

ПРОСТОЙ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УМЗЧ

Е. ГУМЕЛЯ
г. Мытищи Московской обл.
РАДИО №1 1989г.

Анализ писем радиолюбителей, откликнувшихся на статью [1], позволил прийти к следующим выводам. Во-первых (и это естественно), все высказываются за создание простых в схемотехническом отношении усилителей мощности ЗЧ (УМЗЧ); во-вторых, чем проще схема усилителя, тем менее подготовленные радиолюбители берутся за его сборку; в-третьих, даже опытные конструкторы нередко игнорируют известные правила монтажа, что приводит к неудачам при повторении УМЗЧ на современной элементной базе.

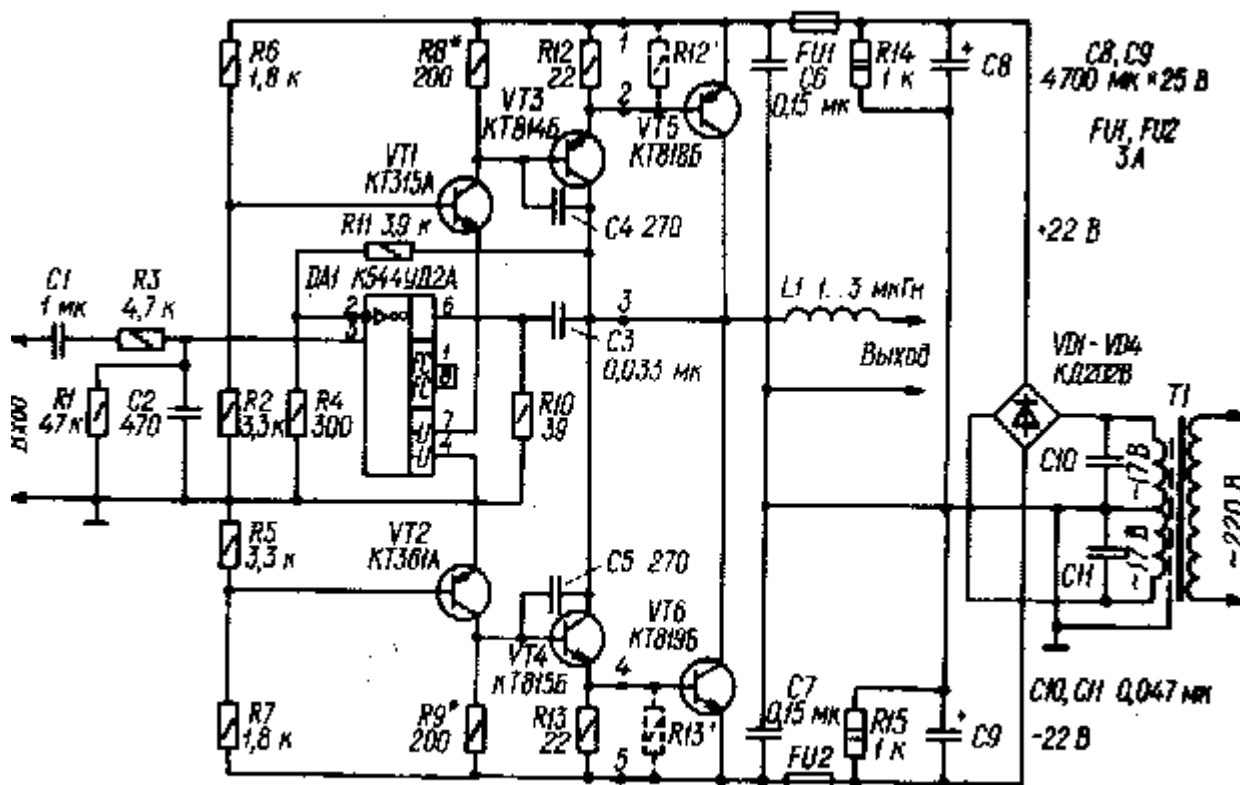


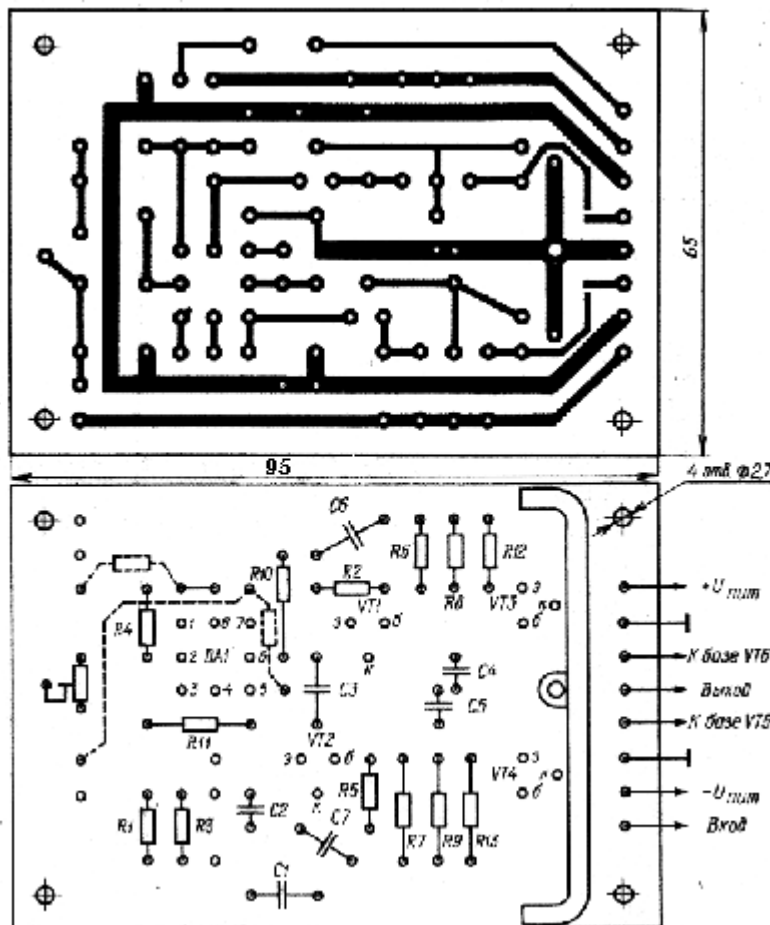
Рис. 1

Исходя из сказанного, был разработан УМЗЧ (см. рис. 1) на базе усилителей, описанных в [1, 2]. Его основные особенности — использование ОУ в малосигнальном режиме (как и в усилителе, описанном в [1]), что расширяет полосу частот сигналов, воспроизводимых без превышения скорости нарастания выходного напряжения ОУ [3]; транзисторов выходного каскада — в схеме ОЭ, а предоконечного — с разделанной нагрузкой в цепях эмиттеров и коллекторов. Последнее, кроме очевидного конструктивного преимущества — возможности размещения всех четырех транзисторов на общем теплоотводе, дает определенные преимущества по сравнению с выходным каскадом, в котором транзисторы включены по схеме ОК [2].

ОУ DA1 питается через транзисторы VT1 и VT2, которые снижают напряжения питания до требуемых значений. Токи покоя транзисторов создают падения напряжения на резисторах R8 и R9, достаточные для обеспечения необходимого напряжения смещения на базах транзисторов VT3. VT4 и VT5, VT6. При этом напряжения смещения для транзисторов оконечного каскада выбраны такими (0,35...0,4 В), чтобы они оставались надежно закрытыми при повышении напряжения питания на 10...15 % и перегреве на 60...80 °С. Снимаются они с резисторов R12, R13, которые одновременно стабилизируют режим работы транзисторов предоконечного каскада и создают местные ООС по току.

