

Ричард Барфут обращает внимание, что в обычном резистивном усилительном каскаде с ОЭ и разделительным конденсатором (рис.5а) теоретически максимальный КПД в режиме класса А составляет всего 8,33%, а коэффициент использования напряжения питания K_i (отношение размаха выходного напряжения к напряжению питания) едва дотягивает до 67%. Простейшая и давно применяемая в радиочастотных усилителях модификация - применение индуктивности вместо резистора (рис.5б) сразу же повышает КПД до 50%, а K_i – до 200%. Ричард решил использовать это преимущество и разработал мощный УНЧ (рис.6), который при напряжении питания 12В и работе всех каскадов в режиме класса «А» обеспечивает на 8-омной нагрузке 32 Вт при потрясающе высоком реальном КПД 45%! Входной дифкаскад на Тг2, Тг6 имеет индуктивную нагрузку L1, которая здесь (кроме не имеющих решающей роли во входном каскаде КПД и K_i) хороша тем, что падение постоянного напряжения на ней близко к нулю и, следовательно, исчезают проблемы с балансировкой «нуля»: даже при резком разбалансе плеч Тг2/Тг6 постоянное напряжение между базами эмиттерных повторителей второго каскада Тг1, Тг7 равно нулю. Кроме того, индуктивная нагрузка дает гораздо больше свободы в выборе и управлении выходным постоянным напряжением этого каскада (коллектор Тг5), что дало возможность организовать на Тг8, Тг9 и Тг5 схему стабилизации тока покоя выходной ступени (принцип ее работы основан на том, что на сопротивлении обмоток реальной индуктивности L2 падает напряжение, пропорциональное току покоя Тг10, Тг11; это падение сравнивается дифкаскадом Тг8, Тг9 с опорным на делителе R13/R14 и через Тг5 возвращается на базы Тг1, Тг7, управляющих смещением Т10, Тг11 и таким образом замыкающих петлю автостабилизации). С эмиттеров Тг1 и Тг7 противофазные напряжения поступают на двухтактный выходной каскад на полевых Тг10 и Тг11, смещение на затворах обеспечивает постоянный ток стока каждого транзистора 3 А. Индуктивность L2 на звуковых частотах представляет собой генератор тока (3А), а на постоянном токе - короткое замыкание. Поэтому потенциал обеих клемм акустической системы LS и стоков Тг10, Тг11 в режиме покоя равен потенциалу «земли» - плюсовому зажиму аккумуляторной батареи В2. При наличии сигнала такой полярности, что на затвор Тг10 приходит, скажем, положительная полуволна, ток его стока повышается (допустим, на 1 А), но L2, являясь генератором тока, не допускает изменения мгновенного тока через себя, поэтому этот дополнительный 1А начинает вытекать из LS. Тг11 управляется противофазно с Т10, поэтому ток его стока в этот момент уменьшается на 1 А, и правая половина L2, также поддерживающая через себя неизменный ток 3 А, согласно закону Кирхгофа заставляет избытку в 1 А втекать в L2. То есть мгновенные токи стока $I_{cTr10} = 4A$, $I_{cTr11} = 2A$, ток через акустическую систему $I_{LS} = 1A$, а ток через левую и правую половинки L2 неизменен и равен, как и в режиме молчания, 3А. Границы линейной работы такой системы простираются от $I_{cTr10} = 6A$, $I_{cTr11} = 0A$ до $I_{cTr10} = 0A$, $I_{cTr11} = 6A$, при этом амплитуда тока в нагрузке равна $I_{н. макс} = 3A$, а максимальная мощность теоретически $P_{н} = R_{н} < I_{н. макс}^2 / 2 = 36 \text{ Вт}$ при теоретических КПД = 50% и $K_i = 400\%$. В реальной схеме из-за неидеальной индуктивности 12

