



Підсилювач для головних телефонів

Євген Карпов

Твердотільний підсилювач із трансформаторним
виходом без загального ЗЗ (зворотнього зв'язку)

Представлений підсилювач схемотехнічно досить відрізняється від типових реалізацій такого роду пристроїв. Підсилювач зібраний на дискретних компонентах і має дуже короткий звуковий тракт, фактично він містить два каскади (три активні елементи безпосередньо в тракті). У підсилювача відсутня загальна ЗЗ, і хороші технічні параметри отримані за рахунок параметричної лінеаризації та застосування місцевих ЗЗ.

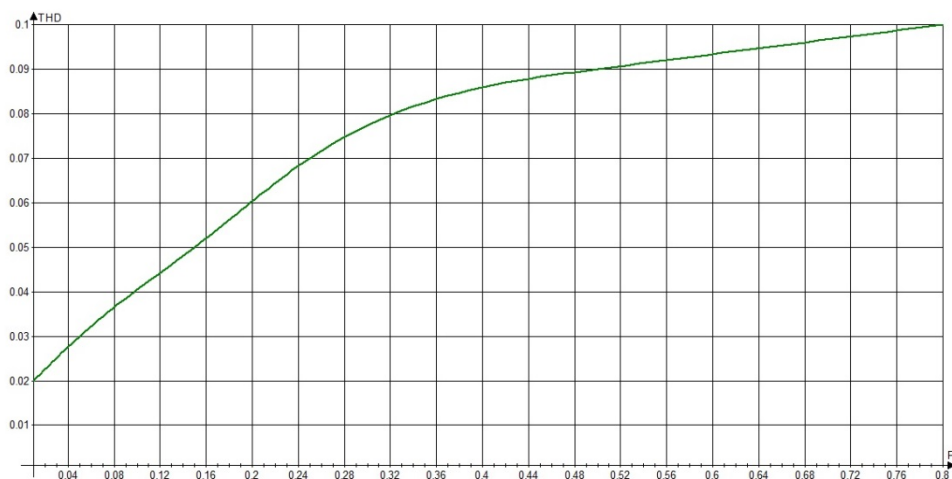
Для оптимального узгодження з різними навантаженнями у підсилювачі використовується автотрансформатор. Достатньо велика вихідна потужність – 0.8W, дозволяє йому успішно працювати практично з будь-якими головними телефонами. Наявність виходу 8 Ohm дає можливість роботи і на чутливу широкосмугову акустику. Можна сказати, що сам підхід при проектуванні підсилювача та застосовані рішення більш характерні для лампової схемотехніки, але перенесеної на твердотільну елементну базу.

Якщо говорити про суб'єктивну оцінку, то можна з упевненістю сказати, що він звучить відчутно краще за портативні пристрої з підсилювачами, працюючими в класі «D». Якщо порівнювати з хорошими ламповими підсилювачами, то «краще – гірше» тут напевно не може бути застосовано, звук інший, але збалансованістю і роздільною здатністю він їм не поступається. Та й результат суб'єктивної оцінки дуже залежить від головних телефонів.

Підсилювач має такі параметри:

Номінальна вихідна потужність	0.8W
Чутливість	0.7Vrms
Діапазон навантажень	8-600 (8,32,150,600) Ohm
Потужна смуга (залежить від обраного номінального навантаження)	5Hz-80(40)kHz
Коефіцієнт гармонік (не більше)	0.11%
Рівень шуму на виході	120 μ V
Вхід	RCA, mini-jack
Споживана потужність	30W
Напруга живлення	205÷250V 50, 60Hz

На виході підсилювача присутні лише друга та третя гармоніки, що швидко спадають при зменшенні вихідної потужності (Мал. 1).



