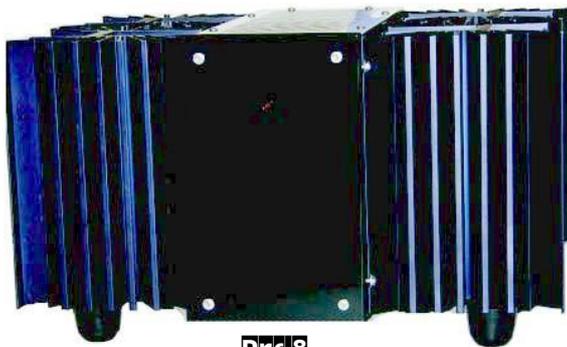


Pr. 7

резисторах R31-R42 сопротивлением 0,22 Ома). Еще одно авторское усовершенствование - **разделение мощной и слаботочной земли**: на схеме рис.5 первая изображена в виде незакрашенного, а вторая - зачерненного треугольников. С землей блока питания соединяют только мощную землю. Такая схемная условность позволяет конструктивно на печатной плате предотвратить прохождение по чувствительной к наводкам слаботочной земле импульсов тока выходных транзисторов. Еще одна условность схемы рис.5 - изображение контактов 2, 8, 3, 15 и 10 микросхемы U1 в виде обособленной контактной группы в нижнем правом углу. Схема блока питания изображена на рис.6. Здесь нестабилизированные напряжения ±50 В подаются на выходной каскад усилителя (рис.5), стабилизированные ±55 В - на ИМС U1,



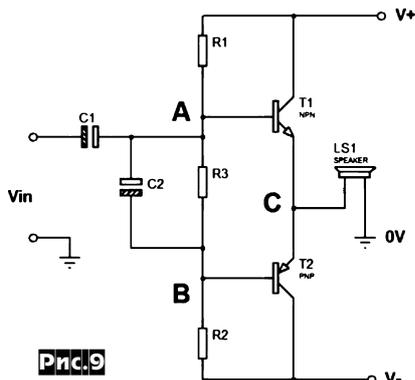
Pr. 8

а стабилизированные ±20 В - на делитель компенсации смещения нуля R44-R47 и цепочку начального приглушения R48C12ZD3R12. Транзисторы Q10-Q15, Q22-Q27 до запитывания в схему необходимо отобрать по критерию равенства напряжения затвор-исток при токе стока 420 мА (максимально допустимая разница для всех транзисторов одного усилителя не должна превышать 100 мВ). Именно после ряда таких испытаний автор неожиданно обнаружил, что более комплементарной парой для IRF520 является не IRF9520, а IRF9530. Для обеспечения нормального теплового режима ИМС U1 охлаждаются посредством радиатора Avid Thermalloy Part No. 530101B00150G (тепловое сопротивление 6,3 °C/Вт), все полевые транзисторы выходного каскада - одним общим радиатором Wakefield Extrusion No. 4618 (1,8 °C/Вт), расположенным внутри корпуса усилителя (рис.7), а биполярные транзисторы выходного каскада - четырьмя радиаторами Wakefield Part No. 489K (0,33 °C/Вт, по три транзистора на каждый радиатор), размещенными снаружи корпуса усилителя (рис.8). Номинальная выходная мощность описанного усилителя на 8-омной нагрузке составляет 100 Вт, его звучание от лампо-

вых или гибридных УМЗЧ класса А отличается только существенно лучшей динамикой («AudioXpress» №7/2011, с.5-13 \*).

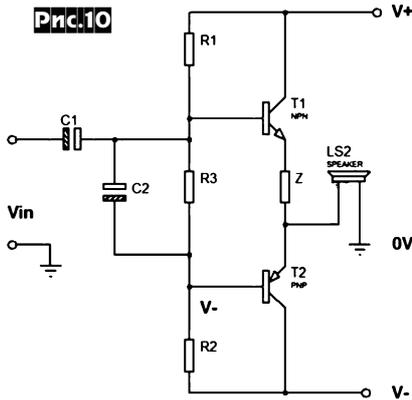
Выходные каскады класса А - самые линейные и хорошо звучащие, но имеют теоретический максимум КПД 25%, а реальный - редко превышающий 12%. Двухтактные выходные каскады класса В/АВ (рис.9) гораздо экономичнее - их теоретический