Основные технические характеристики УМЗЧ

Номинальный диапазон частот при неравномерности АЧХ 2 дБ, Гц	20...20 000
Номинальная (максимальная) выходная мощность, Вт, на нагрузке сопротивлением, Ом	4 30(42) 8 15(21)
Коэффициент гармоник при номинальной мощности, не более, в номинальном диапазоне частот %	0,01
Номинальное (максимальное) входное напряжение, В	0,8(1)
Входное сопротивление, кОм	47
Выходное сопротивление,;	0,03
Относительный уровень шума и фона, дБ, не более	— 86
Амплитуда всплесков выходного напряжения при включении и выключении УМЗЧ, В, ; более	0,1



Соотношение между сопротивлениями резисторов R11 и R4 цепи ООС выбрано из условия получения номинального входного напряжения, равного 0,8 В. Включение цепей внешней коррекции и балансировки ОУ для простоты на схеме не показано (об этом будет сказано в разделе, посвященном налаживанию усилителя).

ФНЧ R3C2 и ФВЧ C3R10 с частотами среза в области 60 кГц предотвращают работу сравнительно низкочастотных транзисторов VT3—VT6 на более высоких частотах во избежание их пробоя. Конденсаторы C4, C5 'корректируют ФЧХ предоконечного и оконечного каскадов, предотвращая их самовозбуждение при неудачном монтаже.

Катушка L1 повышает стабильность работы УМЗЧ при значительной емкостной нагрузке.

УМЗЧ питается от нестабилизированного выпрямителя. Он может быть общим для обоих каналов стереоусилителя, однако в этом случае емкость конденсаторов фильтра C8 и C9 необходимо увеличить вдвое, а диаметр провода вторичной обмотки трансформатора Т1—в 1,5 раза. Предохранители включают в цепи питания каждого из усилителей.

Конструкция УМЗЧ может быть различной, однако некоторые конструктивные особенности, от которых зависит успех его повторения, должны быть обязательно учтены.

Чертеж печатной платы и размещение деталей одного канала УМЗЧ приведены на рис. 2.

Длина выводов деталей должна быть не более 7... 10 мм (для удобства монтажа выводы ОУ DA1 укорачивают примерно до 15 мм). В УМЗЧ необходимо использовать керамические конденсаторы с номинальным напряжением не менее 50 В. Плату можно закрепить на теплоотводе транзисторов оконечного каскада с помощью стоек высотой 15...20 мм или в непосредственной близости от него, применив для соединения оконечного каскада с предоконечным какой-либо разъемный соединитель, например МРН-22 (гнезда и штыри соединителя включают в точках 1—5). В последнем случае сопротивление резисторов R12 и R13 следует выбрать равным 43... 47 Ом, а на розетке соединителя с подключенными к ней транзисторами VT5, VT6 установить резисторы такого же сопротивления R12' и R13' (это предотвратит выход из строя транзисторов при потере контакта в соединителе). Длина проводников между платой и транзисторами оконечного каскада должна быть не более 100 мм.

Кроме указанного на схеме, в УМЗЧ можно применить ОУ К140УД6Б, К140УД7А, К544УД1А, однако коэффициент гармоник на частотах выше 5 кГц возрастет в этом случае примерно до 0,3 %. Транзисторы предоконечного каскада располагают на теплоотводе, согнутом из пластины размерами 70X35X ; X3 мм (без учета лапки с отверстием диаметром 2,2 мм) из алюминиевого сплава, которую одним винтом М2Х8 с гайкой крепят к плате для предотвращения обрыва выводов транзисторов при случайных механических воздействиях.

Транзисторы оконечного каскада можно расположить как на общем для каждого канала УМЗЧ теплоотводе, так и на теплоотводе, общем для обоих каналов. В первом случае их закрепляют на теплоотводе и изолируют последний от корпуса УМЗЧ, во втором — изолируют транзисторы, а теплоотвод может представлять собой конструктивный элемент корпуса усилителя. Для уменьшения теплового сопротивления корпус транзистора — теплоотвод необходимо использовать теплопроводную пасту. При использовании отдельных (для каждого канала) теплоотводов можно применять транзисторы в пластмассовом корпусе, которые из-за малой площади металлических оснований могут перегреваться при плохом выполнении прокладок или неплотном тепловом контакте с теплоотводом и чрезмерном количестве пасты в зазоре. На общем для обоих каналов теплоотводе целесообразно устанавливать транзисторы в металлическом корпусе. Площадь теплоотвода в расчете на один транзистор должна быть не менее 500 см².

