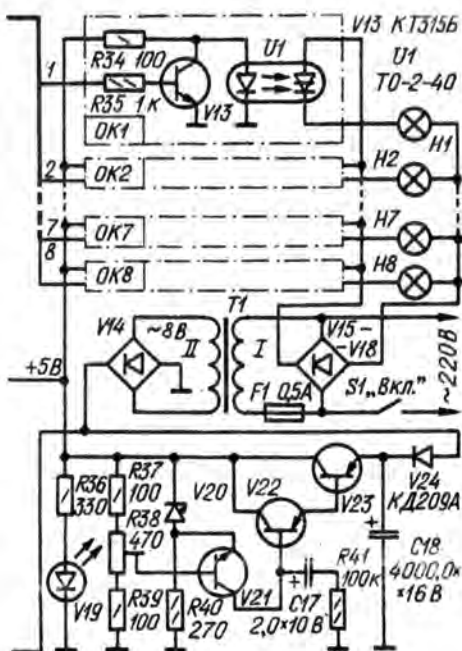


ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ТРАКТЕ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ



мерно по кольцу. Поверх обмотки I наматывают изоляцию из двух слоев такой же ленты. Далее в два провода наматывают обмотки II и III. Снаружи трансформатор покрывают еще одним слоем изоляционной ленты.

Налаживание устройства начинают с проверки стабилизатора источника питания. Подстроечным резистором R38 устанавливают выходное напряжение 5 В. На вход СДУ подают от звукового генератора сигнал напряжением 0,1 В. Изменяя частоту генератора в границах канала НЧ, подстроечным резистором R11 настраивают фильтр таким образом, чтобы на выходе 23 микросхемы D3 оставалось напряжение логической 1. Аналогично настраивают фильтры остальных каналов. Затем подключают экранное устройство и резистором R20 устанавливают начальный уровень свечения ламп канала «Пауза» при отсутствии сигнала на входе СДУ.

Для проверки работы узла управления яркостью свечения ламп необходимо подать на вход СДУ сигнал с генератора звуковой частоты напряжением 0,3 В частотой 200 Гц. В экранном устройстве зажгутся лампы канала НЧ. Резистором R15 устанавливают максимальную яркость свечения. Плавное уменьшение напряжения сигнала на выходе генератора, убеждают в плавности уменьшения свечения ламп.

В. КОВАЛЕВ, А. ФЕДОСЕЕВ

г. Москва

Если при налаживании описанных ниже электронных устройств вместо привычной синусоиды вы увидите на экране осциллографа сигналы весьма причудливой формы, не беспокойтесь: осциллограф в полном порядке, просто устройства эти работают с использованием системы дискретно-аналоговой обработки сигнала.

Дискретно-аналоговые устройства (ДАУ) занимают промежуточное положение между ставшими уже привычными аналоговыми и появившимися в последнее время устройствами с цифровой обработкой электрических сигналов. От первых они унаследовали схемотехническую простоту и быстрдействие, а от вторых — стабильность, точность и простоту электронной регулировки технических характеристик. Возможность электронной регулировки технических характеристик ДАУ позволяет наладить на их основе массовый выпуск универсальных интегральных микросхем, способных работать в принципиально новых радиоэлектронных устройствах. Особенно привлекательны ДАУ для разработчиков микроэлектронных изделий, поскольку на едином кристалле полупроводника позволяют реализовать элементы радиотехнической аппаратуры, ранее с трудом поддававшиеся микроминиатюризации, такие как фильтры и линии задержки аналоговых сигналов.

В общем случае ДАУ состоит из трех основных узлов (рис. 1): дискретизатора SI, узла обработки AI и фильтра ZI. Дискретизатор представляет собой электронный ключ, в функции которого входит формирование периодической последовательности импульсов (рис. 1,б) из поступающего на вход ДАУ сигнала (рис. 1,а). Процесс периодической выборки фрагментов входного сигнала называется дискретизацией, а частота следования импульсов — частотой дискретизации f_d . Амплитуда импульсов соответствует амплитуде входного сигнала в момент дискретизации.

Узел обработки AI преобразует выбранные фрагменты входного сигнала по определенному алгоритму, например,

складывает их с несколькими предыдущими фрагментами, что используется, например, в гребенчатых фильтрах музыкальных синтезаторов.

Спектр дискретизирующего сигнала занимает существенно более широкий диапазон частот (рис. 1,б), чем спектр исходного сигнала. Для восстановления непрерывного аналогового сигнала на выходе ДАУ (рис. 1,в) служит фильтр нижних частот (ФНЧ) ZI, который пропускает лишь низкочастотные компоненты спектра дискретизирующего сигнала.

В соответствии с теоремой Котельникова-Шеннона [1—3] для однозначного восстановления сигнала по выбранным фрагментам необходимо, чтобы частота дискретизации f_d не менее чем вдвое превосходила высшую частоту спектра исходного сигнала F_v , т. е. для диапазона звуковых частот была не менее 40 кГц. В таком случае для восстановления сигнала потребовался бы идеальный ФНЧ с прямоугольной формой АЧХ и частотой среза, равной F_v . К сожалению, на практике выполнить это условие довольно трудно, и для упрощения процесса восстановления сигнала с помощью реальных ФНЧ частоту f_d выбирают обычно в 5...100 раз выше высшей частоты спектра исходного сигнала F_v [2, 3].

В этой статье мы будем рассматривать только простейшие ДАУ, в которых отсутствует специальный узел обработки, а все необходимые изменения сигнала происходят в дискретизаторе. Такие ДАУ могут быть разделены на две группы.

