

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ



Юрко Стрелков-Серга
а/я 5000 Винница-18
ut5nc@mail.ru

Сегодня уже трудно удивить любителей высококачественного звуковоспроизведения или умеющих держать в руках паяльник конструкторов усилителем на полевых транзисторах. Большинство таких аппаратов, даже лучших мировых образцов, построены по традиционной схеме с дифференциальным входным каскадом и множеством дополнительных элементов, не принимающих участия в усилении сигнала, но обеспечивающих временную и температурную стабильность. Не изменило коренным образом традиционных схемных решений и применение в выходных каскадах мощных комплементарных транзисторов с разными типами проводимости канала.

В результате активных творческих поисков и сознательного ухода от многочисленных доминирующих стереотипных схемных решений мне удалось создать свой собственный оригинальный прототип усилителя, имеющего минимальное количество электронных компонентов и обладающего исключительной стабильностью, надёжностью и высокими техническими характеристиками, способными удовлетворить запросы даже самых искущённых музыкальных гурманов.

Основные параметры усилителя при сопротивлении нагрузки 8 Ом приведены в таблице.

Параметр	Значение	Номинал
Коэффициент усиления по напряжению	раз	20
Максимальная выходная мощность	W	40
Скорость нарастания выходного напряжения	V / μ s	> 100
Диапазон воспроизводимых частот	Hz	20 – 30000
Нестабильность средней точки	mV	± 10
Напряжение выходных шумов	mV	< 10
Коэффициент нелинейных искажений	%	0,05

При разработке усилителя особое внимание было обращено на качественные показатели, максимальный КПД и минимальное количество используемых деталей, что дало возможность существенно повысить его надёжность и упростить повторение. Учитывалось также наличие и доступность деталей в торговой сети, что значительно снизило себестоимость усилителя.

Усилитель (смотри схему) состоит из входного каскада на маломощных полевых транзисторах разного типа проводимости VT1 и VT2 включённых по схеме с общим истоком, нагрузкой которых являются резисторы R2 и R3. Резистор R1 соединяет затворы этих транзисторов с землёй и определяет входное сопротивление усилителя, а совместно с ёмкостью

входного разделительного конденсатора C1 задаёт его частотную характеристику в низкочастотной области звукового спектра. Транзисторы VT3 и VT4 включены по схеме с общими базами, напряжение на которых задаётся стабилитронами VD1 и VD2, и обеспечивают развязку входных транзисторов от переменной составляющей их выходного сигнала, а также снижают излишнее постоянное питающее напряжение на их стоках. Транзисторы VT5 и VT6 включены по схеме с общим коллектором, их переходы база-эмиттер являются элементами смещения для транзисторов VT1 и VT2, а изменение постоянного напряжения на базах, связанных через резисторы R7 и R10 с выходом усилителя, компенсирует произвольный уход средней точки и рост тока покоя. Падение постоянного напряжения на резисторах R2 и R3 открывает мощные выходные транзисторы VT7 и VT8 на величину начального тока стока (тока покоя), определяющего работу усилителя в классе AB.

