен тумблер, дублирующий контакты кнопки SB4.

Жесткая атака соответствует малой постоянной времени зарядки конденсатора C1 через резистор R4 и диод VD1, а также очень малой постоянной времени включения оптрона U1. Длительное затухание определено большой постоянной времени разрядки конденсатора C1 через резистор R8 (входным сопротивлением транзистора VT6 пренебрегаем, а диод VD1 оказывается закрытым, поскольку кнопку SB4 удерживают нажатой). Такой прием, как глушение звучащей струны пальцем, выполняется кратковременным нажатием на кнопку SB5.

В основу узла регулирования громкости звука положен эффект изменения

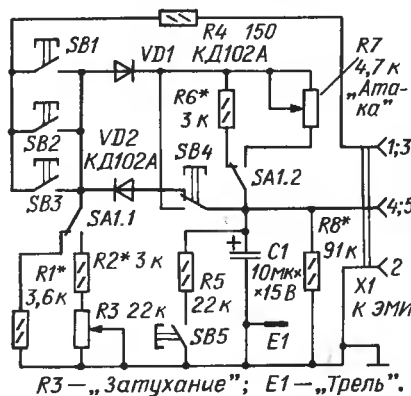


Рис. 3

напряжения на катушке колебательного контура при его расстройке относительно резонансной частоты.

Канал регулирования громкости состоит из кварцевого генератора, собранного на транзисторе VT9 (см. рис. 2) и питающего два взаимосвязанных колебательных контура, амплитудного детектора VD8C23, эмиттерного повторителя на транзисторе VT10 и индикатора длины шкалы регулирования громкости на транзисторе VT11 и светодиоде HL2.

Первый контур образован катушкой L3 и емкостью между левой ладонью

исполнителя и петель громкости (ПГ). Изменяя расстояние между ладонью и петлей, управляют громкостью звучания инструмента. Меньшему расстоянию соответствует меньшая громкость.

Контур включен в низкоомную эмиттерную цепь транзистора VT9. Во избежание интерференционных искажений частота генератора выбрана намного более высокой, чем у тональных генераторов.

Второй контур образуют катушка L4 и два варикапа VD6, VD7 — об их роли будет сказано ниже. С выхода эмиттерного повторителя управляющее напряжение поступает через контакты переключателя SA2 школ игры (ПШ) на базу транзистора VT6 манипулятора. Цепь VD4VD5R37 не принципиальна для работы устройства. Она уменьшает влияние зарядов статического электричества, возникающих в процессе пользования инструментом.

Общая характеристика канала управления громкостью обеспечивает плавное ее регулирование от полного отсутствия звучания, когда ладонь находится на минимальном расстоянии от петли (или даже лежит на ней), до максимальной, когда рука поднята над петлей на расстоянии около 50 см. С помощью варикапов VD6, VD7, управляемых напряжением с резистора R39, можно вносить небольшую дополнительную расстройку в систему контуров в окончательно настроенном инст-

рументе с целью получить максимальную длину пространственной шкалы громкости. Это констатируют по началу свечения светодиода HL2.

Узел электропитания (его схема представлена на рис. 4) состоит из сетевого трансформатора T1, двух мос-

Поэтому все однофункциональные детали этого узла следует подобрать попарно из одной партии и с возможно близкими (с допуском не хуже 5%) значениями параметров.

Катушки L1 и L2 надо также выполнить идентичными. Их наматывают на

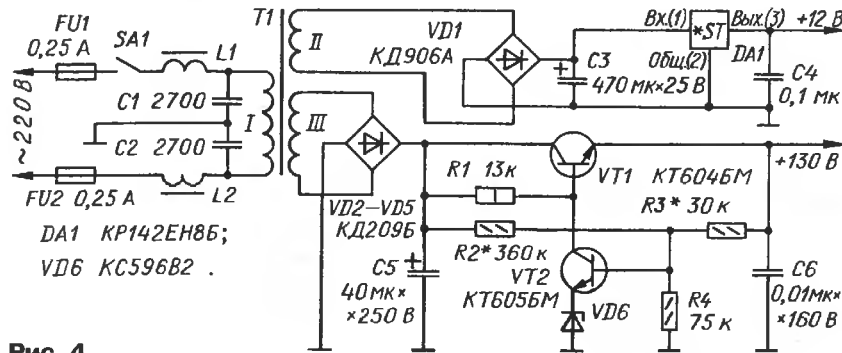


Рис. 4

товых диодных выпрямителей VD1, VD2—VD5 и двух стабилизаторов напряжения, один из которых собран на микросхеме DA1 и питает собственно терменвокс, а второй — на транзисторах VT1, VT2 для питания визуализатора грифа.

В инструменте можно использовать постоянные резисторы С2-23, С2-33, МЛТ; подстроечные — СПЗ-19а, СПЗ-38а, РП1-63м; переменные — серий СП-04, СПЗ-4, СП4-1. Номиналы резисторов R8 и R39 не критичны, их можно выбирать в пределах 10—220 кОм, из них следует предпочесть те, у которых характеристика В.

Подстроечный конденсатор С3 — КПК-МН. Конденсатор С1 — КД-2а или КТ-1 с малым ТКЕ и номинальным напряжением не менее 150 В; С5—С7, С18, С19, С23 с ТКЕ не хуже М750; С5, С7 — с допуском по емкости не хуже 5%. Конденсаторы С1, С2 в узле питания — любые на напряжение не менее 400 В; оксидный конденсатор С1 в пульте управления — ниобиевый или танталовый из серий К52, К53, ЭТО, причем нужно обязательно отобрать экземпляр с минимальным током утечки. Остальные — малогабаритные любых типов.