В первой из них (рис. 2, а) из входного сигнала электронный ключ SI формирует импульсы с постоянной частотой дискретизации f_d . Регулировка параметров ДАУ возможна за счет изменения длительности импульсов τ . Математический анализ сигнала на выходе ключа (рис. 1, б) показывает, что амплитуда его спектральной составляющей на частоте F равна

$$U_F(t) = \tau f_d U_{F_{\text{вх}}}(t), \quad (1)$$

а амплитуды высокочастотных составляющих на частотах, кратных f_d , приблизительно равны

$$U_{Nf_d} = \tau f_d [\sin(\pi N \tau f_d) / \pi N \tau f_d] U_{F_{\text{вх}}}. \quad (2)$$

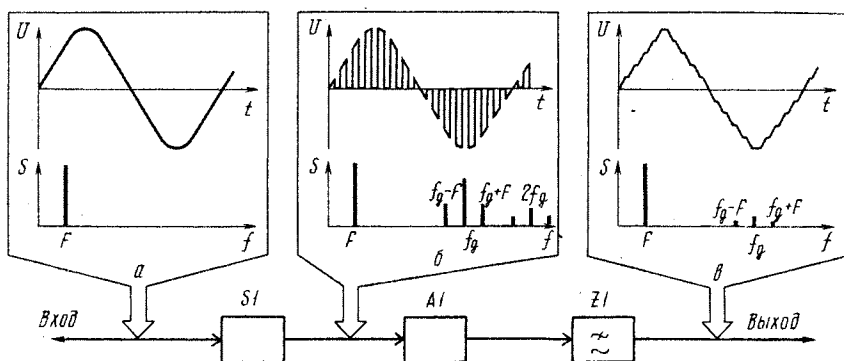


Рис. 1

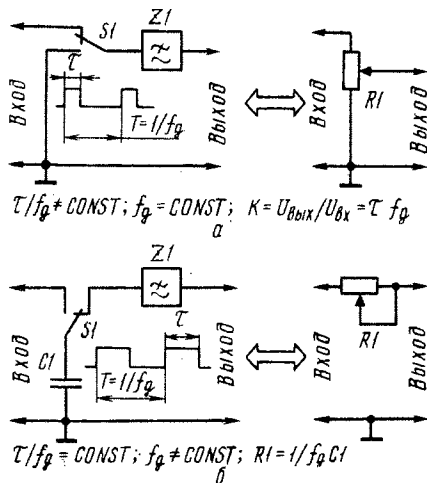


Рис. 2

Как видно из (2), эти составляющие могут достигать значительной величины, а потому стать причиной повреждения высокочастотных громкоговорителей или биений с частотой генератора подмагничивания магнитофона. Для их подавления служит ФНЧ Z1 с частотой среза, равной высшей частоте звукового диапазона (20...25 кГц).

Из (1) следует, что рассмотренное устройство эквивалентно управляемому аттенуатору, коэффициент передачи которого $K = t_{\text{д}}$ изменяется при широтно-импульсной модуляции импульсов дискретизации (ШИМ-ДАУ).

Вторую группу ДАУ составляют устройства, формирующие импульсы с постоянной длительностью и изменяющейся частотой дискретизации (рис. 2, б). Предположим, что напряжение на входе ключа SI равно U_1 , а на выходе — U_2 , длительность же импульсов дискретизации такова, что конденсатор C1 успевает зарядиться до напряжения U_1 за время, в течение которого ключ SI подключает его ко входу ДАУ, и разрядиться до напряжения U_2 при об-

ратном переключении. На практике это условие обычно нетрудно выполнить, если емкость конденсатора C1 невелика, а источник входного сигнала имеет низкое внутреннее сопротивление. Тогда за каждое переключение конденсатор C1 будет переносить со входа на выход ДАУ заряд

$$q = C_1 U_1 - C_1 U_2 = C_1 (U_1 - U_2). \quad (3)$$

Поскольку число переключений за 1 с равно f_d , средний ток, текущий между входом и выходом устройства, составит

$$i = q f_d = f_d C_1 (U_1 - U_2). \quad (4)$$

Иначе говоря, ДАУ по схеме на рис. 2, б эквивалентно резистору, сопротивление которого равно

$$R = 1/f_d C_1. \quad (4a)$$

Такую модель можно использовать при необходимости управления сопротивлением цепи посредством изменения частоты модуляции (ЧМ-ДАУ).

Конечно, управляемые аттенуаторы и резисторы, необходимые для компрессоров динамического диапазона, ограничителей уровня сигнала (лимитеров), фазовращателей, фильтров и других элементов тракта звуковой частоты с электронной перестройкой, можно создать и на основе других схемных решений, используя, например, управляемую проводимость канала полевого транзистора. Однако, ДАУ позволяют получить значительно меньший коэффициент гармоник при амплитуде сигнала до нескольких вольт, причем он определяется в основном техническими характеристиками ФНЧ. Собственно регулирующий элемент (ключ) ДАУ работает в «линейном» режиме как в открытом (нелинейность ключа мала), так и в закрытом (ключ имеет бесконечное сопротивление) состоянии. При изменении входного напряжения в пределах напряжения питания аналоговых ключей интегральных микросхем серий K176 и K561 их сопротивление (в открытом состоянии ключей оно составляет 200 Ом) может изменяться на 5...10%. Если учесть, что в описываемых ниже устройствах входное сопротивление ФНЧ равно приблизительно 20 кОм,

максимальная погрешность коэффициента передачи ключа (т. е. коэффициента гармоник) не превышает 0,1%. Поскольку в ДАУ снижать уровень сигнала до 10...20 мВ перед регулирующим звеном (необходимое условие при использовании полевого транзистора), а затем повышать его до прежнего значения не требуется, они позволяют сохранить обеспечиваемое входными каскадами радиоаппаратуры отношение сигнал/шум (60...80 дБ). Заметим, что такие ДАУ бессмысленно применять при уровне низкочастотного сигнала менее 10...20 мВ.

Другим достоинством рассматриваемых устройств является воспроизводимость и идентичность характеристик регулирования, которые определяются только параметрами генератора импульсов дискретизации. Это особенно существенно для многоканальных систем, где требуется строгая согласованность и синхронность регулировок. Кроме того, в ДАУ относительно просто реализуется цифровое управление параметрами, что еще более расширяет круг их возможного применения.

