

Ламповый калейдоскоп

Станислав Симулкин, г.Алчевск Луганской обл.

(Продолжение. Начало см. «РХ» №2,3/01)

Пример практической реализации УМЗЧ с двухтактным выходным каскадом на лампах 6П3С при работе в схеме с автоматическим смещением в режиме класса А показан на рис. 19. Входной каскад одновременно является и предварительным усилителем напряжения, и фазоинвертором. Он выполнен на высокочастотном двойном триоде типа 6Н23П по парафаз-

явления сеточных токов на пиках входного сигнала. Так как катодные резисторы драйвера конденсаторами не зашунтированы, то возникает местная неглубокая ООС как по постоянному, так и по переменному току, что благоприятно сказывается на линейности и стабильности работы всего каскада. Усиленный сигнал, снимаемый с анодных цепей драйвера, через раздели-

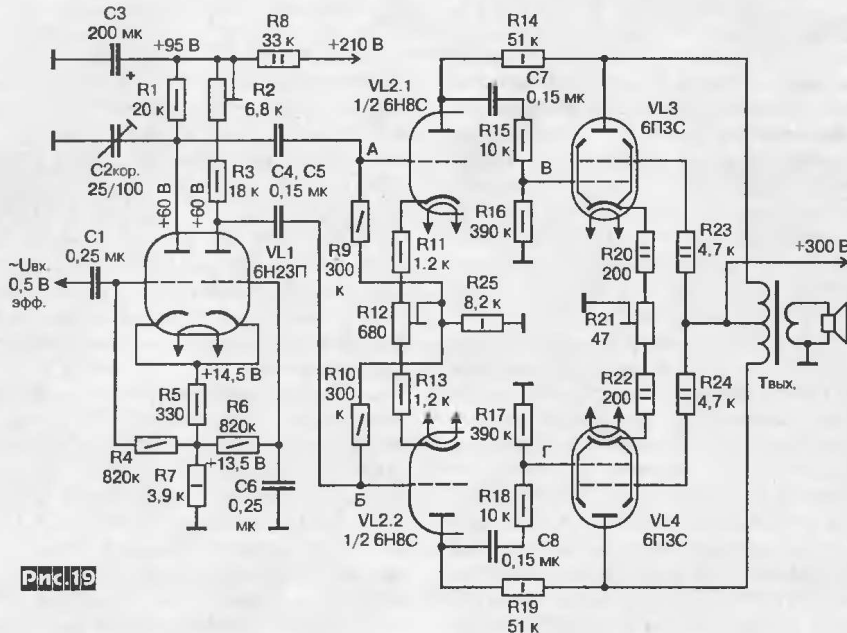


Рис. 19

ной схеме, идентичной каскаду в усилителе на рис. 9 («РХ» №2/2001, с. 58). Более интересен предвыходной усилитель напряжения, который собран на лампе 6Н8С. В отличие от типовых схем, в которых анод лампы драйвера через нагрузку подключен «как и положено» к источнику питания, в данной конструкции анодные цепи предвыходного каскада связаны с анодами ламп оконечного каскада и первичной обмоткой выходного трансформатора. Анодной нагрузкой предвыходных триодов служат резисторы R14 и R19 сопротивлением 51 кОм. Такое построение каскада за счет возникающей местной ООС значительно уменьшает внутреннее сопротивление выходных ламп, снижает требования к качеству выходного трансформатора, а главное, повышает линейность системы «оконечный усилительный каскад - выходной трансформатор», что имеет исключительно важное значение, когда усилитель не охвачен петлей общей ООС. Необходимый режим работы лампы 6Н8С по постоянному току задан резистивным делителем R11-R13. Переменный резистор R12 служит для балансировки плеч этого каскада. Резисторы R9 и R10 по 300 кОм служат не только сопротивлением утечки управляющих сеток, но и обеспечивают их гальваническую связь с цепью катода, что необходимо для обеспечения работы триодов лампы в заданном режиме. Соединять эти резисторы, как обычно принято, с общим проводом нельзя, поскольку потенциал катода поднят относительно «земли» за счет падения напряжения на резисторе R25. Последнее сделано с целью исключения возможности по-