КПД 78%, а реальный - порядка 2/3, но из-за отсечки тока одного из плеч при перемене знака мгновенного выходного напряжения в них возникают т.н. «переключаемые» нелинейные искажения, портящие звук при небольшой громкости. Отсечка нерабочего в данный период плеча объясняется тем, что, например, при отрицательной полуволне звукового сигнала ток коллектора T2 увеличивается, чему соответствует увеличение напряжения на его эмиттерном переходе U<sub>BC</sub>. Но поскольку общее напряжение смещения U<sub>BA</sub> остается постоянным, то напряжение на эмиттерном пе-



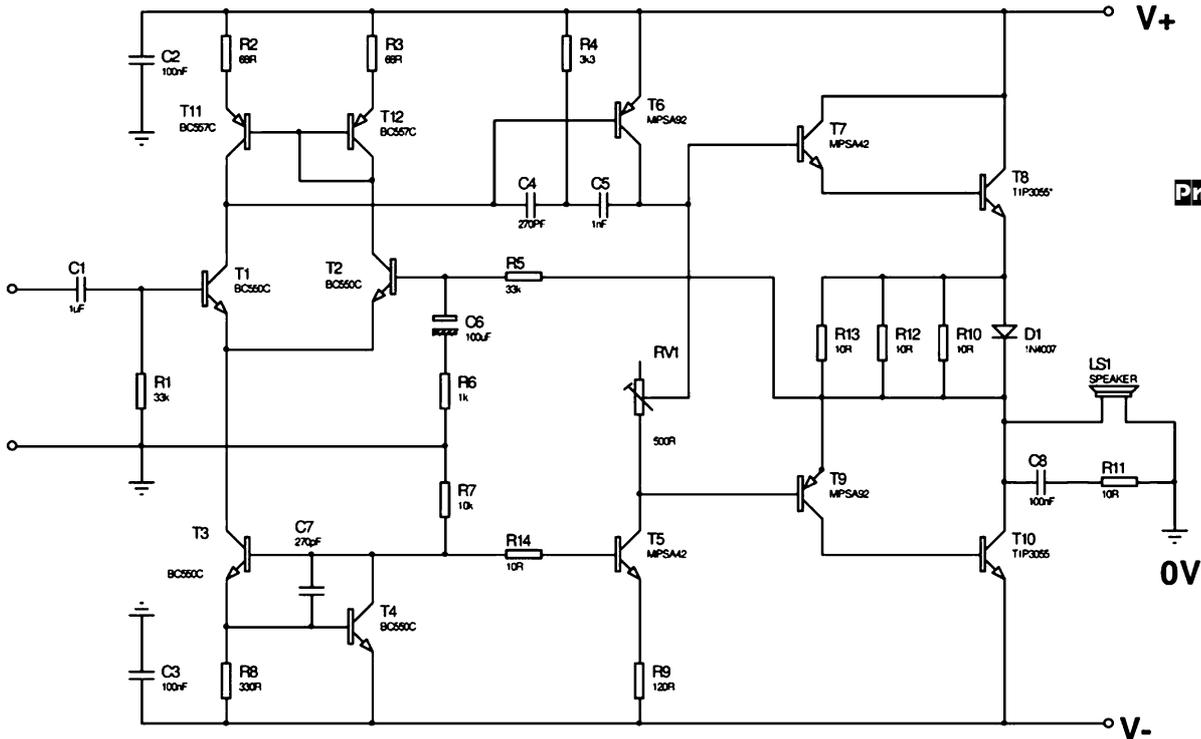
Pr. 9

**Рис.10**

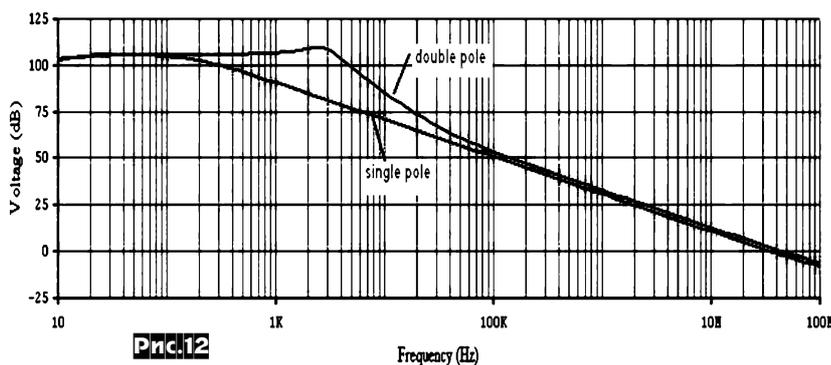


муема тока через нижний транзистор Т2, что фактически означает **работу всего каскада в режиме класса А (т.е. без отсечки тока)**, но с КПД класса АВ. Для расчета сопротивления резистора Z можно использовать тот факт, что напряжение база-эмиттер транзистора ( $U_{BE} = \phi_T \ln(I_k/I_{k0})$ ) - известная из теории полупроводников упрощенная формула Эберса-Молла, где  $\phi_T$  - температурный потенциал, равный 26 мВ при комнатной температуре) в активном режиме увеличивается на 60 мВ при каждом удешевлении тока коллектора. Если положить ток покоя транзисторов Т1 и Т2 равным, скажем, 50 мА, а максимальный ток коллектора 5 А (эквивалент мощности 100

то в режиме покоя напряжение между базами Т1 и Т2 увеличится на падение напряжения на резисторе Z, т.е. как раз на 120 мВ. А это значит, что **отсечки тока Т1 в пике нижней полуволны уже не будет**, ведь если ток через резистор Z «попробует уменьшиться», то уменьшится и падение напряжения на нем, что приведет к снижению потенциала эмиттера транзистора Т1, приоткрыванию его эмиттерного перехода и поддержанию тока коллектора на прежнем ненулевом уровне. Полная схема 100-ваттного УМЗЧ, в котором Джефф реализовал свой патентованный режим с КПД класса АВ и линейностью класса А, показана на **рис.11**. Отличие двухтактного вы-