На основе рассмотренных принципов легко создать ряд полезных устройств. На рис. 3, а показана функциональная схема микшерского пульта [4], позволяющего плавно перейти от одной музыкальной программы (рис. 3, б) к другой (рис. 3, в). В традиционном микшерском пульте функции микширования осуществляет суммирующий усилитель с регулируемой для сигналов А и Б коэффициентами передачи. Здесь же суммирование аналоговых сигналов заменено их поочередной выборкой с частотой f_d и последующим усреднением результата в ФНЧ Z1. Так как на вход ФНЧ Z1 поступает сложный сигнал U_c (рис. 3, г), в интервалах времени t_A совпадающий с сигналом U_A а в интервалах времени t_B — с сигналом U_B , то, как следует из (1), среднее значение низкочастотного сигнала на выходе ФНЧ будет равно

$$U_c = K_{Z1} [t_A U_A + t_B U_B], \quad (5)$$

где K_{Z1} коэффициент передачи ФНЧ Z1.

Микшерский пульт (рис. 3, д) состоит из двух последовательно-параллельных аналоговых ключей (DD1.1, DD1.2 и DD1.3, DD1.4), активного ФНЧ на транзисторах VT1, VT2 с частотой среза 20 кГц и крутизной спада АЧХ 12 дБ на октаву и устройства управления ключами на микросхемах DD2, DD3. Выбор последовательно-параллельной схемы построения ключей обусловлен желанием получить возможно более низкий уровень взаимного проникания сигналов каналов А и Б [5]. Каждый ключ состоит из двух элементов микросхем DD1, причем когда последовательный коммутатор DD1.1 (DD1.3) открыт, соответствующий ему параллельный ком-

мутатор DD1.2 (DD1.4) закрыт, и наоборот. Открываются ключи каналов в противофазе, что обеспечивается инвертором DD2.3.

Управляет ключами формирователь импульсов регулируемой длительности, состоящий из генератора напряжения треугольной формы (DD3.1, DD3.2, DD3.3), и широтно-импульсного модулятора D2.1. Частота генератора около 150 кГц, амплитуда напряжения в контрольной точке К около 7 В. Через конденсатор С9 это напряжение поступает на входы элемента DD2.1 и суммируется здесь с постоянным напряжением управления, поступающим с движка переменного резистора R16. Логический элемент DD2.1 выполняет функции компаратора напряжения, формирующего импульсы дискретизации, длительность которых пропорциональна положению движка резистора R16. Буферный элемент DD2.2 служит для развязки компаратора от остальных узлов устройства. Заметим, что импульс дискретизации длительностью τ_B является просто инверсией импульса τ_A , поэтому $\tau_A + \tau_B = 1/f_d$, и сумма коэффициентов передачи для входов А и Б всегда постоянна, т. е. при уменьшении усиления по входу А усиление по входу Б согласованно возрастает.

В рассмотренном устройстве коэффициент передачи для каждого канала изменяется от 0 до 0,5, однако, если внутреннее сопротивление источников сигналов не превышает 1...2 кОм, элементы DD1.2 и DD1.4 можно исключить, и тогда коэффициент передачи будет изменяться от 0 до 1. Для реализации стереофонического варианта микшера необходимо добавить лишь второй ключевой канал и ФНЧ, не изменяя узел управления ключами. Применение такого устройства особенно целесообразно в тех случаях, когда требуется получить идентичные регулировочные характеристики в нескольких каналах. Подобным образом можно, например, реализовать электронный регулятор стереобаланса и ширины стереобазы.

Схема ограничителя уровня звукового сигнала приведена на рис. 4. Его можно использовать в усилителе мощности НЧ для защиты выходного каскада от перегрузки, в магнитофоне для предотвращения перемодуляции магнитной ленты при записи и в других устройствах. Ограничитель состоит из аналогичного описанному выше ключевого аттенуатора на элементах DD1.1, DD1.2, активного ФНЧ на ОУ DA1, быстродействующего ликового детектора (DA2, VD3, VD4) и генератора импульсов дискретизации на микросхемах DD2, DD3. В отличие от микшера управление длительностью импульсов дискретизации здесь обеспечивает каскад