тельные конденсаторы C7 и C8 подается на управляющие сетки ламп выходного каскада. Эти конденсаторы, равно как и C4, C5 должны иметь минимальный tg угла потерь. Цепи управляющих сеток оконечных ламп содержат антипаразитные резисторы R15, R18 (обычно они включены последовательно с сеткой) и резисторы утечки R16, R17. Выходной каскад выполнен по схеме с автоматическим смещением и работает в режиме класса А. Необходимое для нормальной работы ламп смещение создается за счет падения напряжения на катодных резисторах R20-R22. Переменный резистор R21, который должен быть высококачественным проволочным сопротивлением не менее 2 Вт, служит для симметрирования схемы. Как и в предыдущих каскадах, катодные резисторы не шунтируются, поэтому в нем также действует местная ООС очень умеренной глубины. Такое построение схемы позволило получить следующие технические характеристики усилителя: номинальная чувствительность 0,5 В при выходной мощности 15 Вт и коэффициенте гармоник не более 1,2%. Рабочий диапазон частот от 25 Гц до 35 кГц при неравномерности АЧХ не более 1,5 дБ.

Выходной трансформатор изготовлен на магнитопроводе ШЛ 32х50 с размером окна 32х80 мм. Сечение сердечника 16 см², средняя длина магнитной силовой линии 27,3 см. Для выходного трансформатора этого усилителя постарайтесь достать магнитопровод, навитый из ленты толщиной 0,20 мм. Если имеется возможность выбора, то остановитесь на сердечниках, сделанных из стали 3414, 3413 или 3412. В

крайнем случае воспользуйтесь магнитопроводом, набранным из штампованных Ш-образных пластин с теми же размерами окна и таким же сечением сердечника. С целью снижения индуктивности рассеивания обмотки секционированы. Общее количество витков первичной обмотки 5100 провода ПЭВ-2 0,315 мм. Вся обмотка разделена на шесть секций по 850 витков, каждая из ко-

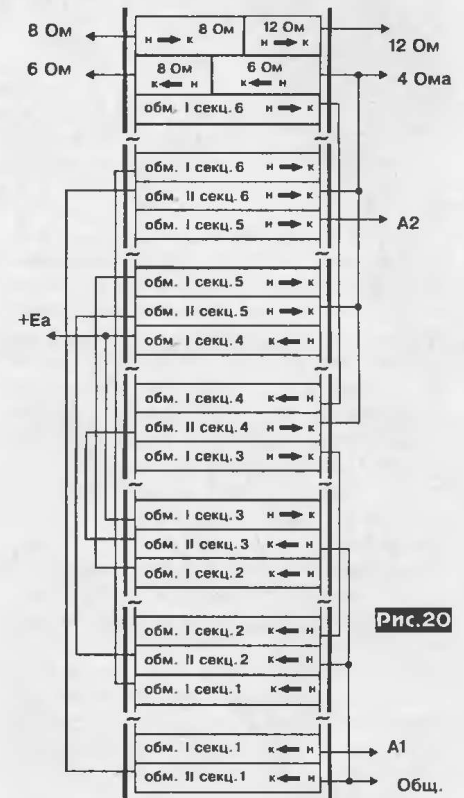


Рис. 20

торых намотана в пять слоев по 170 витков. Соединение секций последовательное. Вторичная обмотка рассчитана на подключение нагрузок 4, 6 или 8 Ом. Чтобы получить такую возможность, она состоит из трех обмоток, включенных последовательно: основной, рассчитанной на работу с 4-омными акустическими системами, и двух дополнительных для 6 и 8 Ом соответственно. Основная обмотка состоит из 6 секций, соединенных последовательно-параллельно таким образом, чтобы суммарное количество витков обмотки составляло 126. Каждая секция представляет собой один слой провода ПЭВ-1 1,0 мм, уложенный виток к витку. Количество витков в слое - 63. Дополнительная обмотка для нагрузки 6 Ом содержит 28 витков провода ПЭВ-1 1,6 мм и занимает один неполный слой. На оставшееся свободное место наматывается часть дополнительной 8-омной обмотки, после чего не поместившийся остаток переносит в следующий слой, который будет неполным. Дополнительная обмотка для подключения акустических систем сопротивлением 8 Ом имеет 24 витка провода ПЭВ-1 1,5 мм. Незаконченный слой при желании можно продолжить. Тогда, намотав на оставшееся место 40 витков провода ПЭВ-1 1,12 мм, а такое количество при равной плотной намотке помещается уверенно, вы получите возможность подключать к усилителю нагрузку сопротивлением 12 Ом. Размещение обмоток в катушке трансформатора и схема соединений секций показана на рис. 20.