Вместо оптрона ЗОР124А подойдет АОР124А или любой другой резисторный с временем включения не более 10 мс. Хорошие результаты дает и самодельный оптрон, составленный из фоторезистора СФЗ-4Б и светодиода АЛ102АМ. Типономиналы деталей, относящихся к манипулятору и отмеченных на схеме звездочкой, ориентировочные. Их при налаживании необходимо подбирать в соответствии с реальной амплитудной характеристикой манипулятора.

Кварцевый резонатор ZQ1 годится с любой частотой, вплоть до 146 кГц. Необходимо лишь, чтобы она превышала частоту постоянного генератора не менее чем на 17 кГц.

В основе высокой стабильности разностной частоты генераторного блока, а следовательно, и музыкального строя ЭМИ, лежит коррелированность частотного "ухода" генераторов.

трехсекционных фторопластовых каркасах диаметром 9 мм, диаметр щек — 17 мм, ширина секций — 3,5 мм, толщина перегородок — 1 мм; крайние щечки имеют толщину 2 мм. Центральное отверстие диаметром 8 мм рассчитано на тугоскользкую посадку на стандартный пластмассовый каркас с ферритовыми подстроечниками с резьбой М6 от высокочастотных контуров телевизионных приемников.

В одной из крайних щек (той, где будет вывод 4) в 1...1,5 мм от края сверлят рядом три отверстия диаметром 0,5...0,6 мм. В эти отверстия после намотки катушки вплетают отрезок луженого провода, к которому припаивают вывод 4. Катушку монтируют на плате выводом 4 вверх. Для пропуска провода в соседние секции в перегородках пропиливают паз.

Обмотки 1—2 и 2—3 (100+200 витков провода ПЭВ-2 0,06) наматывают в секцию, прилегающую к плате. Обмотка 3—4 содержит 3900 витков такого же провода, по 1300 витков в каждой секции каркаса. В нижнюю секцию провод укладывают поверх обмоток 1—2 и 2—3 без прокладок. Намотку лучше проводить вручную, часто и непрерывно раскладывая провод от одной щечки к другой, — такая намотка, подобно способу "универсаль", позволяет уменьшить собственную емкость катушки.

На аналогичном каркасе наматывают и катушки L3, L4 канала регулирования громкости. Обмотку L4, содержащую 300 витков провода ПЭВ-2 0,06, наматывают первой в секцию, прилегающую к плате. Сверху накладывают три слоя фторопластовой ленты толщиной 0,02...0,03 мм (например, от конденсаторов ФТ), поверх которой в том же направлении наматывают проводом ПЭВ-2 0,06 1000 витков катушки L3. В остальные две секции каркаса укладывают по 1200 витков такого же провода.

При намотке всех катушек межсекционный участок провода, находящийся в прорези перегородки, необходимо дополнительно изолировать от расположенных рядом витков. Проще всего

это сделать, поместив перед намоткой очередной секции этот участок в стиг полоски конденсаторной бумаги и уложив провод с бумагой в прорезь. Для закрепления витков допустимо применение клея БФ-2. Снаружи все катушки обматывают тонкой фторопластовой лентой и фиксируют капроновыми нитками. С помощью клея и винтов М1,5 или М2 катушки устанавливают на платах.

Дроссели L1, L2 узла питания лучше всего применить готовые на ток 0,1 А или более, индуктивностью 1,5...2 мГн, но подойдут и самодельные.

Корпус оптрона следует соединить с общим проводом, например, с помощью обжимки из белой жести.

Трансформатор T1 узла питания должен обеспечивать переменное напряжение на обмотке II 15...16 В при токе нагрузки 50...60 мА, а на обмотке III — 160...170 В при токе около 40 мА.

Манипуляционные кнопки SB1—SB3 пульта управления — самодельные, бесшумные с регулировкой усилия срабатывания (рис. 5). Контактные пластины и прокладки между ними исполь-

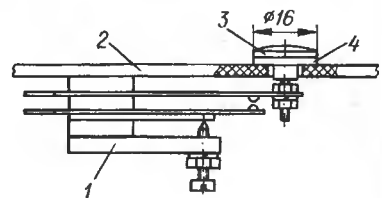


Рис. 5

зованы от старых переключателей или реле (например, РКН). Толкатель 3 вытаскивают из фторопласта и соединяют со шпилькой на резьбе. Прижимную планку 1 выпиливают из жесткого листового дюралюминия. Прокладка 4 между толкателем и панелью 2 пульта служит демпфером и не должна влиять на усилие срабатывания кнопки. Прокладку вырезают из неплотного ворсистого фетра. Оптимальное усилие срабатывания кнопки — 15...30 г при глубине хода 0,5...0,8 мм.

Кнопки SB4, SB5 изготовлены из готовых микрокнопок KM1-1. У них удалены фиксаторы и уменьшено до 20...40 г усилие срабатывания.

В качестве включателя звука может быть использован любой тумблер с малым усилием переключения и без щелчков. Остальные тумблеры — любые малогабаритные. Разъемы для подключения педали и пульта управления — РГ5—РШ5 или др.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Королев Л. Д.** Пространственный гриф терменвокса и его выравнивание. "Электроника, музыка, свет". Материалы научно-практической конференции. — Казань, 1996, с. 218—222.

2. **Носов Ю. Р., Сидоров А. С.** Оптоны и их применение. — М.: Радио и связь, 1981.

(Окончание следует)

Редактор — Л. Ломакин, графика — Л. Ломакин