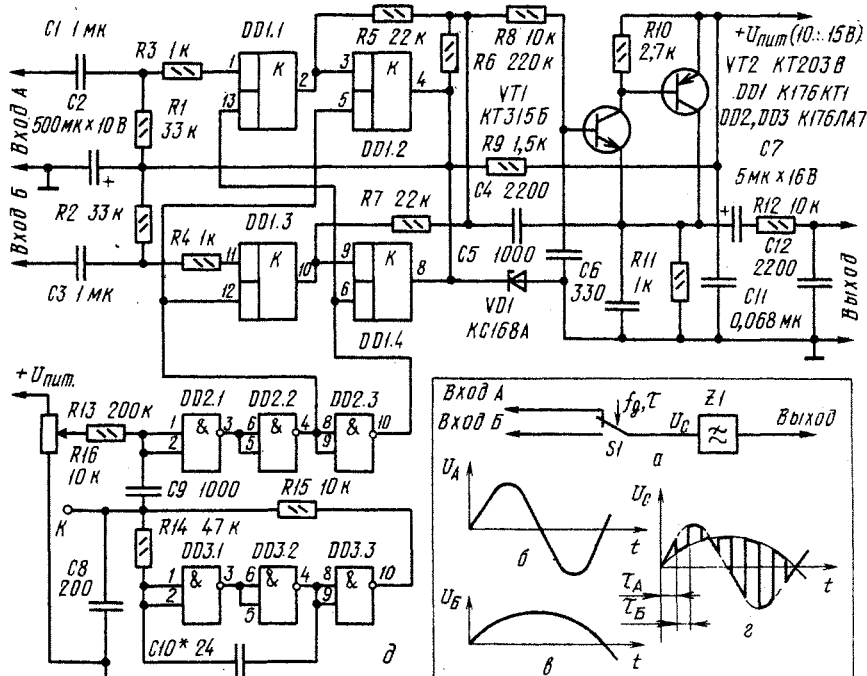


Рис. 3

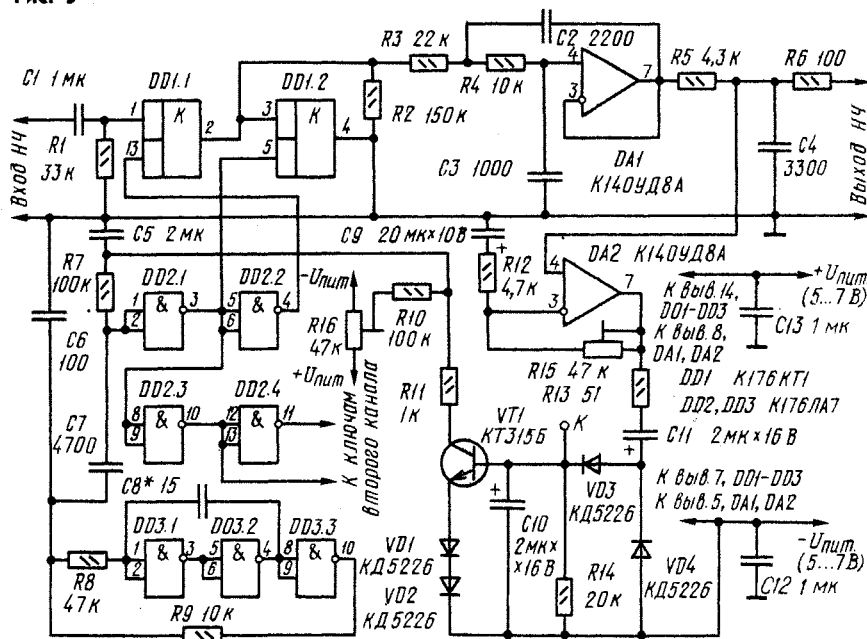


Рис. 4

на транзисторе VT1. При допустимом уровне входного сигнала (вплоть до номинального) напряжение в точке К не превышает 1,5 В, поэтому транзистор VT1 закрыт. (Напряжение на входе компаратора DD2.1 устанавливают под-

строечным резистором R16 таким, чтобы ключ DD1.1 был постоянно открыт). В этом случае входной сигнал беспрепятственно проходит на выход устройства. Но как только он превысит номинальный уровень, напряжение в

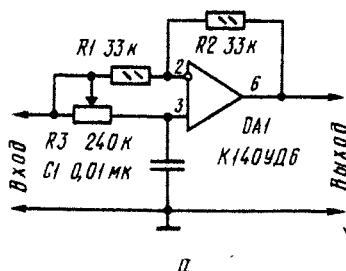
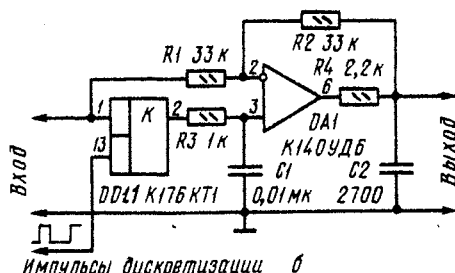


Рис. 5

точке К повысится, и транзистор VT1 откроется. В результате компаратор DD2.1 начнет формировать импульсы, периодически закрывающие входной ключ, что приведет к уменьшению коэффициента передачи устройства. Чем в большей степени будет превышен номинальный уровень сигнала, тем большую часть периода сигнала дискретизации будет закрыт входной ключ, и тем меньше будет коэффициент передачи, а следовательно, увеличение уровня выходного сигнала будет скомпенсировано.

Ограничители уровня сигнала принято характеризовать двумя динамическими параметрами: временем срабатывания, т. е. временем с момента возникновения перегрузки до ее ликвидации, и временем восстановления начального усиления после снятия перегрузки. В рассматриваемом устройстве постоянная времени срабатывания определяется сопротивлением резистора R11, а восстановления — резистора R10. При указанных на схеме номиналах эти постоянные времени равны соответственно 2 и 200 мс. Номинальный уровень срабатывания ограничителя (775 мВ) устанавливается резистором R15. Максимальное превышение выходным уровнем его номинального значения составляет 0,5...1 дБ при перегрузке по входу 10 дБ. Максимальный уровень входного напряжения ограничивается напряжением питания ключей и при $U_{пит} = \pm 7$ В приблизительно равен 4 В. Частота дискретизации — около 250 кГц.

При использовании в стереофоническом тракте аналоговых ограничителей уровня сигнала в момент перегрузки одного из каналов часто возникает нежелательное смещение центра стереопанорамы. В описываемом ограничителе этот недостаток нетрудно устранить, если для управления ключами всех каналов использовать общий генератор импульсов дискретизации, а точки К выпрямителей всех каналов соединить вместе. Тогда при возникновении перегрузки в любом канале усиление всех каналов будет согласованно уменьшаться, и смещения стереопанорамы не произойдет. В этом случае элементы R14,



C10 следует оставить только в одном канале.

На рис. 5 приведена принципиальная схема фазовращателя [6, 7] и его ШИМ-ДАУ аналога. Здесь ключ DD1.1 (рис. 5, б) заменяет переменный резистор R3 (рис. 5, а), что позволяет ввести электронное управление вносимым данным узлом сдвигом фаз. В диапазоне звуковых частот коэффициент передачи фазовращателя равен 1 и не зависит от частоты, фазовый сдвиг (в пределах 10...180°) изменяют регулировкой длительности импульсов дискретизации:

$$\varphi = -2 \arctg(2\pi F C1 R3 \tau / f_d), \quad (6)$$

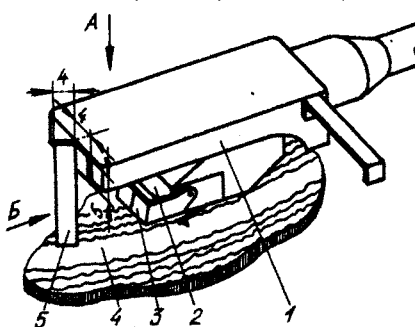
где F — частота входного сигнала, а τ — длительность импульсов дискретизации.