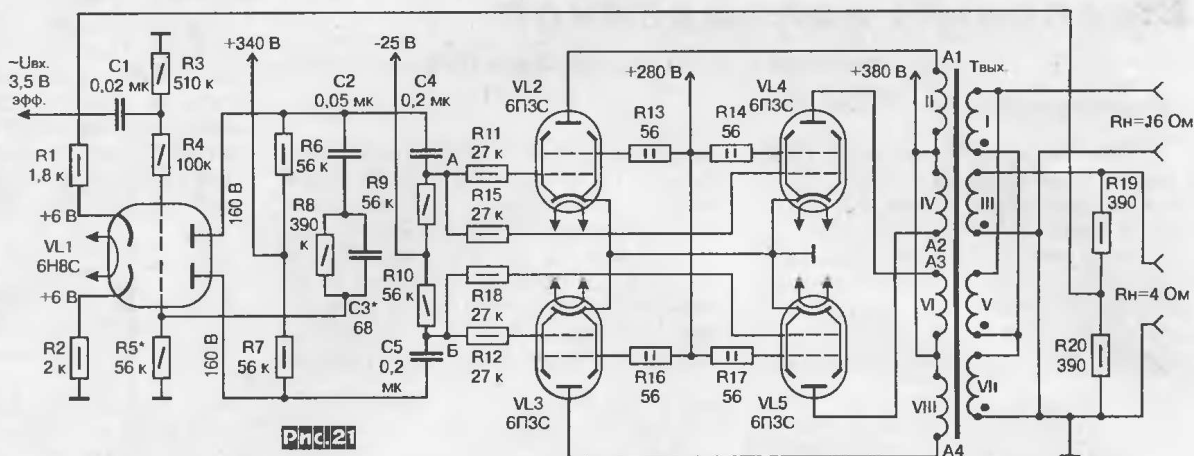
Налаживание усилителя начинают с установкой режимов по постоянному току.

Перед тем как симметризовать драйвер, необходимо вынуть выходные лампы из панелек. Резистором R12 устанавливаются равные напряжения на катодах лампы 6Н8С. Теперь оконечные лампы возвращают на место и резистором R21 балансируют выходной каскад, после чего вновь проверяют симметрию предвыходного каскада. Довольно часто требуется небольшая корректировка R12. Теперь к точкам А и Б подключают осциллограф и производят симметрирование фазоинвертора по переменному току на частотах 100 Гц и 20 кГц. Подробно эта процедура была рассмотрена ранее в описании усилителя рис.9. Завершив данную операцию, осциллограф подсоединяют к точкам В и Г, выходные лампы удаляют и производят балансировку предвыходного каскада по переменному току. После этого устанавливаются на место оконечные лампы, осуществляется симметрирование всего усилителя. Остается добавить, что для нагрузки сопротивлением 3-4 Ом в качестве выходного трансформатора возможно использование ТВЗ-1-6, но характеристики усилителя при этом заметно ухудшатся. Схема потребляет по цепи +210 В ток 3,5 мА, от источника +300 В около 160 мА, по цепи питания накала ламп - 2,8 А.

Рекомендуемые электрические режимы лампы 6П3С при работе в двухтактных оконечных каскадах класса А, АВ, В в усилителях звуковой частоты при фиксированном и автоматическом отрицательном смещении на управляющих сетках (без токов управляющих сеток) приведены в **таблице 1**.