**Рис.11**



**Рис.12**

ходе транзистора Т1  $U_{CA}$  уменьшается, запирая этот транзистор. Схемное решение **Джеффа Макалэя** можно смело отнести к категории «все гениальное - просто», не даром английское патентное ведомство выдало ему патент номер GB2374220. **Добавив** в типовую схему **рис.9** всего один **резистор Z (рис.10)**, ему удалось так асимметризовать режим ее работы, что отсечка тока коллектора верхнего по схеме транзистора Т1 наступает лишь в момент достижения макси-

Вт на нагрузке 8 Ом), то изменение тока составит 100 раз или 2 декады, т.е. изменение напряжения база-эмиттер составит 120 мВ. Именно на 120 мВ увеличится напряжение база-эмиттер Т2 в момент максимальной раскачки отрицательной полуволны, и на столько же уменьшится напряжение база-эмиттер Т1 в схеме **рис.9** - т.е. транзистор Т1 закрывается. Но **если** в схеме **рис.10** принять сопротивление резистора Z равным по закону Ома  $120 \text{ мВ} / 50 \text{ мА} = 2,4 \text{ Ома}$ ,

ходного каскада от рассмотренного на **рис.10** заключается в применении в верхнем плече составного транзистора Дарлингтона Т7Т8, а в нижнем - квазикомплементарного составного транзистора Шиклаи Т9Т10. Кроме того, с целью уменьшения падения напряжения (и рассеиваемой мощности) в положительную полуволну звукового сигнала на резисторах R10-R13 (их параллельное соединение выполняет функции резистора Z в схеме **рис.10**), они зашунтированы прямосмещенным диодом D1, который открывается при достижении напряжения на резисторах 0,7 В, но в режиме покоя и при отрицательной полуволне не нарушает описанного патентованного принципа предотвращения отсечки тока коллектора. Без диода D1 на резисторах R10-R13 в режиме максимальной мощности бесполезно рассеивались бы десятки Вт (т.к. их сопротивление соизмеримо с сопротивлением нагрузки), а с диодом мощность рассеивания не превышает 50 мВт. Входной дифференциальный каскад на транзисторах Т1, Т2 нагружен на токовое зеркало Т11Т12 и