ОБМЕН ОПЫТОМ

УКАЗАТЕЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ ИГЛЫ ЗВУКОСНИМАТЕЛЯ НА ПЛАСТИНКЕ

Все, кто пользуется проигрывателями, знает, как трудно при выборочном воспроизведении записанных на грампластинку произведений установить иглу точно в зону соединительной канавки. Чаше всего игла попадает в модулированную канавку и повреждает ее. В результате при последующих проигрываниях пластинки в этом месте фонограммы слышен отчетливый шелчок.

Облегчить установку иглы в зону немой



Цепочка таких фазовращателей может оказаться весьма полезной при построении устройств, расширяющих стереобазу, а также «фейзеров» и «флэнджеров», используемых в электронных музыкальных инструментах. При последовательном включении нескольких фазовращателей сглаживающий фильтр R4C2 необходимо оставить только в последнем каскаде. Для управления ключом можно применить любой широкоимпульсный модулятор, работающий на частоте не менее 50 кГц.

(Окончание следует)

Д. ЛУКЬЯНОВ

ЛИТЕРАТУРА

1. Котельников В. А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи. — М.: МГУ, 1963.
2. Цыкин И. А. Дискретно-аналоговая обработка сигналов. — М.: Радио и связь, 1982.
3. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. — М.: Мир, 1983, т. 1, гл. 7.
4. Digital Audio Mixer. Elektor (GB), 1978, vol 4, № 7/8, p. 58.
5. Гнатек Ю. Р. Справочник по цифро-аналоговым и аналоговым преобразователям. — М.: Радио и связь, 1982, с. 161.
6. Гарет П. Аналоговые устройства для микропроцессоров и микро-ЭВМ. — М.: Мир, 1981.
7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. — М.: Мир, 1983, гл. 13.

соединительной канавки может указатель 5 (см. рисунок), согнутый из Г-образной металлической заготовки и закрепленный на держателе 1 головки звукоснимателя 2 с таким расчетом, чтобы его отогнутая часть находилась в плоскости, касательной к поверхности воображаемого цилиндра, образующая которого проходит через острие иглы. Указатель вырезает из ровной алюминиевой фольги толщиной 0,05...0,1 мм и приклеивают к держателю головки клеем БФ-2. Высоту указателя подбирают по месту: при опущенном на грампластинку звукоснимателе расстояние между ней и нижним торцом указателя должно быть около 1 мм.

При выборочном воспроизведении звукосниматель с таким указателем подводят к нужному месту фонограммы и, установив его так, чтобы проекция указателя (смотреть надо в направлении стрелки А) совместилась с серединой зоны соединительной канавки 4, включают микрорифт.

Функции указателя положения иглы (правда, с меньшим успехом) может выполнить и тонкая хорошо заметная риска, нанесенная на поворотный защитный козырек 3, которым снабжаются головки ГЗМ-003, ГЗМ-103, ГЗМ-008 и некоторые другие. Направление взгляда при установке звукоснимателя с таким указателем на выбранное место грампластинки показано на рисунке стрелкой Б.

А. КОЗЯВИН

г. Воронеж

ДИСКРЕТНО-АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ТРАКТЕ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

На базе управляемых дискретно-аналоговых аттенуаторов можно создать универсальный биквадратный фильтр с электронным управлением частотой настройки (рис. 6), который может найти применение в низкочастотных анализаторах спектра и электронных музыкальных синтезаторах. Фильтр состоит из двух интеграторов с управляемой постоянной времени, выполненных на микросхемах DD1, DA2, DA3 и охваченных обратной связью через основной суммирующий усилитель DA1, и генератора импульсов дискретизации на элементах DD2.2, DD2.3 и DD2.4. Работа такого фильтра подробно рассмотрена в [7, 8]. Он представляет собой электрическую модель уравнения, описывающего колебательную систему с одной степенью свободы. В общем случае частота настройки фильтра f_n , длительность τ и частота f_d импульсов дискретизации связаны простой зависимостью $f_n = \tau / 2\pi f_d \sqrt{C1C2} \sqrt{R4R7}$. При указанных на схеме емкостях конденсаторов C1 и C2 фильтр перестраивается в диапазоне частот от 100 Гц до 20 кГц при изменении $U_{уп}$ в пределах $+4 \dots -4$ В. На выходе «ФВЧ» его АЧХ соответствует АЧХ фильтра верхних частот, на выходе «ПФ» — АЧХ узкополосного резонансного контура, а на выходе «ФНЧ» — АЧХ фильтра нижних частот. В первом случае фаза выходного сигнала фильтра совпадает с фазой входного, во втором сдвинута относительно него на 90° , а в третьем — на 180° . Кроме того, каскад на ОУ DA4 позволил получить на выходе «РФ» АЧХ, соответствующую АЧХ узкополосного заграждающего (режекторного) фильтра. Добротность фильтра можно регулировать переменным резистором R14 от нулевого значения (движок справа), когда фильтр ведет себя как апериодическое устройство, до бесконечности (движок слева), когда он самовозбуждается на частоте настройки. Установленное значение добротности сохраняется при перестройке фильтра по частоте. Зависимость частоты настройки фильтра от управляющего напряжения практически линейна (нелинейность не превышает 5...10%) во всем

диапазоне перестройки и определяется схемой генератора импульсов дискретизации.

В описанных выше ДАУ для управления параметрами использовалось изменение длительности импульсов дискретизации при неизменной частоте их следования. Как видно из рис. 1, частота сигнала F и высокочастотные компоненты спектра, возникающие в процессе дискретизации, в этом случае достаточно далеко разнесены по частоте, и для их подавления можно воспользоваться простым неперестраиваемым ФНЧ. Это удобно, если требуется сохранить весь спектр обрабатываемого сигнала, независимо от значений перестраиваемых параметров, как, например, в аттенуаторах звукового сигнала.