Пример практической реализации усилителя звуковой частоты с **двухтактным**

Рис.21



выходным каскадом на лампах 6П3С при работе в **классе АВ с фиксированным смещением** без сеточных токов заимствован из [4] и показан на **рис.21**. Помещен лишь фрагмент полной схемы усилителя, включающий в себя фазоинвертор и выходной каскад. На лампе 6Н8С собран фазоинвертор, который работает следующим образом. Входной сигнал (его номинальное напряжение составляет 3,5 В) подается на управляющую сетку верхнего по схеме триода. Нагрузкой анодной цепи данного триода является резистор R6, на котором и выделяется усиленный сигнал. Дальнейший путь последнего складывается из двух ветвей. Первая ветвь - через разделительный конденсатор C4 на управляющие сетки выходных ламп. По второй ветви сигнал проходит через разделительный конденсатор C2, корректирующую RC-цепочку, которая образована резистором R8, а также конденсатором C3, и поступает на управляющую сетку нижнего по схеме триода. Сопротивлением утечки этой сетки служит резистор R5, который совместно с R8 образует делитель напряжения. Номиналы резисторов делителя подобраны таким образом, чтобы переменное напряжение, приложенное к управляющей сетке второго триода, равнялось входному, что обеспечивает симметрию выходных сигналов. Анодной нагрузкой ведомого триода является резистор R7, на котором выделяется напряжение, противофазное действующему на R6. Этот сигнал через разделительный конденсатор C5 подается в цепь управляющих сеток ламп выходного каскада. Цепи управляющих сеток содержат сопротивления утечки R9 и R10 по 56 кОм (в общую точку этих резисторов подается напряжение отрицательного смещения) и антипаразитные элементы - резисторы R11, R12, R15, R18. В цепи экранных сеток выходных ламп включены токоограничивающие резисторы R13, R14, R16, R17

сопротивлением 56 Ом. Они исключают опасность неконтролируемой перегрузки сеток. Каскады, входящие в состав оконечного усилителя, охвачены петлей общей ООС. Сигнал обратной связи снимается со вторичной обмотки выходного трансформатора и после делителя напряжения, образованного элементами R19, R20, через резистор R1 подается в катодную цепь входного триода. Этот же резистор выполняет функции сопротивления автоматического смещения.

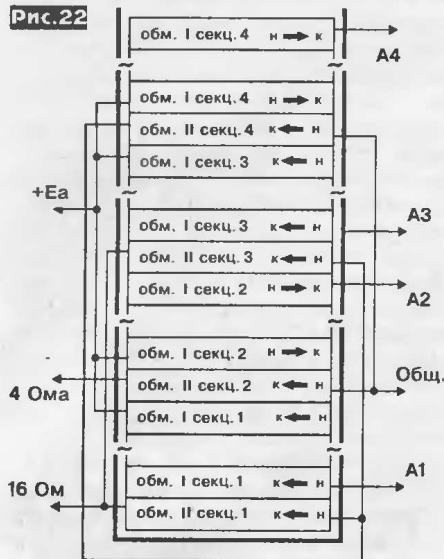
Наиболее оригинальной частью данной конструкции является выходной трансформатор. Необходимость получения строгой симметрии между половинками анодной обмотки вынуждает располагать секции, относящиеся к противоположным плечам каскада, в шахматном порядке, делить каркас перегородкой на две равные части, применять галетное секционирование и т.п. В рассматриваемом усилителе автору удалось решить эту задачу, нагрузив анодную цепь каждой оконечной лампы на индивидуальную секцию первичной обмотки. Собственно выходной трансформатор выполнен на магнитопроводе Ш25х64, сечение керны 16 см², средняя длина магнитной силовой линии 21,4 см с размером окна 25х62,5 мм, площадь окна 15,63 см². Анодная обмотка состоит из 4 секций по 1350 витков провода ПЭЛ 0,19 мм, суммарное количество витков 5400. Каждая из секций намотана в пять слоев по 270 витков, ширина намотки 58-59 мм. Вторичная обмотка содержит 4 секции по 80 витков провода ПЭЛ 0,66 мм, намотанных в один слой. Ширина намотки такого слоя-секции составляет около 59 мм. Порядок и правила намотки катушки этого трансформатора следующие. Вначале укладывается секция 1 вторичной обмотки, которую изолируют двумя слоями лакоткани, лавсана и т.п. Поверх изоляции наматывают секцию 2 первичной обмотки. Между ее слоями прокладывают один слой тонкой лакоткани, лавсановой либо фторопластовой ленты или два слоя тонкой парафинированной бумаги. Секцию изолируют двумя слоями лакоткани и укладывают секцию вторичной обмотки, потом первичной и т.д. Последней будет четвертая секция анодной обмотки. Порядок намотки на схеме показан порядковыми номерами (цифры римские). Начала секций обмоток отмечены точками. Размещение секций на катушке трансформатора и схема соединений между ними показана на **рис.22**.