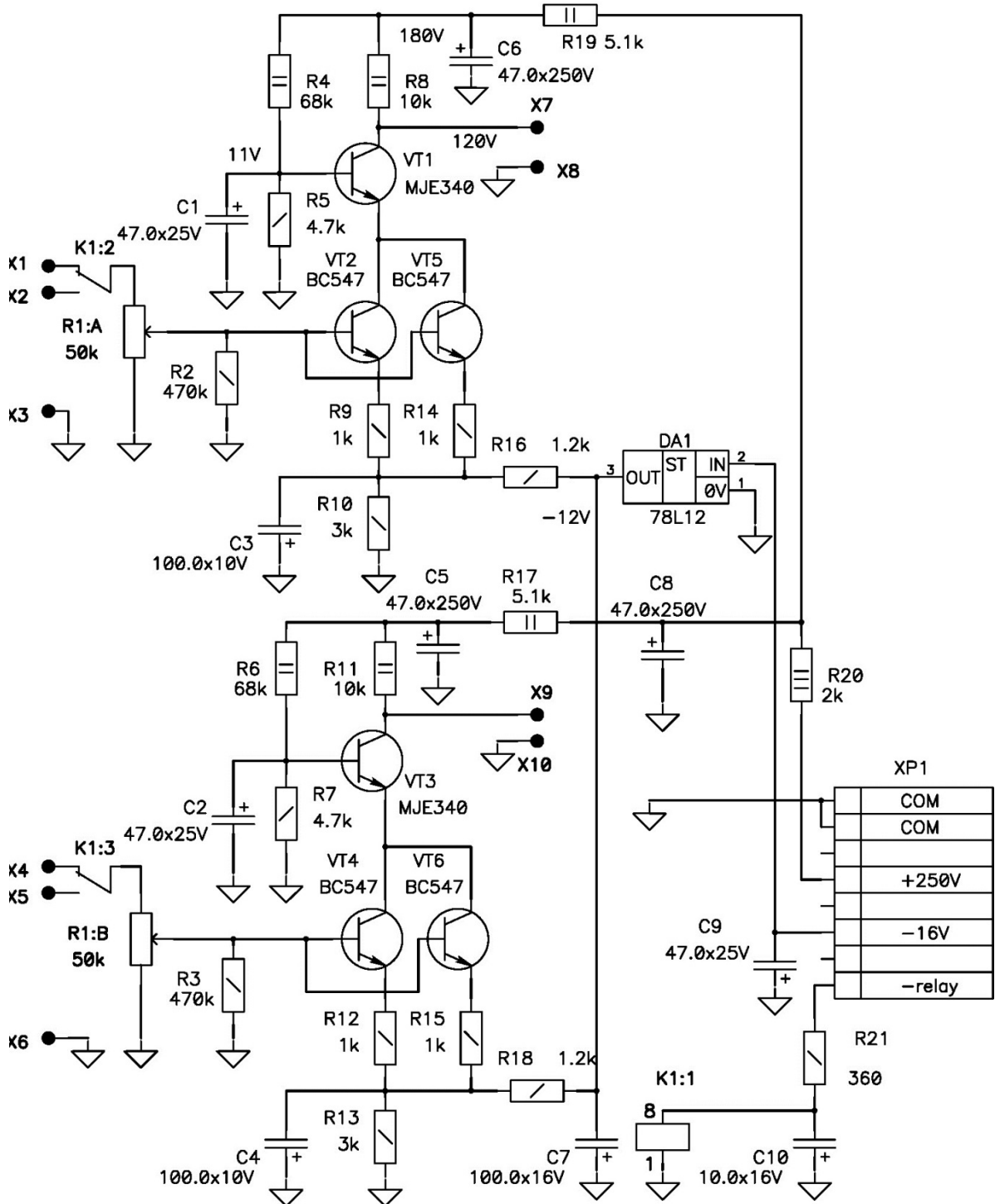
Малюнок 1

Схема підсилювача

Власне сам підсилювач має три основні вузли: драйвер, вихідний каскад та систему живлення. І в принципі вони можуть бути використані спільно або окремо.

Драйвер.