Однако иногда в ДАУ ширина спектра исходного сигнала уменьшается (например, в дискретно-аналоговых фильтрах), и в этом случае частоту дискретизации можно выбирать из условия правильного восстановления более узкополосного сигнала. К примеру, частота дискретизации в управляемом ФНЧ и его частота среза могут быть теперь связаны зависимостью $f_d = 10 \dots 100 f_{среза}$. В таких случаях удобнее применять ДАУ с переключаемыми конденсаторами (рис. 2, б), в которых управление техническими характеристиками осуществляется за счет изменения частоты дискретизации f_d [9, 10, 11].

На рис. 7 и 8 приведены практические схемы работающих на таком принципе устройств. Для сравнения там же изображены их аналоговые прототипы.

Управляемый интегратор, в котором переменный резистор R1 (рис. 7, а) заменен ключами DD1.1 и DD1.2, открывающимися в противофазе, и конденсатором C2 (рис. 7, б), может выполнять функции ФНЧ первого порядка с постоянной крутизной спада АЧХ, равной 6 дБ на октаву. Постоянная, времени интегратора, как следует из (4а), связана с частотой дискретизации соотношением

$$\tau_{инт} = C1/C2 f_d. \quad (8)$$

Из двух управляемых интеграторов можно составить универсальный фильтр, подобный показанному на рис. 6, частота настройки которого прямо пропорциональна частоте дискретизации

$$f_n = C2 f_d / 2\pi C1. \quad (9)$$

Рис. 8 иллюстрирует возможность

применения ДАУ-модели переменного резистора в активном ФНЧ. Ключи DD1.1, DD1.2 и DD1.3, DD1.4 совместно с конденсаторами C3 и C4 (рис. 8, б) заменяют переменные резисторы в устройстве, схема которого показана на рис. 8, а. Логические элементы DD2.1 и DD2.2 служат соответственно буфером и инвертором для импульсов дискретизации. Частота среза такого фильтра прямо пропорциональна частоте дискретизации и для приведенных на схеме номиналов элементов равна $0,05 f_d$, остальные параметры этого устройства определяются так же, как и у аналогового прототипа (рис. 8, а).

Так как частоту дискретизации гораздо проще точно перестраивать в широких пределах, чем длительность импульса, то ЧМ-ДАУ обычно имеют более широкий диапазон перестройки параметров, чем ШИМ-ДАУ. Например, воспользовавшись приведенной на рис. 8, б схемой, несложно создать фильтр с диапазоном перестройки частоты среза 1 Гц...20 кГц, если в качестве ОУ DA1 применить ОУ с входным сопротивлением 10...100 МОм, такие, как K140УД8, K554УД1 или K574УД1. Для управления ключами подойдет любой генератор прямоугольных импульсов, уровни выходных напряжений которого совместимы с КМОП ИМС.

Интересно, что в устройстве по схеме на рис. 8, б отсутствуют резисторы. Эта особенность существенна для разработчиков ИМС, так как изготовление термостабильных резисторов, особенно разнообразных и больших номиналов, при современном уровне развития полупроводниковой технологии представляет значительные трудности [9]. Изготовить интегральные конденсаторы намного проще, и, кроме того, даже если их емкость и будет зависеть от температуры, при одинаковом ТКЕ параметры фильтра останутся температурно-независимыми.

Такой фильтр может быть с успехом применен там, где необходима высокая линейность АЧХ перестраиваемого ФНЧ при уровнях звукового сигнала до 1...2 В, в частности, в шумоподавители (рис. 9), работающем по принципу динамического фильтра «Маяк» [12]. Входной сигнал проходит в нем через дискретно аналоговый ФНЧ, выполненный на элементах DD1.1—DD1.4, и повторитель напряжения на транзисторах VT3, VT4. Частота среза этого фильтра может перестраиваться изменением частоты дискретизации в пределах 1...20 кГц, причем узел управления частотой среза построен так, что при появлении звукового сигнала с уровнем высокочастотных составляющих выше —36 дБ относительно номинального ширина полосы пропускания фильтра начинает автоматически

Окончание. Начало см. Радио, 1984, № 1, с. 37—40.

