

Рис.16

при однополярном питании подключать акустическую систему без разделительных конденсаторов). В отличие от предлагаемой изготовителем типовой схемы Марцин дополнительно ввел схему защиты выходных транзисторов от перегрузок - T5T6T10D1D5, а также триммер P1 точной установки нулевого напряжения на АС в режиме паузы. Предусмотрена также возможность параллельной работы нескольких усилителей без создания интерференционных помех от биения их несущих: для этого выход SL ведущего усилителя надо соединить с входом MAST ведомого. Напряжение питания устройства 12...18 В, выходная мощность 27 Вт на 4 Ома и 11 Вт на 8 Ом, коэффициент гармоник не более 0,2%, КПД не менее 90% - радиаторы не требуются («Elektronika Praktyczna» №8/2003, с. 19-23).

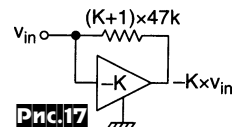
На рис. 16 показана схема лампового винил-корректора, разработанного Джо Тришлером. Первый каскад - линейный усилитель на триоде 5842 с высокой крутизной 25 мА/В и поэтому очень низким уровнем собственных шумов. Работая в облегченном режиме с напряжением на аноде 100 В и токе анода 10 мА, он обеспечивает усиление  $K_u=42$ . Для формирования корректирующей АЧХ RIAA применен пассивно-активный принцип, обеспечивающий как хорошую перегрузочную способность, так и низкий уровень шумов, а также высокую точность соответствия реальной АЧХ теоретически требуемой. Пассивная цепочка R4C2R5 формирует постоянную времени ВЧ коррекции 75 мкс. Средне-частотную же постоянную времени 318 мкс формирует ООС, охватывающая второй каскад (он охвачен параллельной ООС  $R8=R6$  и поэтому вполне логично назван «анодным повторителем») - R8C4. НЧ постоянная времени 3180 мкс задается цепью C3R6, а также частично выходным разделительным конденсатором C6 (на нагрузке 47...100 кОм). Отклонение формируемой устройством АЧХ от идеальной не превышает 0,3 дБ в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц,

но следует заметить, что реальная АЧХ с головкой звукоснимателя определяется еще и верно выбранной емкостью, соединяемой параллельно со входом винил-корректора (рекомендуемое ее значение указывается в паспорте или инструкции пользователя головки звукоснимателя). При определении ее величины необходимо учитывать собственную емкость проводников, проходящих по тонарму от головки к предусилителю, а также еще емкость Миллера лампы V1, составляющую в данном случае 75 пФ. Коэффициент усиления винил-корректора на частоте 1 кГц равен 31 дБ («AudioXpress» №10/2003, с.36-39).

В сверхмалозумящих винил-корректорах Марсея ван де Жевеля применен принцип т.н. активного понижения тепловых шумов резисторов, который заключается в следующем. Для оптимального демпфирования механических резонансов системы «головка звукоснимателя - грампластинка» в области высших звуковых частот винил-корректор должен обладать вполне определенным стандартным входным сопротивлением - 47 кОм. Тепловые шумы любого резистора сопротивлением R в соответствии с формулой Найквиста эквивалентны генератору шумового тока  $i_w = \sqrt{(4kT)(f_v - f_n)/R}$ , где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура,  $f_v$  и  $f_n$  - верхняя и нижняя границы интересующего частотного диапазона. Спектральная плотность теплового шума  $\sqrt{(4kT/R)}$  для 47-килоомного резистора составляет примерно 0,6 пА/√Гц. Этот шумовой ток, протекая по внутреннему сопротивлению источника сигнала - головки звукоснимателя - создает дополнительное шумовое напряжение, которое ухудшает динамический диапазон. У типового звукоснимателя с подвижным маг-

нитом полное сопротивление с учетом большой индуктивной составляющей в верхней части звукового диапазона составляет около 12 кОм, и ток  $i_w$ , протекая по нему, создает дополнительное шумовое напряжение со спектральной плотностью порядка 7 нВ/√Гц, что сравнимо или даже превышает шумы лучших малозумящих транзисторов входного каскада. Схемотехника активного понижения таких шумов заключается в том, что резистор, задающий входное сопротивление, включается не между входом и землей винил-корректора, а между входом и выходом инвертирующего усилителя с коэффициентом усиления  $K_u$  (рис. 17).