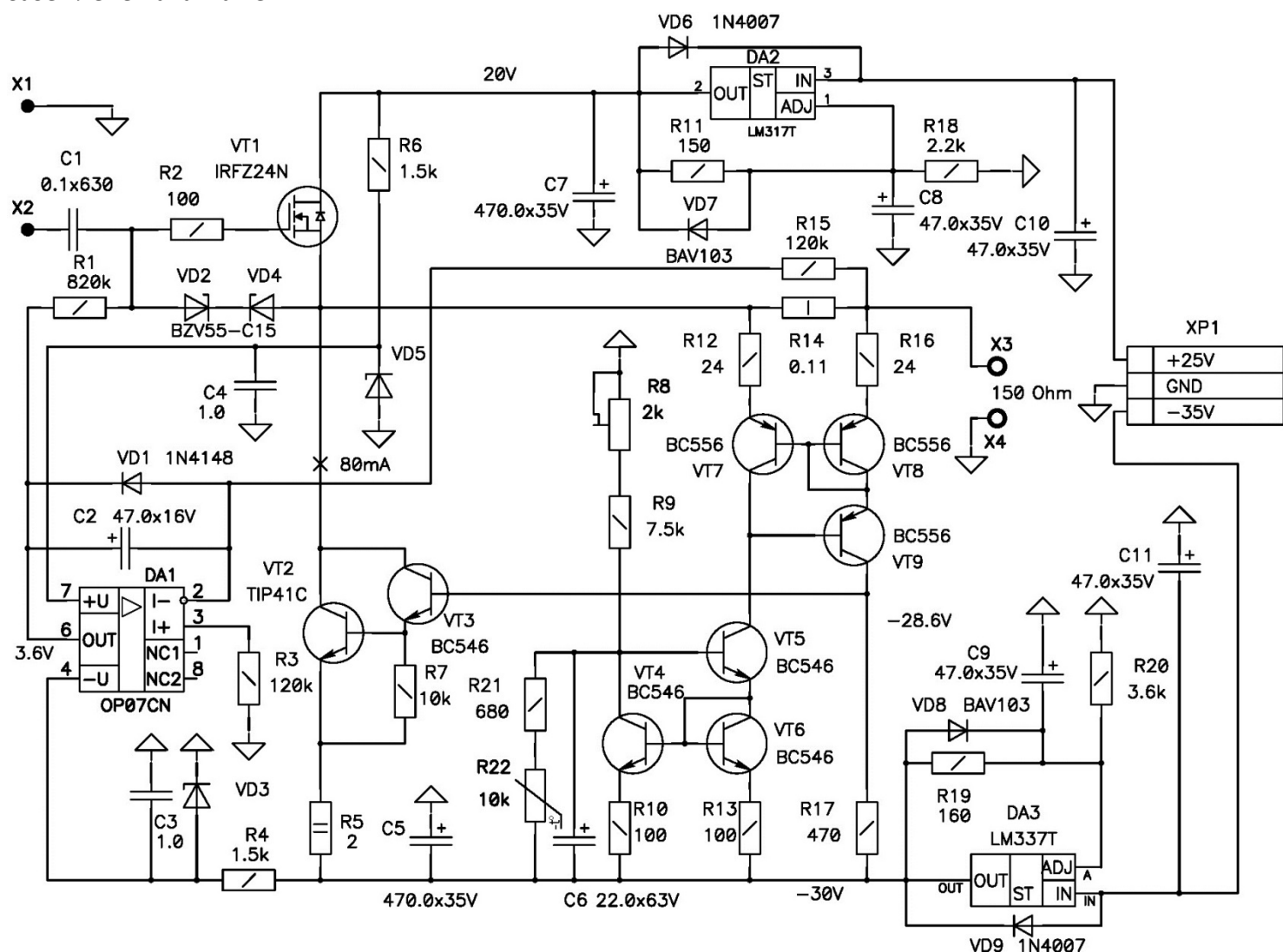
Досить невелика вхідна ємність вихідного каскаду ($\approx 50\text{pF}$) дозволила застосувати незвичайне рішення (Мал. 2). Як драйвер використовується каскодний підсилювач з глибоким місцевим ЗЗ. Посилення каскаду без ЗЗ досягає декількох тисяч на середніх частотах, введення місцевого ЗЗ через резистори R9, R14 (R12, R15) зменшує посилення до 20. Фактично коефіцієнт посилення каскаду визначається відношенням резистора в колекторі верхнього транзистора до еквівалентного опору резистора ЗЗ. Це дозволило отримати високу лінійність та малу чутливість схеми до параметрів транзисторів.



Хоча ємність навантаження драйвера і незначна, струм спокою драйвера повинен бути досить великим (6mA), що вступає в суперечність з бажанням мінімізації рівня шумів. Частково ця проблема вирішується паралельним включенням вхідних транзисторів. Рівень власних шумів каскаду не перевищує 30μV. Смуга підсилювача починає від одиниць герц і закінчується на 200 кілогерцях при ємнісному навантаженні близько 60pF. Щоб отримати великий розмах вихідного сигналу з малими спотвореннями та забезпечити потрібні режими з постійного струму, драйвер живиться високою напругою. Власне, режим постійного струму задається негативним зсувом на резисторі R10 (R13) від допоміжного джерела (DA1). Шуми стабілізатора ефективно пригнічуються фільтром, утвореним елементами R16 (R18), C3 (C4). Комусь таке рішення може здатися надмірно складним, але воно дозволяє позбавитися однієї ємності в ланцюгу сигналу.