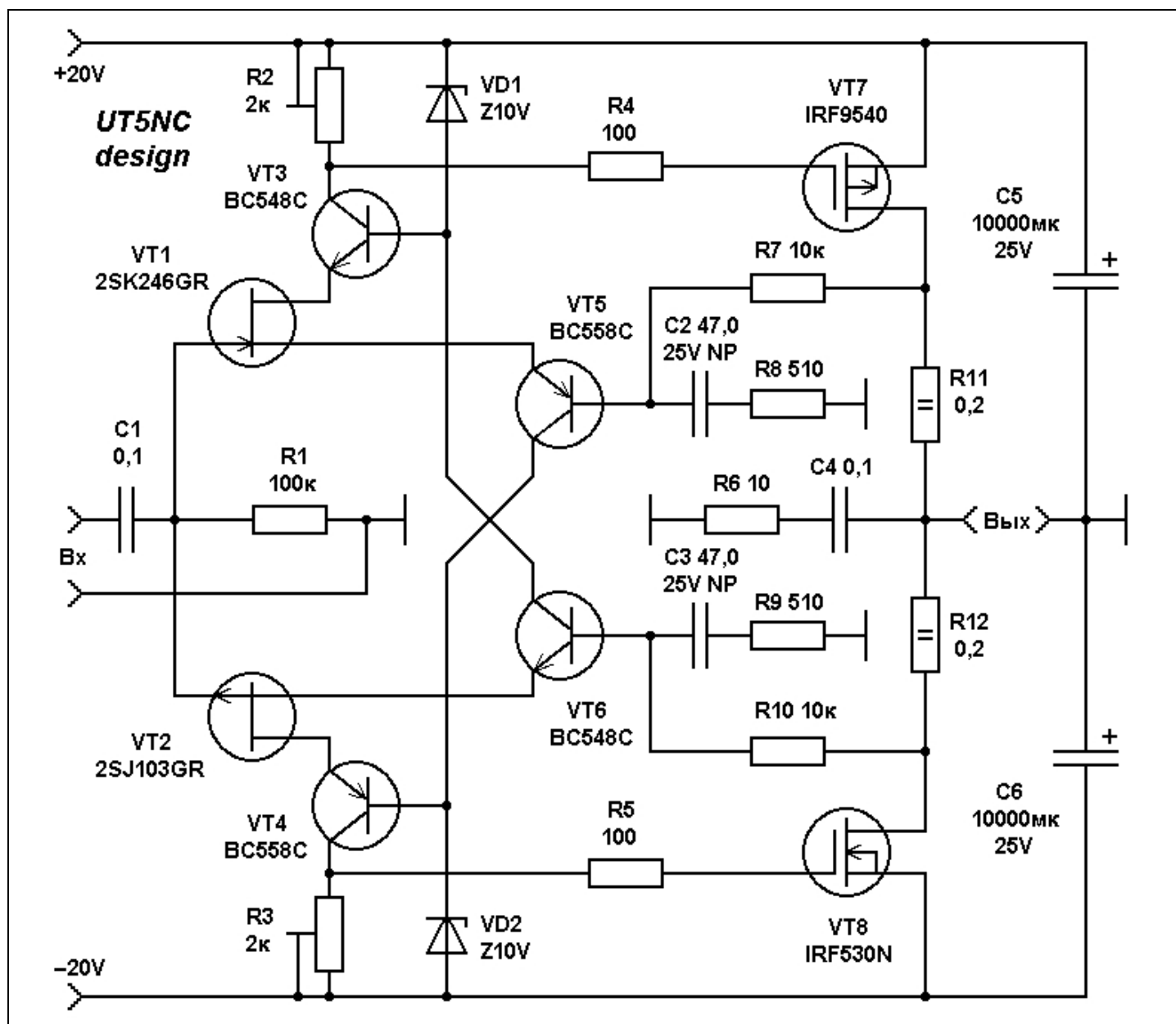
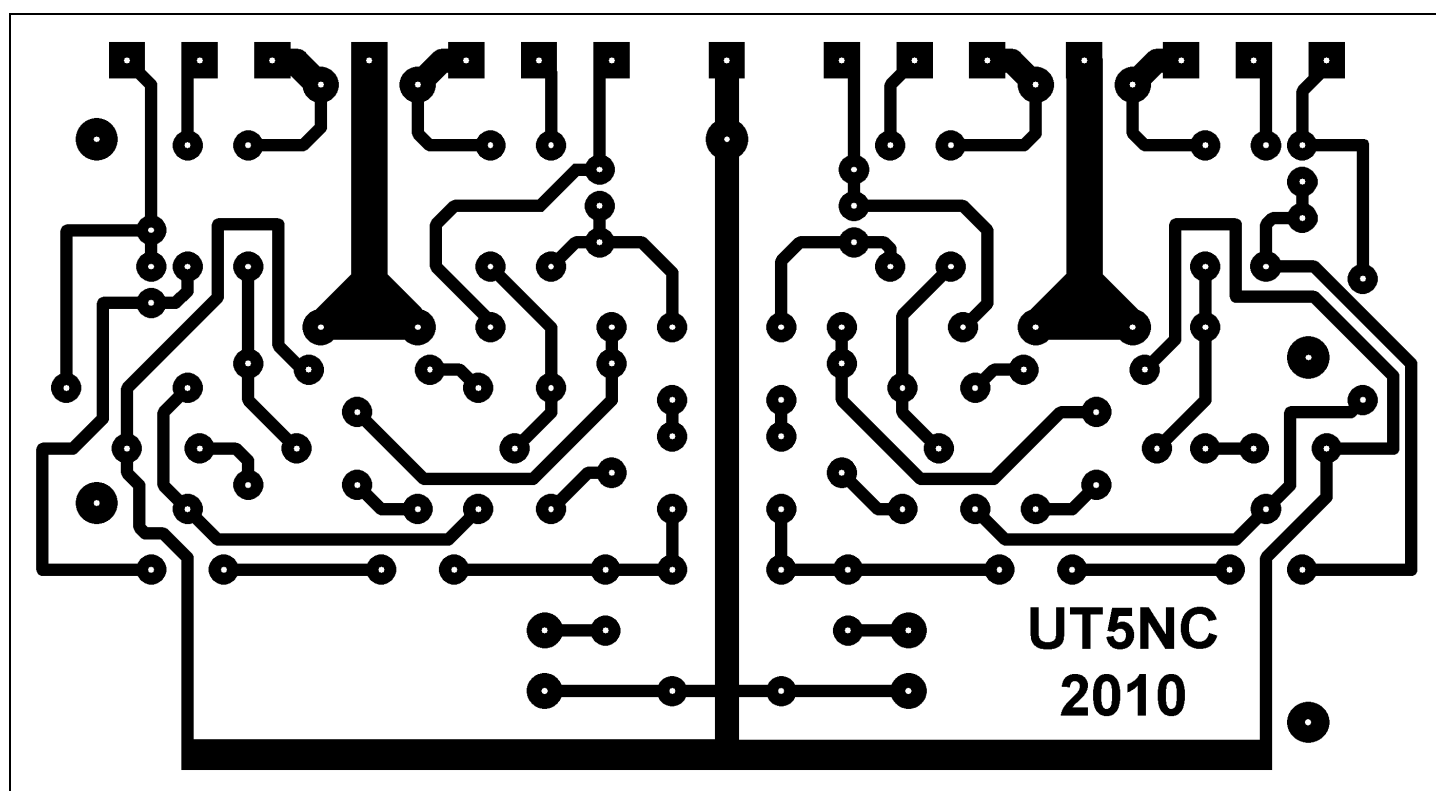