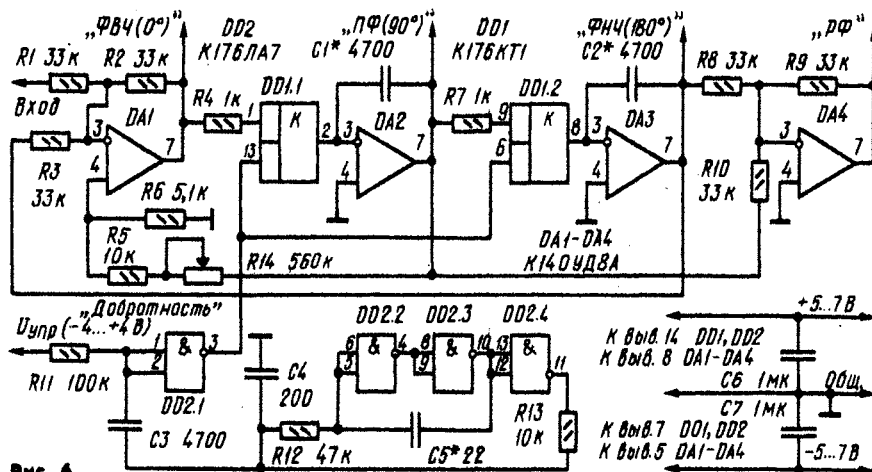


Рис. 6

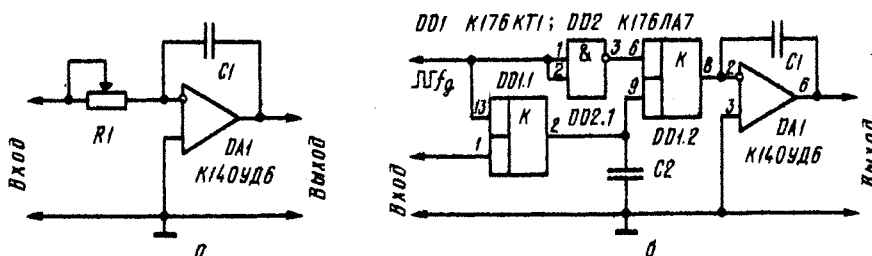


Рис. 7

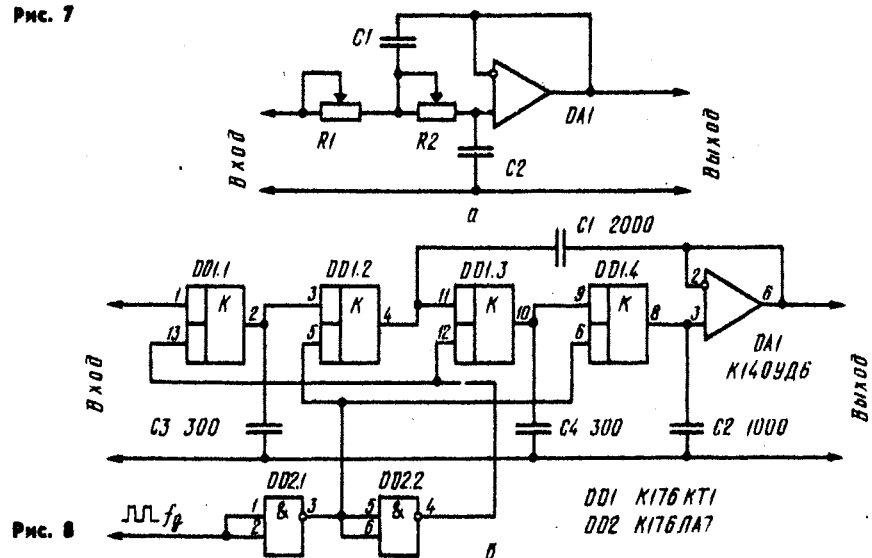


Рис. 8

расширяться до тех пор, пока ДАУ-фильтр не будет пропускать на выход шумоподавителя всю полосу полезного сигнала. Для этой цели в узле управления имеется фильтр дополнительной функции (ФДФ), выполненный на ОУ DA1, в котором выходной сигнал шумоподавителя вычитается из входного. Если

полоса пропускания ФДФ соответствует основной полосе частот входного сигнала, напряжения ЗЧ на входе и выходе шумоподавителя совпадают, а следовательно, постоянное напряжение на выходе детектора на диодах VD1—VD3 мало. Наоборот, если полоса пропускания шумоподавителя уже диапазона

звукового сигнала, ФДФ обнаружит разницу между входным и выходным сигналами, и напряжение на выходе детектора возрастет, что будет означать необходимость расширения полосы пропускания. К выходу детектора подключен преобразователь напряжения, выполненный на транзисторе VT2. При увеличении напряжения на выходе детектора возрастет напряжение на базе транзистора VT2, а стало быть, увеличится его коллекторный ток. Увеличение тока коллектора транзистора VT2 приведет к увеличению частоты мультивибратора на элементах DD2.1—DD2.3, выполняющего функции генератора частоты дискретизации. С ростом же частоты дискретизации полоса пропускания перестраиваемого фильтра будет расширяться до тех пор, пока уровень спектральных составляющих входного сигнала, не попадающих в его полосу пропускания, не станет ниже —36...—30 дБ относительно номинального уровня, выбранного равным 0,775 В. Для получения импульсов дискретизации со скважностью 2 импульсы мультивибратора поступают на вход счетного триггера DD3.1, а с его выходов — на управляющие входы аналоговых ключей микросхемы DD1.

Правильную работу шумоподавителя обеспечивают три регулировочных резистора. Резистором R7 балансируют ФДФ. Для проведения этой операции следует соединить коллектор с эмиттером транзистора VT2, обеспечив тем самым максимальную ширину полосы пропускания шумоподавителя, подать на его вход звуковой сигнал частотой около 400 Гц напряжением 0,1 В и подстроечным резистором R7 добиться минимального переменного напряжения на выходе ОУ DA1. Резистором R14 ограничивают нижнее значение частоты среза ДАУ-фильтра на уровне 1...1,5 кГц. (При его отсутствии в тихих местах воспроизводимой фонограммы полоса пропускания шумоподавителя могла бы сужаться до 50 Гц, что, конечно же, недопустимо.) Резистором R13 регулируют глубину обратной связи по частоте среза, т. е. степень влияния высокочастотных составляющих входного сигнала на частоту среза фильтра. Его движок устанавливают в положение, соответствующее наиболее приятному, с точки зрения слушателя, действию шумоподавителя. После этих регулировок диапазон изменения частоты дискретизации при работе шумоподавителя должен составлять 50...800 кГц.

Отметим, что дискретно-аналоговые фильтры отличаются от своих аналоговых прототипов наличием дополнительных «окон прозрачности» вблизи частот, кратных частоте дискретизации [9, 11]. Для их устранения частоту дискретизации нужно выбирать так,