Вихідний каскад.

Він реалізований як істоковий повторювач з параметричною стабілізацією робочої точки (Мал. 3). Хочу звернути увагу читачів, що місцевий ЗЗ, властивий істоковому повторювачу, – це одна сутність, а стабілізація робочої точки – друга сутність, і вона не є класичним ЗЗ, де безпосередньо взаємодіють вхідні та вихідні сигнали [1]. Основна відмінність каскаду від описаних попередніх версій – можливість роботи на заземлене навантаження.



Малюнок 3

Дуже низькочастотний ЗЗ на ОП DA1 забезпечує утримання нуля на виході каскаду. Інформація про струм навантаження знімається з датчика струму R14 та посилюється транскондуктансним підсилювачем на транзисторах VT2÷VT9. Терморезистор R22 з негативним ТКО (температурним коефіцієнтом опору) стабілізує струм спокою каскаду за зміни температури вихідного транзистора. Струм спокою вихідного каскаду задається резистором R8.

Для зменшення взаємного впливу каналів кожен вихідний каскад має власні стабілізатори – DA2, DA3. Номінальне навантаження каскаду 150 Ом. Каскад безпосередньо навантажений на узгоджуючий автотрансформатор, який і визначає його частотну характеристику. Узгоджуючий автотрансформатор українського виробництва типу [ТВ3 ТУ8-600](#) (з дуже непоганими параметрами). Каскад чудово працює і без трансформатора на виході, і добре масштабується за вихідною потужністю.

Конструктивно вихідний каскад реалізовано як функціонально закінчений модуль. Транзистори VT1, VT2 повинні бути на одному радіаторі, і з цим радіатором необхідно забезпечити хороший тепловий контакт терморезистора. Підключати потужні транзистори та мікросхеми стабілізаторів проводами у край не бажано.

Система живлення

В підсилювачі був використаний централізований лінійний стабілізатор з регулюючим елементом на первинній стороні силового трансформатора [2]. Плюс такого підходу – гарне придушення шумів мережі та можливість знизити до мінімуму втрати у стабілізаторах вихідних каскадів. Мінус – досить висока складність та необхідність використовувати не стандартний силовий трансформатор. В принципі, саме таке рішення зовсім не обов'язкове, все можна реалізувати простіше без істотних втрат. Тому я не наводитиму схеми, а зупинюся на необхідних параметрах напруги на виходах каналів.

Напруги на виході каналу живлення вихідних каскадів вибираються виходячи із закладеної нестабільності мережі, і, у гіршому випадку, має перевищувати вихідну напругу стабілізаторів на 2-3 вольти. Допустимий рівень пульсацій - $200\div 300\text{mV}$. Сумарний струм споживання вихідних каскадів близько 200mA. Звичайно, в цьому випадку потрібно збільшити площу радіаторів мікросхем стабілізаторів.

Високу напругу живлення драйвера необхідно стабілізувати. Так як струм споживання драйвера маленький (близько 17mA) і постійний, можна обійтися звичайним параметричним стабілізатором на стабілітроні. Основна вимога – мінімальний рівень шумів та пульсації на рівні $200\div 300\mu\text{V}$. У підсилювачі був використаний багатоланковий RC фільтр, друга та третя ланка фільтра розміщені безпосередньо на платі драйвера.