Схема усилителя работает следующим образом. Положительная полуволна входного сигнала через конденсатор C1 проходит на затвор транзистора VT1 и вызывает увеличение его тока стока, в результате чего увеличивается падение напряжения на резисторе R2, что приводит к отпиранию транзистора VT7 и появлению положительной полуволны сигнала на выходе усилителя. Через делитель напряжения на элементах R7, C2, R8, задающий коэффициент усиления всего

усилителя, и эмиттерный повторитель на транзисторе VT5 часть выходного сигнала подаётся в исток транзистора VT1, действуя как отрицательная обратная связь, компенсирующая нелинейные искажения огибающей сигнала, а снимаемое с резистора R11 постоянное напряжение стабилизирует ток покоя и среднюю точку. Усиление отрицательной полуволны входного сигнала и стабилизация параметров происходит аналогичным образом в нижней, симметричной верхней, половине схемы. Резисторы R4 и R5 вместе с входными ёмкостями транзисторов VT7 и VT8 образуют фильтры нижних частот, ограничивающие полосу пропускания усилителя и устраняющие его самовозбуждение.

Монтаж усилитель производится на печатной плате из одностороннего фольгированного стеклотекстолита размером 115 × 63 мм и толщиной 2 – 3 мм. Ниже показан рисунок печатной платы со стороны дорожек.



Налаживание усилителя сводится к установке подстроечными резисторами R2 и R3 тока покоя через выходные транзисторы, а также нулевого напряжения на выходе усилителя (средней точки). Для этого резисторы R2 и R3 устанавливают в среднее положение, выход усилителя нагружают на маломощную лампу накаливания напряжением 24В и подают напряжение питания. При этом лампа светиться не должна, что говорит о правильном монтаже и исправных деталях. Попеременно и плавно вращая оба подстроечных резистора в сторону увеличения их номинала, добиваются появления тока через транзисторы VT7 и VT8 который контролируют цифровым милливольтметром по падению напряжения на резисторе R11 или R12. Значение этого напряжения должно быть в пределах 15 – 20 mV, что соответствует току покоя 75 – 100 mA. Если средняя точка на выходе усилителя смещена в сторону плюса, её устанавливают подстроечным резистором R2, если она смещена в сторону минуса, её устанавливают подстроечным резистором R3. Снова контролируют ток покоя выходных транзисторов и при необходимости повторяют операцию ещё раз.