После намотки катушку трансформатора, а еще лучше трансформатор целиком, желательно проварить в парафине или тех-

Таблица 1

Параметр	Режим			
	кл. А с фикс.смещ.	кл. АВ с автом. смещ.	кл. АВ с фикс. смещ.	кл. В с фикс. смещением
Ea, В	265	385	425	525
Ua, В	250	360	400	500
Ec2, В	250	270	300	300
-Ec1, В	-14	-	-25	-30
+Ex, В	-	22,5	-	-
Rk, Ом(Вт)	-	240(3)	-	-
Ia0, мА	144	88	102	60
Ic2, мА	10	5	6	3
Rc2, кОм (Вт)	1,3(0,25)	8,2(2)	8,8(2)	18(3)
-Uc1, В	19,8	40,3	35,4	45,3
S, мА/В	6,0	5,7	5,9	6
Ri, кОм	44	71	68	88
Pвых, Вт	13,0	24	34	44
Ra, кОм	6,9	9,0	6,6	8,6
Kг, %	1,8	4,0	2,0	3,5

Рис.22



ническом воске, который представляет собой сплав чистого желтого пчелиного воска 65 %, очищенного медицинского парафина 25%, церезина с озокеритом по 5% с небольшой по 0,5% добавкой олифы натуральной и кенифоли. Технический воск более предпочтителен, так как по сравнению с чистым парафином он обладает большей вязкостью и не крошится. Во время пропитки емкость с воском подогревать следует только на водяной бане и ни в коем случае не пользоваться для этой цели открытым пламенем. Вызвано это не только необходимостью соблюдения правил противопожарной безопасности, но и тем, что изоляция обмоточных проводов имеет умеренную нагревостойкость. При подогреве на водяной бане температура расплава, а значит и проводов никогда не превышает 100°C. И еще один технологический нюанс. Объем водяной бани на 3 кг воска должен быть 12-15 л. По окончании процесса пропитки прекращают подогрев, не вынимая трансформатор и емкость с воском из водяной бани, и оставляют все это медленно остывать на воздухе. Еще лучше, завершив пропитку, уменьшить подогрев таким образом, чтобы температура воды, а значит и воска была 70-75°C, и выдержать еще 2-3 часа, после чего прекратить нагревание. По мере остывания расплава его поверхность схватывается коркой, которую необходимо разламывать, а воск перемешивать. В тот момент, когда расплав нечет застывать по всему объему, что хорошо видно, трансформатор вынимают и быстро выносят на открытый воздух. За счет того, что охлаждение происходит относи-

тельно медленно, трансформатор успевает остыть почти до температуры затвердевания расплава. Благодаря этому поверхность воска быстро схватывается и пропиточный состав остается в полостях катушки, а не выливается наружу. Продолжительность пропитки зависит от размеров трансформатора и составляет от 2-3 до 12-15 часов. В ходе процесса трансформатор необходимо периодически интенсивно встряхивать. Конечно, описанная выше процедура продолжительна и утомительна. Но при отсутствии вакуумной камеры это единственный способ получить пропитку высокого качества. Процесс считается оконченным, когда при интенсивном встряхивании трансформатора выделения пузырьков воздуха не наблюдается. Пропитка трансформатора не только улучшает электрическую прочность катушки, но и устраняет вибрации проводников обмоток и пластин магнитопровода, которые приводят к росту потерь и нелинейных искажений, особенно в области высоких частот. И последнее: предложенная технология пропитки является наиболее безопасной, а иногда и единственно возможной. Дело вот в чем. Подавляющее большинство специальных пропиточных лаков требуют печной сушки, что не всем доступно, а те из них, которые предназначены для сушки при комнатной температуре, полимеризуются, не успев «залезть во все щели». Во-вторых, многие из «специальных пропиточных» лаков, приобретенных на рынке «по случаю», не соответствуют требованиям ГОСТа и действуют на изоляцию проводов самым разрушительным образом. Применять для этой цели нитролаки серии НЦ и им подобные (а приходилось видеть и такое) вообще недопустимо.