Большое значение имеет монтаж УМЗЧ, соединение его каналов с источником питания. Провода питания (+22 В, —22 В и общий) должны быть возможно более короткими (к каждому каналу они должны быть проложены отдельно) и достаточно большого сечения (при максимальной мощности 42 Вт—не менее 1,5 мм²). Проводами такого же сечения должны быть подключены акустические системы, а также цепи эмиттеров и коллекторов транзисторов оконечного каскада к плате УМЗЧ.

Налаживают УМЗЧ при отключенном оконечном каскаде. Если для соединения частей УМЗЧ применен разъемный соединитель, удобно воспользоваться технологической розеткой, к которой подсоединены только провода питания и выход генератора сигналов ЗЧ. При , непосредственном соединении оконечных транзисторов с платой УМЗЧ достаточно удалить перемычки из припоя с печатных проводников цепей их баз и временно припаять последние к выводам эмиттеров.

Для балансировки ОУ DA1 (если в этом возникнет необходимость) на плате предусмотрены отверстия под подстроечный и постоянные резисторы или проволочные перемычки для соединения выводов микросхемы в соответствии со схемой балансировки для конкретного типа. Например, для балансировки ОУ К544УД2 его выводы 1 и 8 через резистор сопротивлением 62 кОм соединяют с выводом движка и одним из выводов резистивного элемента подстроечного резистора сопротивлением 22 кОм. Свободный вывод этого резистора соединяют проволочной перемычкой с выводом 7 ОУ, а через резистор сопротивлением 75 кОм

— с выводом 5 (на рис. 2 эти элементы показаны штриховыми линиями). При использовании ОУ К544УД1 его вывод 1 через резистор сопротивлением 4,3 кОм соединяют с выводами подстроечного резистора сопротивлением 1,5 кОм. Его свободный вывод подключают к выводу 8 ОУ через резистор сопротивлением 5,1 кОм, а к выводу 7— проводочной перемычкой. Для балансировки ОУ К140УД6 и К140УД7 используют резисторы тех же номиналов, но свободный вывод подстроечного резистора соединяют через постоянный резистор с выводом 5, а перемычкой — с выводом 4 ОУ. Впрочем, балансировка может и не понадобиться, поэтому эти детали устанавливают только при необходимости.

Налаживание начинают с того, что вход усилителя замыкают накоротко, к выходу подсоединяют осциллограф, включенный в режим максимальной чувствительности, и кратковременно подают питание. Если на выходе нет переменного напряжения, т. е. самовозбуждение отсутствует, измеряют режим работы транзисторов VT3, VT4 и ОУ DA1 по постоянному току. Напряжения питания ОУ должны лежать в пределах 4-13,5...14 и —13,5...14 В и быть примерно одинаковыми (отклонение допустимо в пределах 0,2...0,3 В). Падения напряжения на резисторах R12 и R13 должны быть равны 0,35...0,4 В. Если же они значительно (более чем на 10 %) отличаются от указанной величины, необходимо подобрать резисторы R8, R9, следя за тем, чтобы их новые сопротивления оставались одинаковыми. Заменяют резисторы при выключенном питании УМЗЧ. Ориентировочное сопротивление резисторов для ОУ К544УД2А указано на схеме. При использовании ОУ К544УД1А и К140УД6 за исходное следует выбрать их сопротивление 680 Ом, а при использовании К140УД7 — 560 Ом.

Подобрав резисторы R8, R9, измеряют постоянное напряжение на выходе УМЗЧ и, если оно превышает 20... 30 мВ, балансируют ОУ DA1. Затем подсоединяют базы транзисторов VT5, VT6 к эмиттерам VT3, VT4 и, кратковременно включив питание, убеждаются, что и в таком виде УМЗЧ не самовозбуждается. Напряжение шумов и фона переменного тока при замкнутом накоротко входе не должно превышать 1 мВ.

Далее к выходу УМЗЧ подключают резистор сопротивлением 16 Ом с мощностью рассеяния 10...15 Вт, размыкают вход УМЗЧ, подключают к нему настроенный на частоту 1 кГц генератор и, постепенно увеличивая его сигнал до получения на нагрузке напряжения 13,5...14 В, проверяют симметричность ограничения положительных и отрицательных полувольт синусоиды.