Усилитель сохраняет свою работоспособность при напряжении питания от ± 15 до ± 30 Вольт. Необходимо лишь применять блок питания на ток не менее 5 Ампер, стабилитроны VD1 и VD2 на напряжение равное половине питающих, конденсаторы C5 и C6 на соответствующее рабочее напряжение, а при постоянной работе усилителя на максимальную отдачу следует увеличить мощность резисторов R11 и R12 до 5 Ватт.

Входные транзисторы VT1 и VT2 должны иметь равные или близкие начальные токи стока I_{DSS} . Выходные транзисторы VT7 и VT8 необходимо подобрать с близким напряжением открывания канала $V_{GS(to)}$ которое для этого типа транзисторов может составлять от 3 до 4 Вольт. Это можно сделать непосредственно при покупке, договорившись с продавцом и применив простое самодельное или промышленное устройство. Хорошо паруются типы транзисторов, указанные на схеме, их необходимо устанавливать на радиаторы, имеющие соответствующую мощности площадь, через специальные изоляционные прокладки. Резисторы R2 и R3 многооборотные прецизионные типа СПЗ-39А, СП5-2 или подобные. Электролитические конденсаторы C2 и C3 применены неполярного типа, при использовании импульсного блока питания конденсаторы C5 и C6 следует зашунтировать безиндукционными конденсаторами ёмкостью 0,1 – 1,0 мкФ. Резисторы R11 и R12 непроволочные типа Fuse, обрывающиеся при перегрузке.

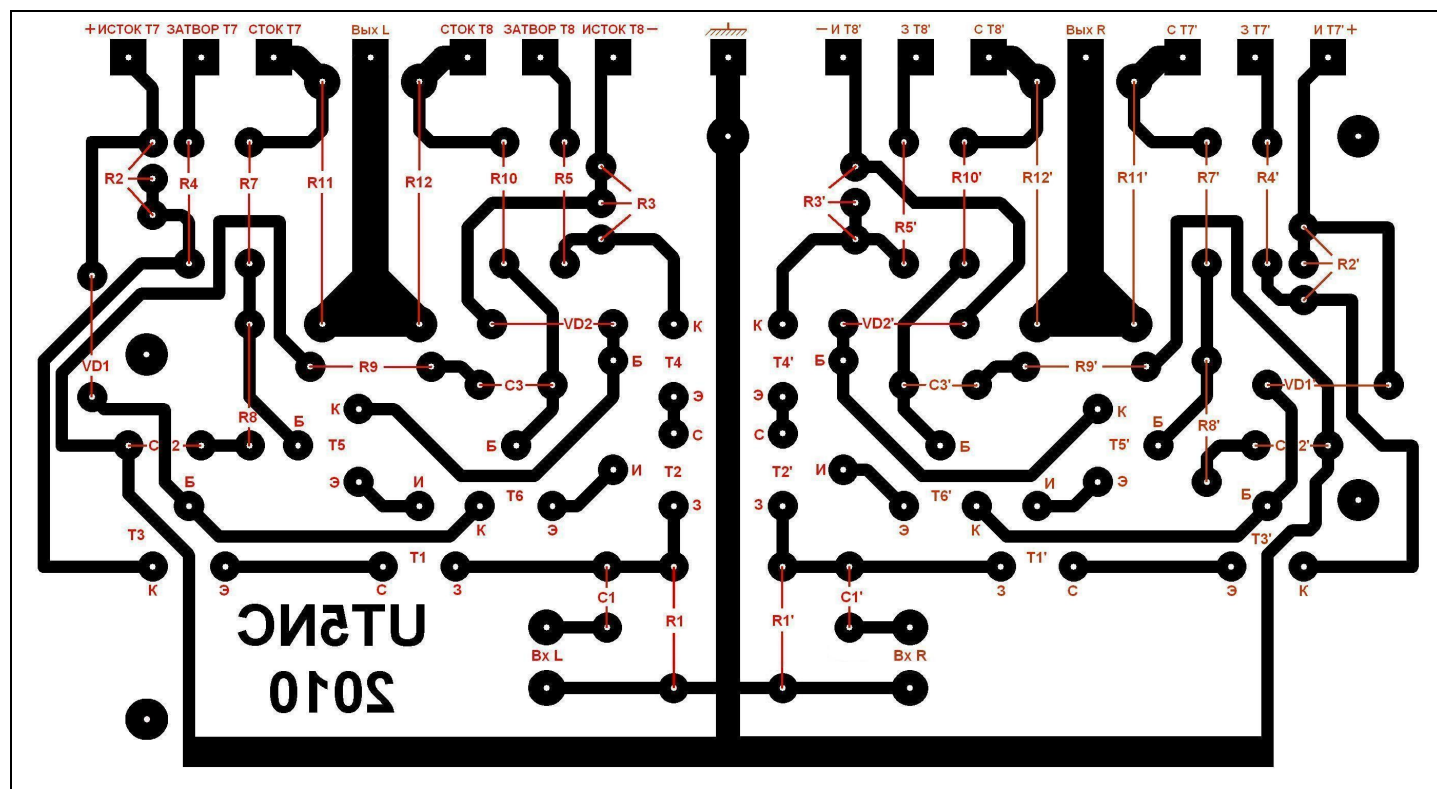
Одна из главных особенностей схемы усилителя состоит в том, что выходной сигнал, усиленный мощными транзисторами, снимается с их стоков, которые не являются управляющими электродами. Это позволило значительно снизить специфические искажения, вызываемые воздействием противо-ЭДС звуковой катушки громкоговорителя на выходные транзисторы, если сигнал снимается с их истоков или эмиттеров. Таким образом, данный усилитель по принципу работы приравнивается к ламповому, однако значительно превосходит его по экономичности, ширине полосы воспроизводимых частот, быстродействию и надёжности, не говоря уже о искажениях и затратах на комплектующие.