Рис.17



При этом сопротивление резистора увеличено в  $K_u+1$  раз, что снижает ток его теплового шума в  $\sqrt{K_u+1}$  раз, в то же время кажущееся для головки входное сопротивление остается равным 47 кОм. Блок-схема реализации активного понижения тепловых шумов применительно к корректирующему усилителю показана на рис. 18. Здесь блок N1 - ОУ с дифференциальным входом и дифференциальным выходом, R2R3C2C3 - цепь, задающая АЧХ, а входное сопротивление такой схемы равно  $R_{вх} = (R_4 + R_5)/(R_4/R_1 + 1)$ . Реальная схема приведена на рис. 19. Здесь каскад на ОУ A2 имеет усиление -  $R_2/R_1=20,5$ , а входное сопротивление  $R_{вх} = R_3/(1+R_2/R_1)=47$  кОм. Реальный выигрыш по уровню шумов составляет несколько дБ и может быть увеличен в случае применения сверхмалозумящих ОУ LT1028. На рис.20 показан максималистский High-End вариант винил-корректора с активным понижением тепловых шумов. Его особенность - в асимметричном поле-биполярном входном дифкаскаде. Автор обнаружил, что в оптимальном режиме с током коллектора 50 мкА лучшие из биполярных транзисторов (2SC2545 с  $r_g=14$  Ом и  $h_{21э}=600$ ) на внутреннем сопротивлении головки звукоснимателя создают напряжение шумов со спектральной плотностью около 2,9 нВ/√Гц, что заметно хуже,

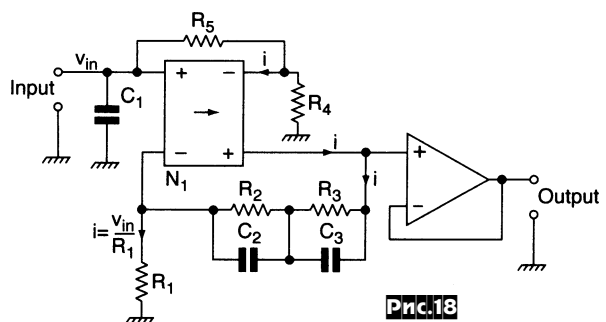
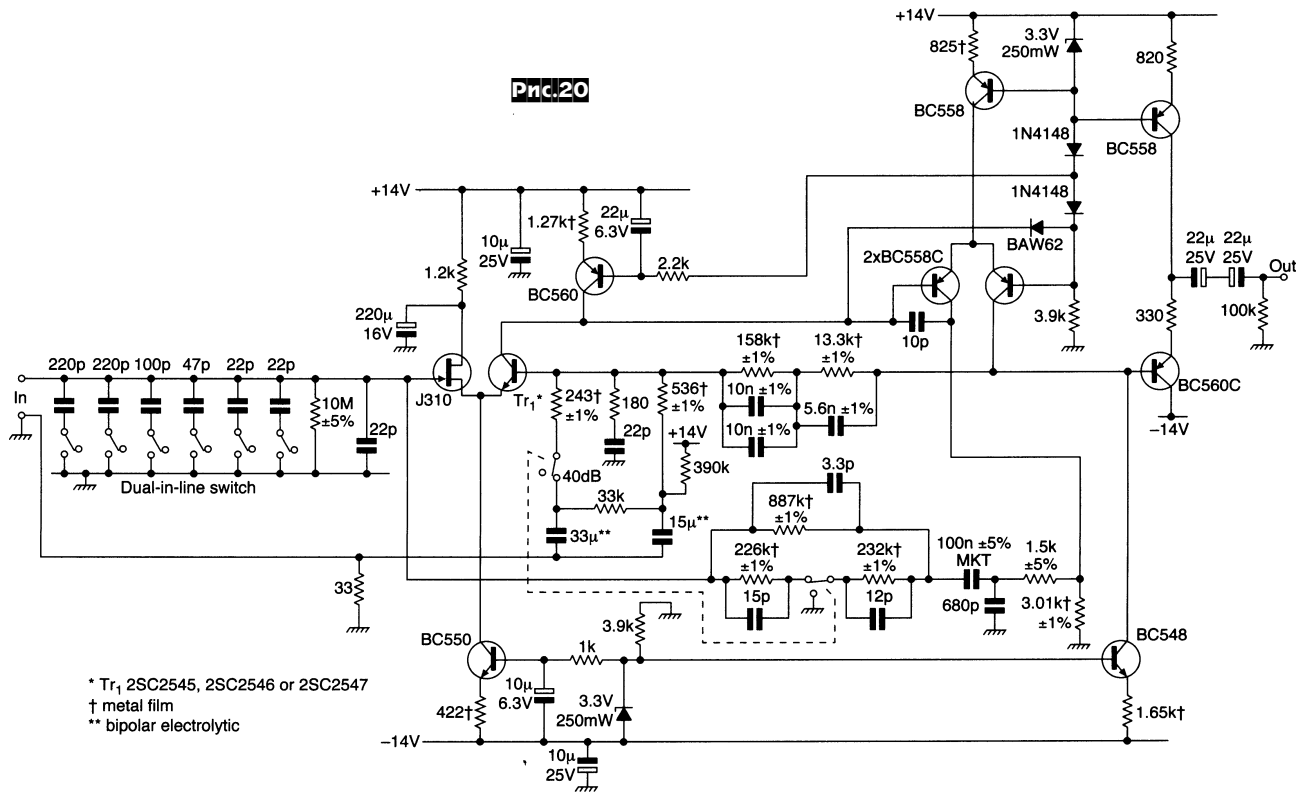
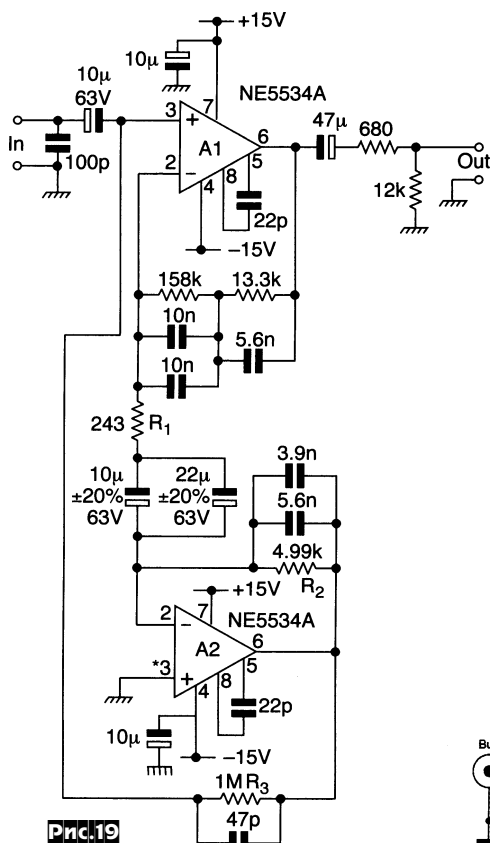