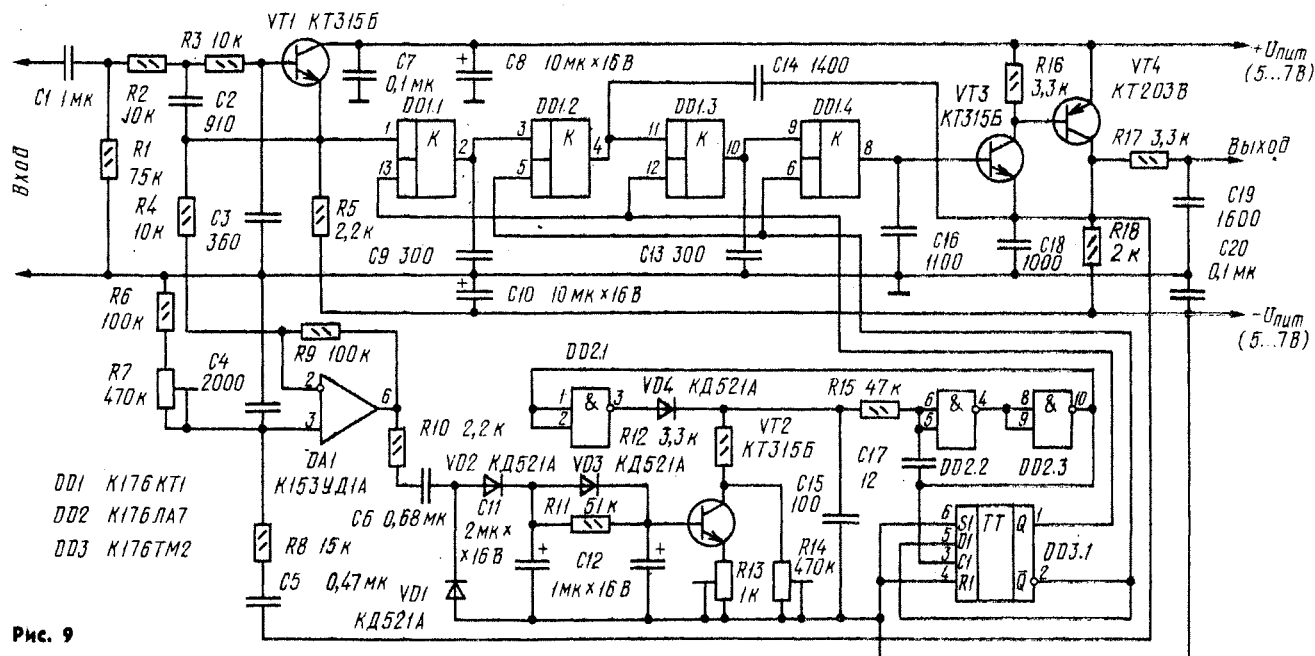


Рис. 9

чтобы простейший входной ФНЧ с частотой среза, равной $1...2F_{\text{в}}$, эффективно подавлял сигналы на этих частотах. С этой целью на входе шумоподавителя установлен ФНЧ чебышевского типа на транзисторе VT1 с частотой среза 20 кГц (минимальное значение $f_{\text{д}} = 50$ кГц). Необходимость в нем отпадает, если заранее известно, что в спектре входного сигнала не будет составляющих с частотами выше $F_{\text{в}}$.

При желании динамический фильтр можно дополнить индикатором частоты среза в виде линейной шкалы, воспользовавшись, например, счетчиком с дешифратором двоичного кода в позиционный (например, K176ИЕ8 или K155ИЕ2 + K155ИД1). Через соответствующий согласователь уровня (если используются не КМОП-микросхемы) на тактовый вход счетчика подаются импульсы с одного из плеч триггера DD3.1, а на вход установки нуля — импульсы с частотой, равной минимальной частоте дискретизации. К выходу дешифратора подключают линейку световых диодов или другой подходящий индикатор, например вакуумный люминесцентный монодисплей.

В цепях ДАУ действуют значительные импульсные напряжения, поэтому при их конструировании нужно учитывать ряд особенностей. Необходимо, например, обеспечить хорошую развязку цепей питания ДАУ по высокой частоте, используя для этого керамические конденсаторы емкостью 0,05...0,1 мкФ, а иногда и экранировать все устройство.

Если требуются несколько каналов с независимыми регулировками, то более предпочтительны ШИМ-ДАУ, работающие с единой частотой дискретизации. Генератор напряжения треугольной формы в этом случае работает на несколько независимых компараторов. При применении ЧМ-ДАУ с независимым управлением параметрами в нескольких каналах необходимо позаботиться, чтобы комбинационные частоты генераторов частот дискретизации не попадали в звуковой диапазон, поскольку даже при нелинейности тракта менее 0,1% и амплитуде импульсов дискретизации 10 В эффективное значение комбинационных составляющих может достигать 1...5 мВ, что недопустимо в высококачественной аппаратуре. Каналы ДАУ с изменяемой частотой дискретизации необходимо экранировать друг от друга, а в генераторах импульсов нескольких независимых каналов нельзя использовать логические элементы одной микросхемы. На печатных платах таких устройств площадь общего проводника должна быть максимально возможной.

Стабильность и точность регулирования параметров рассматриваемых ДАУ ограничивается параметрами генераторов импульсов дискретизации и в полной мере проявляется при использовании цифрового управления или при использовании для управления микропроцессора. Заметим, что быстроедействие массовых микропроцессоров широкого применения, в частности, серии

КР580, не позволяет реализовать сколько-нибудь серьезную цифровую обработку реальной звуковой программы по традиционной схеме, когда обрабатываемый сигнал сначала преобразуется в дискретные кодовые отсчеты с помощью быстрогодействующего аналого-цифрового преобразователя (АЦП), обрабатывается в цифровом виде процессором и вновь приводится к аналоговому виду в цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП). Например, для реализации цифрового фильтра потребуются быстроедействие процессора около 10 млн. операций в секунду. Альтернативным вариантом обработки в реальном масштабе времени может стать использование процессора лишь для управления параметрами ДАУ (полосой пропускания, добротностью, коэффициентом передачи и т. п.), подключенных к нему в качестве периферийных устройств.

На рис. 10 показана схема прямо пропорционального преобразователя цифрового кода в длительность импульса (цифровой широтно-импульсный модулятор), а на рис. 11 — обратно пропорционального преобразователя цифрового кода в частоту следования импульсов (цифровой частотный модулятор).

Преобразователь (рис. 10) состоит из задающего генератора (DD1.1, DD1.2), восьмиразрядного двоичного счетчика (DD2, DD4), буферного регистра (DD6, DD7) и восьмиразрядного двоичного сумматора (DD3, DD5). На входы буферного регистра DD6, DD7