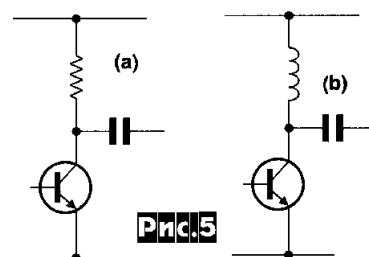
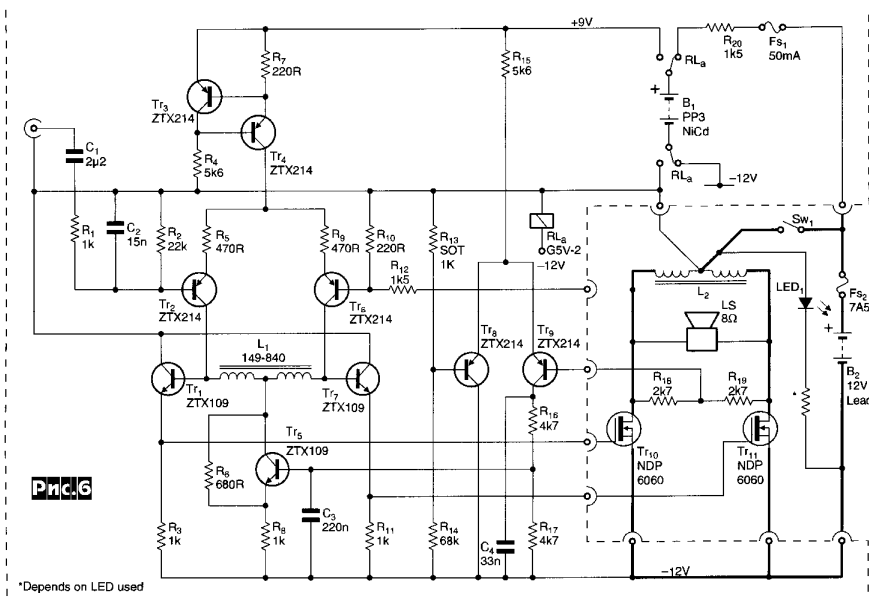


Рис.5



*Depends on LED used

избытку в 1 А втекать в L2. То есть мгновенные токи стока $I_{cTr10} = 4A$, $I_{cTr11} = 2A$, ток через акустическую систему $I_{LS} = 1A$, а ток через левую и правую половинки L2 неизменен и равен, как и в режиме молчания, 3А. Границы линейной работы такой системы простираются от $I_{cTr10} = 6A$, $I_{cTr11} = 0A$ до $I_{cTr10} = 0A$, $I_{cTr11} = 6A$, при этом амплитуда тока в нагрузке равна $I_{н. макс} = 3A$, а максимальная мощность теоретически $P_{н} = R_{н} < I_{н. макс}^2 / 2 = 36 \text{ Вт}$ при теоретических КПД = 50% и $K_i = 400\%$. В реальной схеме из-за неидеальной индуктивности 12

достигнуты $P_n=32\text{Вт}$, $\text{КПД}=45\%$ и $\text{Ки}=377\%$. Интересно отметить, что благодаря индуктивности L_2 и двухтактной схеме размах мгновенного напряжения на нагрузке достигает 48В при 12-вольтовом питании без применения повышающих преобразователей напряжения. В качестве L_2 необходимо использовать катушку, способную пропускать ток 3 А, индуктивностью не меньше $L_2 > R_n / (2 \pi F_n)$, где F_n - нижняя граничная частота, R_n - сопротивление нагрузки. Типовым $F_n = 40$ Гц и $R_n = 8$ Ом соответствует $L_2 > 32$ мГн. Автор применил в качестве 1-2 вторичную обмотку (2х15 вольт) 50-ваттного сетевого трансформатора, первичную оставив «в воздухе». В качестве L_1 применена первичная обмотка выходного трансформатора Farnell 189-840 от маломощного двухтактного транзисторного УНЧ. Входное сопротивление усилителя 15 кОм, чувствительность 750 мВ, потребляемый ток 6 А. Измерение коэффициента гармоник не проводилось, однако звучание усилителя соответствует лучшим ламповым, что объясняется как наличием на его выходе индуктивности L_2 , эквивалентной по своей сути выходному трансформатору, так и близостью характеристик полевых транзисторов и ламп. Во всяком случае свойственное ему «мягкое» ограничение при перегрузке точь-в-точь такое же, как и у ламповых УНЧ («Electronics World + Wireless World» № 11/99, с.934-936).