Минимального (в указанных пределах) постоянного напряжения на выходе усилителя добиваются при необходимости окончательной балансировкой ОУ DA1. После этого можно приступить к измерению основных характеристик УМЗЧ, нагрузив его номинальной нагрузкой — резистором сопротивлением 4 или 8 Ом. Более подробно особенности наладки УМЗЧ такого типа описаны в [3].

Следует, однако, учесть, что попытка наладить, а тем более точно оценить параметры УМЗЧ, собранного без соблюдения указанных выше правил монтажа, не установив его на предназначенное для него место и не питая его от собственного блока питания, не только не даст желаемого результата, но и может привести к выходу из строя транзисторов выходного каскада. К наладке УМЗЧ и измерению его характеристик следует приступать только после полного завершения его конструкции. Простота усилителя только кажущаяся. Не следует забывать, что в составе как ОУ DA1. так и УМЗЧ в целом применены транзисторы с максимальными частотами генерации 100...300 МГц, причем в выходных каскадах — со значительными емкостями переходов, которые способны привести к самовозбуждению даже при кажущемся отсутствии цепей обратной связи и нагрузок достаточной величины. Незначительная индуктивность провода цепи эмиттера, параллельное расположение на значительной длине проводов цепей базы и коллектора могут стать причиной самовозбуждения на высоких частотах, что крайне опасно для транзисторов оконечного и предоконечного каскадов. (Впрочем, это справедливо не только для описываемого устройства, но и для УМЗЧ, собранного по любой другой схеме.)

Максимальная выходная мощность на нагрузке сопротивлением 4 Ом, Вт	Схема (№ рисунка в тексте)	Рекомендуемый тип ОУ DA1	Рекомендуемые пары транзисторов оконечного каскада	Сопротивление резисторов, Ом (кОм)		Переменное напряжение, В (ток, А) вторичной обмотки трансформатора Т1	Постоянные напряжения питания УМЗЧ, В (в отсутствие сигнала)	Ток пред. А
				R6, R7 (рис. 1)	R8, R9 (рис. 1). R6, R7(рис. 2)			
15	3	К140УД6	КТ805А и КТ837А		680	24 (2)	+17 и —17	3
20	3	К140УД6	КТ805Б и КТ837Б	—	560	30 (2.5)	+20 и —20	4
25	1	К544УД2А	КТ818Б и КТ819Б	(1.5)	200	2X15 (3)	+20 и —20	5
40	1	К544УД2А	КТ818В и КТ819В	(1.8)	200	2X18 (3)	+23 и —23	4
60	1	К544УД2А	КТ818Ги КТ819Г	(3,3)	200	2X23 (4)	+30 и —30	3
Прим. Сопротивления резисторов R8, R9 (УМЗЧ по схеме на рис. 1) и R6, R7 (УМЗЧ по схеме на рис. 3) указаны ориентировочно.								

Характеристики УМЗЧ измеряют по общеизвестным методикам с использованием соответствующей измерительной аппаратуры. Для измерения отдельных параметров, значения которых лежат за пределами возможностей серийных измерительных приборов

(например, малых нелинейных искажений), можно пользоваться методиками, опубликованными в журнале "Радио" (см., например, [4]).

При измерении коэффициента гармоник и относительного уровня шумов и помех следует помнить о возможных наводках со стороны питающей сети, теле- и радиопередатчиков, телевизоров и других радиоприборов из-за плохой экранировки соединительных проводов, входа УМЗЧ и чувствительных измерительных приборов, а также при отсутствии соединения их незаземленных корпусов друг с другом. Иногда достаточно переставить в розетке вилку кабеля питания одного из приборов или УМЗЧ, чтобы получить неверный результат. Кстати, не следует пользоваться известным из старой радиолубительской практики способом проверки УМЗЧ прикосновением пальца к его входной цепи. Это может привести к такому уровню высокочастотных наводок, что выходные транзисторы выйдут из строя.