Налаживание усилителя начинают с установки режимов по постоянному току. Затем к точкам А и Б подключают осциллограф и подбором резистора R5 получают равные коэффициенты передачи обоих плеч фазоинвертора на частоте 100 Гц. Подбором конденсатора C3 добиваются идентичных АЧХ и ФЧХ в обоих плечах на частоте 18-20 кГц. В окончательном каскаде автор, к сожалению не предусмотрел регулировочных элементов. Поэтому симметризовать его приходится с помощью перестановки и замены выходных ламп. Удачно настроенный усилитель обеспечивает получение следующих характеристик: номинальная выходная мощность 35 Вт при коэффициенте гармоник не более 1,5%, максимальная выходная мощность - 45 Вт, диапазон рабочих частот 20 Гц - 20 кГц при неравномерности АЧХ не превышающей 3

дБ.

Еще один пример практической реализации усилителя звуковой частоты с **двухтактным** выходным каскадом на лампах **6П3С** при работе в режиме **класса АВ с фиксированным смещением** показан на **рис.23** и представляет собой фрагмент схемы эстрадного усилителя Sound City 100 фирмы Marshall. Его выходной каскад обеспечивает получение следующих технических характеристик: номинальная выходная мощность - 80 Вт при коэффициенте гармоник не более 4%, максимальная выходная мощность 100-110 Вт, диапазон рабочих частот 30 Гц - 18 кГц при неравномерности АЧХ 3 дБ. Кратко рассмотрим работу усилителя мощности этого аппарата. Входной сигнал, прошедший предварительные усилители и темброблок, поступает на регулятор громкости, роль которого выполняет переменный резистор сопротивлением 220 кОм. С движка этого резистора напряжение звуковой частоты подается на управляющую сетку левого по схеме триода лампы VL1. Этот триод выполняет функции усилителя напряжения с коэффициентом передачи около 11. Каскад построен по схеме резистивного усилителя с автоматическим смещением, которое возникает за счет падения напряжения на катодном сопротивлении 2,2 кОм. Катодный резистор зашунтирован конденсатором емкостью 0,05 мкФ. Это необходимо для компенсации завала АЧХ в области средне-высоких и высоких частот, вносимых темброблоком. Анодной нагрузкой этого триода является резистор сопротивлением 100 кОм. Все показанные на схеме маломощные каскады имеют между собой непосредственную гальваническую связь, и это сделано вот почему. Дело в том, что переходной конденсатор может оказаться не только источником дополнительных нелинейных искажений, шумов, низкочастотных флуктуаций, но и вследствие вносимых им фазовых сдвигов нередко является причиной самовозбуждения схемы. Поэтому в звукоусилительной технике всегда стремятся обеспечить гальваническую связь между каскадами аппарата. Для обеспечения такой возможности в схему вводится каскад сдвига уровня, выполненный на правой половинке лампы VL1. Такая структура схем позволяет отказаться от разделительного конденсатора и увеличить эффективность регулировки АЧХ в области средних частот. С целью оперативной регулировки АЧХ (в данной области) устроен переменный резистор сопротивлением 100 кОм, входящий в цепь частотно-зависимой ООС. Собственно каскад сдвига уровня

представляет собой катодный повторитель, так что вносимые им дополнительные искажения и шумы пренебрежимо малы. Помимо основной функции он улучшает развязку между каскадами аппарата. Режим работы правого триода лампы VL1, а значит, благо-