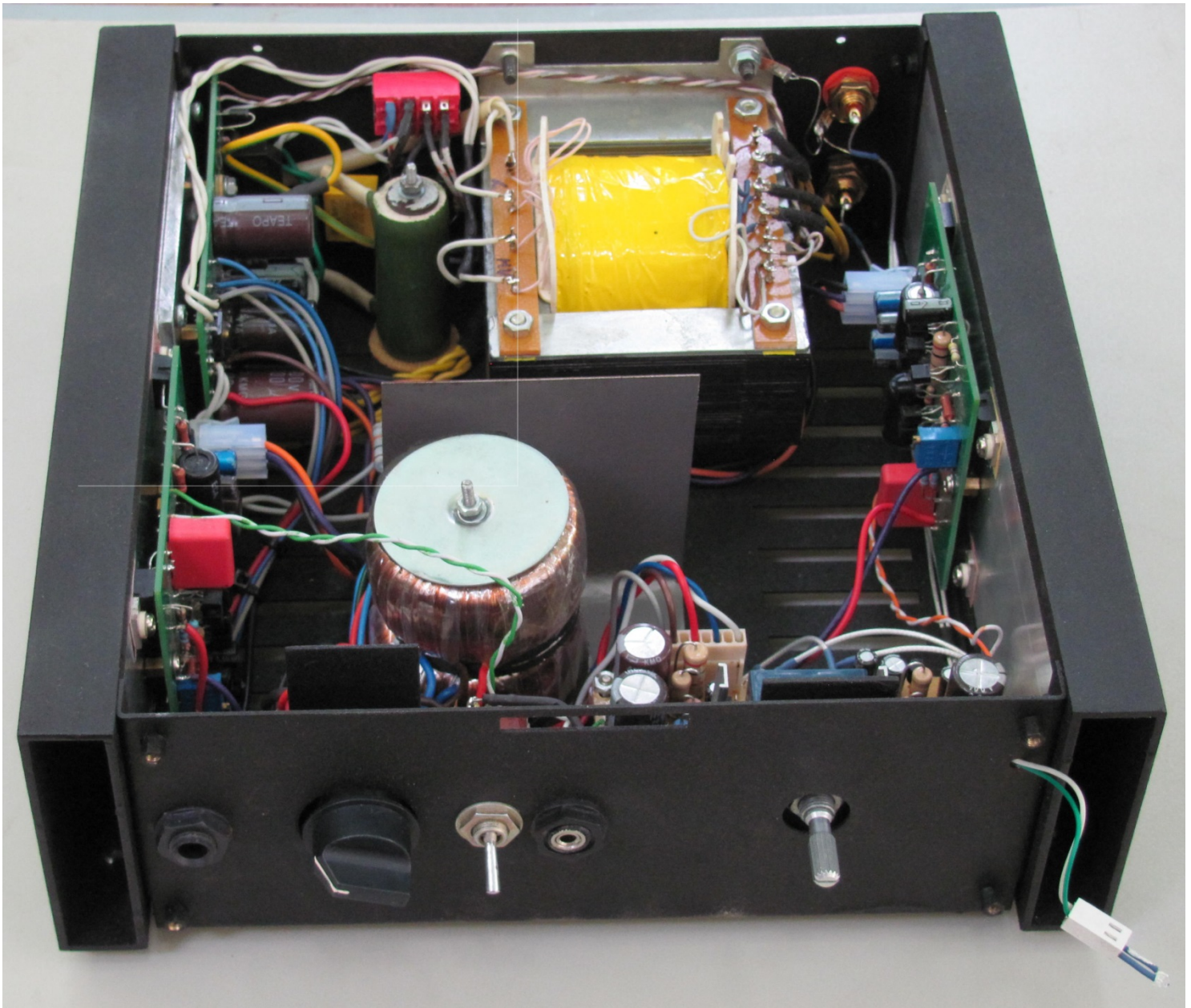
До параметрів допоміжної напруги особливих вимог немає. Так само треба врахувати нестабільність мережі для нормальної роботи 12-вольтового стабілізатора і забезпечити рівень пульсацій порядку 50mV. Цим каналом максимальний споживаний струм близько 30mA.

Прототип

Для більш ґрунтовної перевірки звукових властивостей і виявлення прихованих проблем був реалізований прототип підсилювача (Мал. 4).

Така конструкція корпусу не є обов'язковою, але при виготовленні чи виборі корпусу треба врахувати кілька важливих моментів. В першу чергу, треба подбати про максимальне рознесення в просторі силового і вихідних трансформаторів, або подумати про їхнє хороше магнітне екранування. Також слід забезпечити достатнє охолодження вихідних каскадів. Сумарно потужність, що розсіюється, на силових транзисторах вихідного каскаду близько 5W. Якщо система живлення реалізована без первинного стабілізатора, то треба врахувати і потужність, що виділяється на стабілізаторах вихідного каскаду при максимальній напрузі мережі (струм споживання кожного вихідного каскаду близько 90mA).

У прототипі охолоджувачами (Мал. 4) служать бокові стінки корпусу, виготовлені з прямокутної товстостінної алюмінієвої труби. Габарити корпусу – 240x240x80 мм



Малюнок 4

Література

1. [Е.В. Карпов, Гибридный мир \(стр.12\); 2003г.](#)
2. [Е.В. Карпов, Стабилизированный источник питания лампового усилителя; 2006г.](#)

Опублікований у статті матеріал призначений виключно для особистого некомерційного використання. Для комерційного використання та отримання всієї необхідної інформації для повторення підсилувача – зв'яжіться з автором.