Рис.18



\* Tr<sub>1</sub> 2SC2545, 2SC2546 or 2SC2547  
 † metal film  
 \*\* bipolar electrolytic

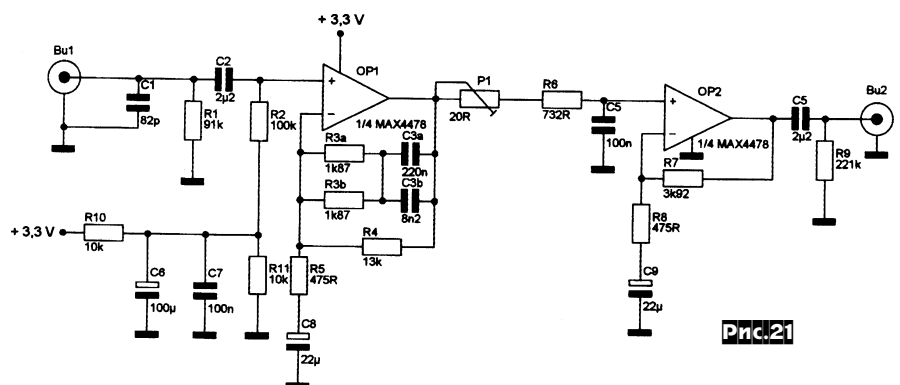


чем спектральная плотность шумов специализированных полевых jfet J310 - порядка 2 нВ/√Гц. С другого (правого по схеме) же конца биполярный транзистор Tr<sub>1</sub>\* работает от очень низкоомного источника - меньше 200 Ом (эквивалентное параллельное соединение 243, 180, 536 Ом и др. резисторов частотнозави-