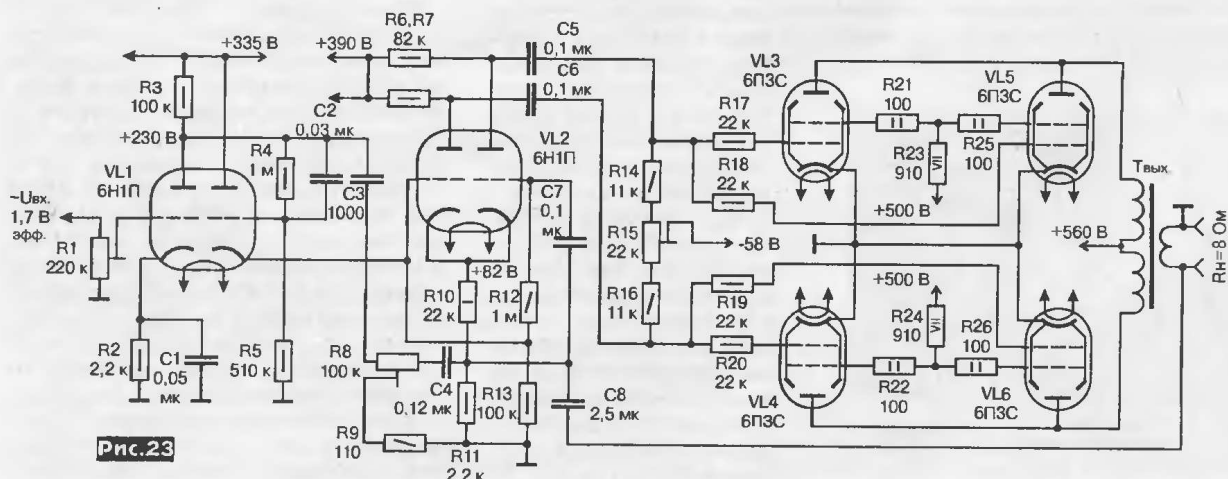
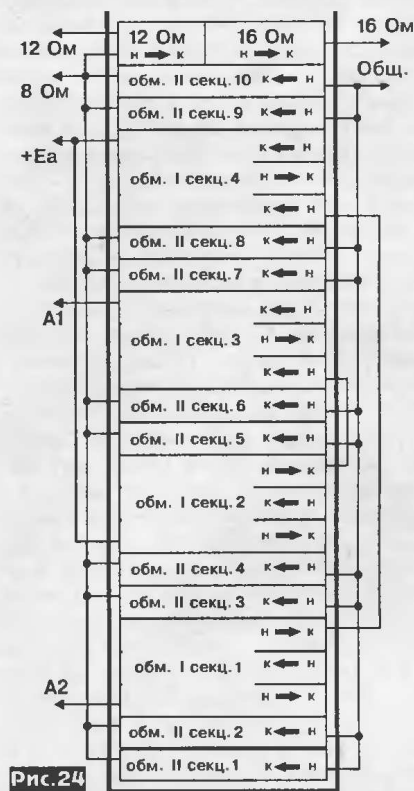


Рис.23

даря наличию гальванической связи между каскадами, и фазоинвертора, собранного на лампе VL2, задается параметрами делителя напряжения, образованного резисторами сопротивлением 1 МОм и 510 кОм. Чтобы избежать ослабления звукового сигнала, сопротивление 1 МОм зашунтировано конденсатором емкостью 0,03 мкФ. В общую точку этой RC-цепочки и анода левого триода VL1 подключен конденсатор емкостью 1000 пФ, входящий в цепь регулировки АЧХ «Presence». Фазоинверсный каскад собран на лампе VL2 типа 6Н1П по парафазной схеме. Его характерными особенностями являются наличие в катодной цепи корректирующей RC-цепочки с перестраиваемыми параметрами и поступление на этот каскад напряжения общей ООС. Анодные цепи лампы VL2 нагружены на резисторы сопротивлением 82 кОм. Противофазные сигналы, снимаемые с этих анодных нагрузок, через разделительные конденсаторы емкостью по 0,1 мкФ поступают в цепи управляющих сеток ламп выходного каскада. Важное требование, предъявляемое к разделительным конденсаторам, заключается в том, что они должны иметь минимальный tg угла потерь. Цепи управляющих сеток ламп оконечного каскада содержат антипаразитные резисторы по 22 кОм, сопротивления утечки по 11 кОм и переменный резистор сопротивлением 22 кОм. Последний служит для балансировки плеч каскада. В цепях экранных сеток этих же ламп установлены токоограничивающие резисторы сопротивлением по 910 Ом и уравнивающие по 100 Ом. Питание экранных сеток через такие делители позволяет в определенной степени скомпенсировать разброс характеристик ламп. Выходной трансформатор изго-



товлен на сердечнике Ш32х80 сечением 25,6 см². Он имеет размеры окна 32х80 мм, что обеспечивает площадь, а она равняется 25,6 см², вполне достаточную для размещения не только основных обмоток: анодной и вторичной для акустических систем сопротивлением 8 Ом, но и дополнительных вторичных обмоток, рассчитанных на подключение нагрузок сопротивлением