Рассмотренная схема может быть взята за основу при создании УМЗЧ с различной выходной мощностью. Для этого надо лишь изменить ряд элементов УМЗЧ и блока питания. Некоторые рекомендации по этому поводу можно почерпнуть из таблицы. При постройке УМЗЧ с выходной мощностью примерно 25 Вт часть элементов можно исключить (см. рис. 3). Как видно, вместо резистора в цепи неинвертирующего входа ОУ DA1, соединенного с общим проводом, здесь применен делитель из резисторов R1—R3, что позволило отказаться от среднего вывода вторичной обмотки сетевого трансформатора Т1. Это позволяет использовать трансформаторы с напряжением вторичной обмотки 24...28 В и обеспечивает защиту акустической системы от выхода из строя при пробое одного из транзисторов оконечного каскада.

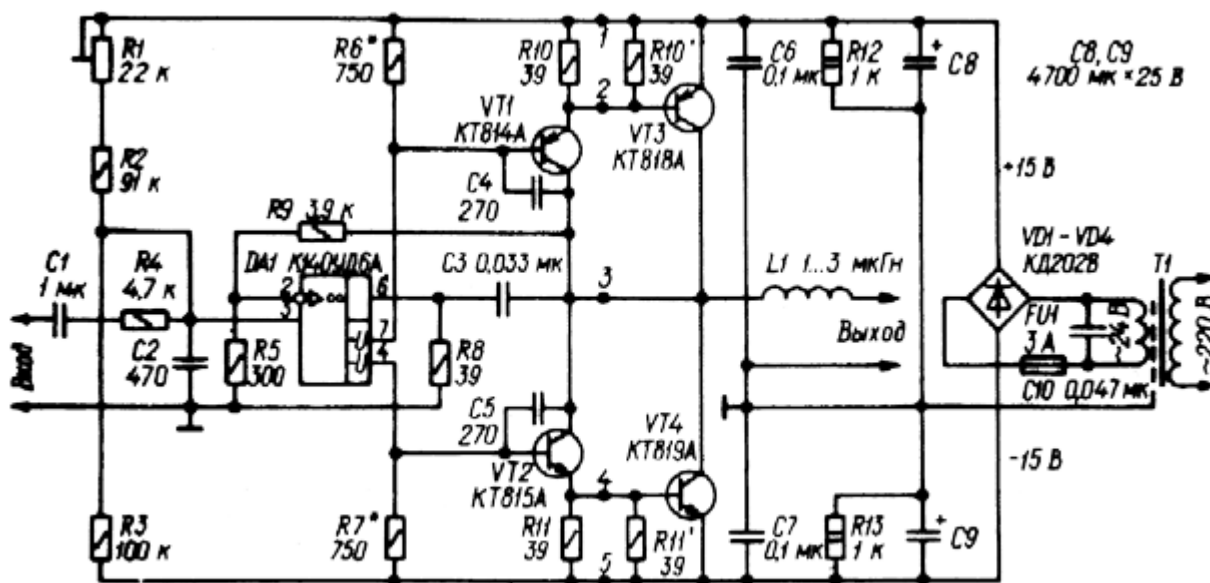


Рис. 3

УМЗЧ по схеме на рис. 3 можно смонтировать на той же печатной плате (см. рис. 4). В этом случае отверстия под выводы резисторов R2, R5—R7 оставляют свободными, резисторы R8 и R9 впаявают непосредственно в цепи питания ОУ DA1, для чего в отверстия под выводы эмиттеров и коллекторов транзисторов VT1, VT2 устанавливают проволочные перемычки. При выходной мощности менее 25 Вт в оконечном каскаде можно применять транзисторы серий KT805 и KT837 с любыми буквенными индексами.

Налаживание УМЗЧ по схеме рис. 3 не отличается от описанного выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гумеля Е. Качество и схемотехника УМЗЧ.—Радио, 1985, № 9, с. 31—35.
2. Rieder I. Abacus Rieder 60—120.—Funkschau. 1986, N 2, s. 39—41.
3. Гумеля Е. Качество и схемотехника УМЗЧ.—Радио, 1986, № 5, с. 43—46.
4. Митрофанов Ю. Экономичный режим А в усилителе мощности.—Радио, 1986, № 5, с. 40—43.