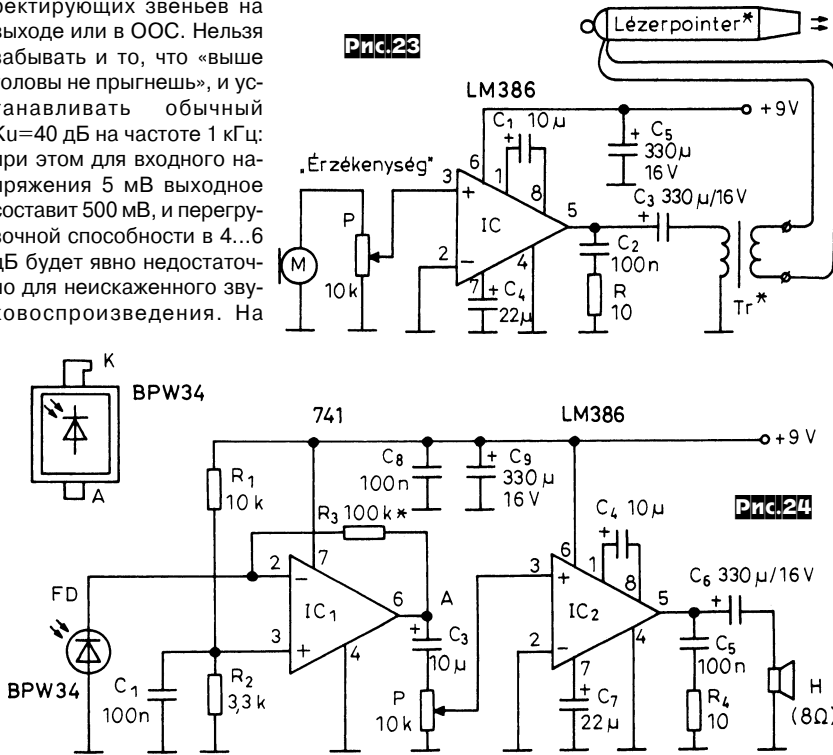
симой ООС), где его шумовое напряжение со спектральной плотностью 0,67 нВ/√Гц гораздо меньше, чем у полевого. В этой схеме входное сопротивление формируется цепочкой резисторов 887, 226, 232 кОм между входом устройства и коллектором левого транзистора (BC558) второго дифкаскада. Выходной эмиттерный повторитель на BC560C питается генератором тока на BC558 и обеспечивает высокую перегрузочную способность - максимальное выходное напряжение достигает 6 В. Переключателем в цепи базы Tr<sub>1</sub>\* можно изменять коэффициент усиления устройства на частоте 1 кГц - 40 или 30 дБ в зависимости от отдачи головки звукоснимателя. Оптимальную емкость нагрузки звукоснимателя можно установить переключателями, коммутирующими магазин конденсаторов на входе винил-корректора. АЧХ схемы рис.20 отличается от идеальной в диапазоне 30

Гц ... 20 кГц не более чем на ±0,1 дБ. Напряжение собственных шумов, приведенное ко входу, составляет 0,44 мкВ (взвешенное по МЭК-А), что соответствует отношению сигнал/шум 81 дБ по отношению к стандартной номинальной чувствительности головки звукоснимателя 5 мВ («Electronics World» №10/2003, с.38-43).

Обращаясь к теме проектирования **винил-корректоров с низковольтным питанием**, например от USB-шины через LDO-стабилизатор, **Бюрхард Фогель** отмечает, что для достижения удовлетворительных результатов простого копирования известных «высоковольтных» решений на низковольтных ОУ недостаточно. Он обращает внимание, что низковольтные ОУ обычно имеют довольно значительное выходное сопротивление; например, MAX4478 при K<sub>u</sub>=3 на высших звуковых частотах имеет R<sub>вых</sub>=30...40 Ом, которые необходимо учитывать как со стороны нагрузки, так и при расчете цепей ОС. Лучшее всего в выходном каскаде вообще избегать при-



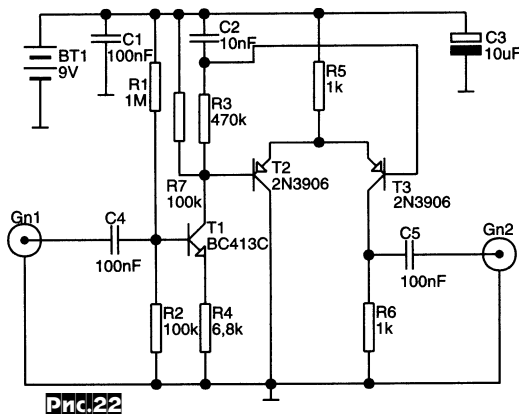
менения каких-либо корректирующих звеньев на выходе или в ООС. Нельзя забывать и то, что «выше головы не прыгнешь», и устанавливать обычный  $K_u=40$  дБ на частоте 1 кГц: при этом для входного напряжения 5 мВ выходное составит 500 мВ, и перегрузочной способности в 4...6 дБ будет явно недостаточно для неискаженного звуковоспроизведения. На