12 и 16 Ом. Прочие характеристики магнитопровода: средняя длина магнитной силовой линии - 27,4 см, объем стали 640 см³, толщина пластин 0,2 мм. Первичная обмотка, а ее суммарное число витков - 1320, разделена на 4 секции по 330 витков провода ПЭВ2 0,5 мм. Каждая из секций намотана в три слоя по 110 витков, ширина намотки около 75 мм. Вторичная обмотка для нагрузки 8 Ом (попутно замечу, что именно к ней подключается цепь общей ООС) состоит из 10 слоев-секций, соединенных параллельно. Они намотаны проводом ПЭВ-2 0,8 мм, ширина каждого - 75 мм, а число витков равно 68. Дополнительные вторичные обмотки выполняются проводом ПЭЛ 2,44 мм и имеют: 15 витков для нагрузки 12 Ом и 13 витков для нагрузки 16 Ом. Все обмотки включены между собой последовательно. Размещение секций обмоток в катушке трансформатора и схема электрических соединений между ними показана на рис. 24. Для подключения акустических систем с разными сопротивлениями можно вывести каждую из вторичных обмоток на индивидуальный разъем, а можно обойтись и одним, коммутируя при этом вторичные обмотки с помощью сетевого переключателя 110-127-220-237 В. Последний представляет собой фишку, жаргонное название «папа» с ответной частью-гнездом «мама», которые широко применялись в радиоаппаратуре 50-х-70-х годов. Настройка данного усилителя производится по стандартной методике.

Литература

4. Морозов Б. Высококачественный усилитель мощности. «ВРЛ», Москва, 1965 г.

(Продолжение следует)

Виртуальный частотомер

Юрий Колоколов, Донецк

С недавних пор в радиолюбительской практике стали популярны так называемые виртуальные измерительные приборы. В данном случае под «виртуальностью» подразумевается тот факт, что некоторая часть функций или узлов измерительного прибора реализуется с помощью персонального компьютера. Виртуальные измерительные приборы можно условно разбить на две категории. Приборы первой группы «полностью виртуальны» и фактически состоят из одной программы для РС, а функции по вводу-выводу измеряемого или ге-

нерируемого сигнала возлагаются на штатные аппаратные средства, например, звуковую карту [1],[2]. Приборы второй группы имеют кроме «виртуальной» части еще и материальную. К компьютеру в этом случае подключается некое устройство, которое является неотъемлемой частью виртуального прибора. Такие устройства реализуют некоторые функции или узлы измерительного прибора, которые по тем или иным причинам нельзя возложить на компьютер. Эти устройства могут иметь различную сложность - от «навороченных» промышленно выпускаемых интерфейсных плат, встраиваемых в компьютер, до простых устройств, подключаемых к компьютеру через COM или LPT порт [3],[4],[5]. Именно таким способом реализован предлагаемый виртуальный частотомер.

Итак, почему же не получается реализовать виртуальный частотомер только в виде программы? Упрощенная структурная схема «обычного» электронного частотомера в режиме измерения частоты изображена на рис. 1, а в режиме измерения временных интервалов на рис. 2.



Хотя современные компьютеры обладают большим быстродействием и хорошей стабильностью тактовой частоты, использовать эти свойства для формирования стабильных временных интервалов (например «временных ворот» или «меток времени») проблематично. Это связано с тем, что управляющая программа распоряжается компьютером не монополично, а делит процессорное время с операционной системой и другими программами. Поэтому функцию формирования временных интервалов придется реализовывать во внешнем устройстве. Кроме этого во внешнем устройстве желательно расположить входной формирователь сигнала и счетчик импульсов. Для реализации на компьютере остаются только функции индикации и управления.

Минимизировать аппаратные затраты такого частотомера можно, применив для этих целей микроконтроллер, который будет выполнять измерения с помощью своих аппаратно-программных ресурсов. В предлагаемой конструкции используется микроконтроллер семейства AVR AT90S2313 производства Atmel. Он удобен тем, что имеет у себя «на борту» аналоговый компаратор (на нем реализуется входной формирователь), быстродействующие таймеры-счетчики (подсчет импульсов), последовательный порт (связь с компьютером). Кроме этого он содержит 8-ми битный RISC процессор с быстродействием 10MIPS, 32 рабочих регистра, 2 килобайта ПЗУ, 128 байт ОЗУ, сторожевой таймер. Микроконтроллер имеет небольшое энергопотребление и может программироваться