Важным свойством полевых транзисторов является то, что при перегреве проводимость их канала уменьшается, соответственно падает крутизна характеристики и ток стока, что автоматически защищает их от теплового пробоя. Ещё одно свойство полевых транзисторов, применённых в выходном каскаде усилителя, это их квадратичная переходная характеристика, которая способствует уменьшению нелинейных искажений при больших уровнях выходной мощности. Чем выше ток через транзисторы VT7 и VT8, тем большими становятся их крутизна характеристики и коэффициент усиления, и тем более глубокой оказывается отрицательная обратная связь.

При включении усилителя в сеть, до момента достижения половины питающего напряжения на конденсаторах C5 и C6 стабилитроны VD1 и VD2 оказываются запертыми, а вместе с ними все транзисторы, отпирание которых происходит плавно и одновременно в обеих половинах схемы, что полностью устраняет характерный для многих подобных конструкций неприятный хлопок в громкоговорителе. По этой причине усилителю не страшны аварийные выключения и включения питающего напряжения даже во время работы на полной выходной мощности.

Усилитель был испытан в работе с разными источниками сигнала, при разных температурах окружающей среды, и показал свою высокую надёжность, отличные выходные и динамические характеристики, и рекомендуется для повторения любителям высококачественного домашнего или профессионального звуковоспроизведения. Блок регулировки громкости, тембров и баланса

можно выполнить по схеме, приведённой на сайте <http://cxem.net/sound/tembrs/tembr14.php> с использованием специализированной микросхемы TDA1524A. При необходимости в схему можно добавить также усилитель микрофонного сигнала, выполненный по любой известной схеме. Расположение деталей на плате усилителя показано на рисунке ниже.



Увеличить линейность усилителя и ещё больше снизить коэффициент нелинейных искажений можно параллельным включением в каждое плечо двух выходных транзисторов и юстировкой (подгонкой номинала) одного из резисторов R8 или R9 в цепи обратной связи. Если удалить переходной конденсатор C1 схему можно превратить в мощный линейный усилитель постоянного тока для систем автоматики, телемеханики и управления.