**рис.21** приведена схема **низковольтного винил-корректора**, спроектированного с учетом этих замечаний. Он имеет номинальное выходное напряжение 150 мВ и перегрузочную способность +17,7 дБ, но его собственные шумы даже меньше, чем в типовых недорогих корректорах благодаря применению сравнительно низкоомных резисторов. Цепи RIAA коррекции разнесены: НЧ и СЧ коррекция выполняется посредством частотно-зависимой ООС в первом каскаде на ОУ ОР1 (R3aR3bC3aC3bR4), а ВЧ коррекция (75 мкс) формируется пассивной цепочкой (P1+R6)C5, причем триммер P1 позволяет добиться идеального совпадения реальной и требуемой АЧХ на ВЧ (*От редакции. Рекомендуем применить P1=470 Ом, R6=470 Ом, тогда появится возможность максимально линеаризовать на ВЧ АЧХ не только собствен-*

*но винил-корректора, а всей системы грампластинка-звукозаписывающий-корректор*). Питание устройства - однополярное +3,3 В, но благодаря хорошему внутреннему подавлению пульсаций операционным усилителем и применению сглаживающего фильтра R10C6C7 особых требований к его чистоте не предъявляется (*«Elektronika World» №8/2003, с.55*).

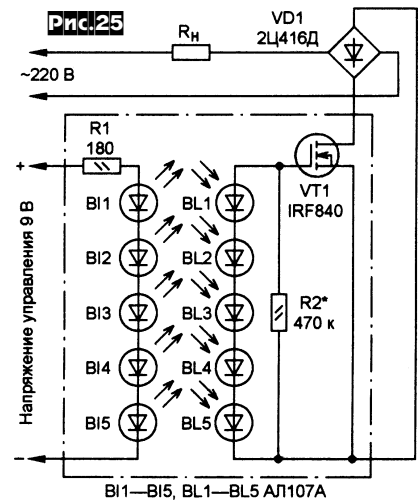
На **рис.22** приведена схема устройства, разработанного **Яреком Яшкульским и реализующего гитарный эффект DiFuzz**. Это соединенные последовательно обычный T1 и дифференциальный T2T3 усилители, причем на один из входов ДУ подается усиленный входной сигнал, а на второй - еще и задержанный по фазе интегрирующей цепочкой R3C2. Настройка схемы не требует, а питается от одной 9-вольтовой «Кроны» (*«Elektronika Praktyczna» №8/2003, с.44 \**).



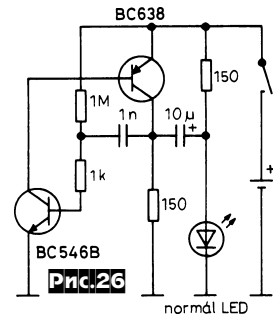
**Палинкаш Тибор** описал телефон на лазерной указке. Передатчик **рис.23** выполнен на ИМС УНЧ LM386 в типовой схеме включения с  $K_u=200$ . Он усиливает сигнал с динамического микрофона M и передает его в трансформатор Tг, в качестве которого использован малогабаритный выходной от транзисторного приемника, подходящий коэффициент трансформации 3:1...4:1. Его вторичную обмотку подпаивают в разрыв кнопки включения лазерной указки. В приемнике

**рис.24** сигнал с фотодиода FD усиливается ОУ IC1, через регулятор громкости P подается на УМЗЧ IC2 и выводится на 8-омный динамик Н. Для увеличения дальности связи рекомендуется FD установить в фокусе линзы диаметром 2...5 см (*«Radiotechnika» №10/2003, с.496-498*).

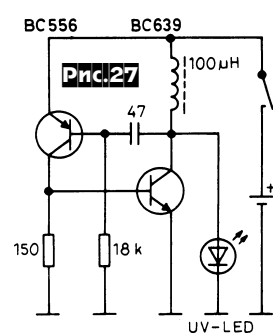
**И.Нечаев** разработал аналог мощного оптоэлектронного реле на дискретных элементах (**рис.25**). Управляю-



щее (отпирающее) напряжение 4,5...10 В между затвором и истоком VT1 формируют светодиоды BL1-BL5, работающие в обратном режиме как фотодиоды. Излучающие светодиоды BL1-BL5 расположены напротив BL1-BL5 на расстоянии 0,5...1 мм и управляются напряжением 9 В через токоограничивающий резистор R1. В открытом состоянии VT1 имеет сопротивление менее 1 Ома и способен управлять токами до десятков ампер. Конструктивно все элементы размещены на печатной



плате, закрытой в светонепроницаемую коробку («Радио» № 8 / 2 0 0 3 , с.30).



**Мадараш Ласло** для питания от одного 1,5-вольтового элемента обычного светодиода применя-