

EL34 (6П27С) PP

<http://www.ne.jp/asahi/evo/amp/EL34ppV1/page1.htm>

Супертріодне з'єднання 25Вт + 25Вт у двотактному підсилювачі на EL34. З'єднання супертріода за версією 1, де всі каскади мають зв'язок за постійним струмом. Гібридний підсилювач на напівпровідниках та електронних лампах. Низький рівень шуму з коефіцієнтом $S_n = -109\text{дБ(А)}$. Стабільна робота завдяки схемі придушення дрейфу джерела живлення. Застосований трансформатор із сердечником типу R-core для високоякісного звуку. Усунення не балансового струму у вихідному трансформаторі за допомогою сервоприводу балансування постійного струму вихідних ламп. Раніше я зробив двотактний підсилювач із супертріодним з'єднанням, використовуючи EL34 із супертріодним з'єднанням версії 5, але в той час було важко стабілізувати робочу точку постійного струму, тому всі каскади були розв'язані по постійному струму. Я відмовився від безпосереднього зв'язку і використовував зв'язок за змінним струмом, використовуючи розподільні конденсатори. Однак у світі лампових підсилювачів настало 21 століття, і нові розробки ось-ось розпочнуться знову. Схема зміщення, що додає сигнал, що компенсує коливання напруги джерела живлення, забезпечує стабільну роботу на постійному струмі, навіть коли всі каскади пов'язані за постійним струмом. Знову використовуючи EL34, я спробував створити повнокаскадний підсилювач двотактний зі зв'язком за постійним струмом, використовуючи супертріодне з'єднання версії 1.

Схема підсилювача.

При підключенні супертріода версії 1, чим вище g_m вихідної лампи, тим нижче може бути вихідний опір. Крутизна g_m вихідної лампи збільшується в міру збільшення струму анода вихідної лампи, але оскільки існує межа потужності розсіювання анода, треба зберігати добуток напруги та струму на ньому. При використанні двотактного підсилювача максимальну вихідну потужність можна збільшити за рахунок збільшення напруги на аноді, тому у мене виникли проблеми з вибором між вищою максимальною вихідною потужністю та нижчим вихідним опором. До речі, максимальна потужність становить близько 10Вт при напрузі анода 250В, близько 20Вт при напрузі анода 300В і близько 30Вт при напрузі анода 350В. Крім того, навіть якщо наведений опір вихідного трансформатора буде в межах від 2,5кОм до 5кОм, на виході особливої різниці немає. Електролітичні конденсатори, що використовуються для живлення аноду, мають робочу напругу 250В, 350В, 400В і 500В, тому я вирішив використовувати конденсатор на 350В або 400В, встановити напругу аноду приблизно на 330В і використовувати підсилювач з максимальною вихідною потужністю близько 25Вт. Струм аноду розрахований на 70мА, що є верхньою межею значення потужності розсіювання аноду в 25Вт, але бажано зменшити струм до 50мА або менше, щоб забезпечити тривалий термін служби, якщо після прослуховування звуку в такому режимі він вас влаштує.

Вибір вакуумних ламп.

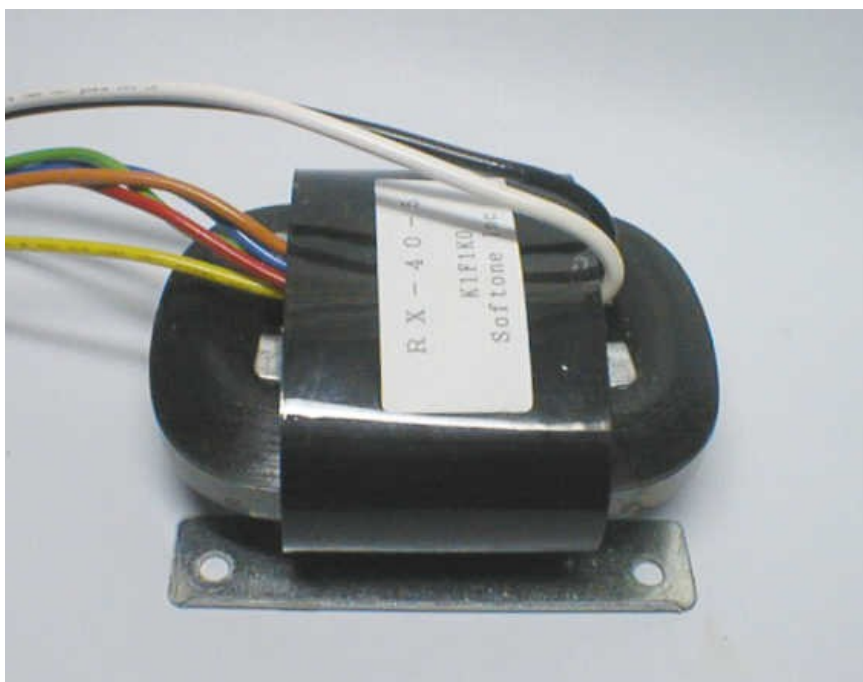
EL34 в даний час є найпопулярнішою вихідною лампою, існують нові та старі лампи від різних виробників, але вам слід вибрати лампу зі стабільними характеристиками та невеликими варіаціями параметрів. В ідеалі вони продаються парами. Причиною такого рішення стало те, що Svetlana EL34, використана для цієї конструкції, має стильну коричневу основу та красиве, дуже прозоре скло, а оскільки це сучасний продукт, проблем із придбанням їх в подальшому не виникне.

6SN7GTB - це варіант 6SN7GT зі збільшеною максимальною напругою анода з 300В до 450В і максимальною потужністю розсіювання аноду з 2,5Вт до 5Вт. Важко сказати, яка з них краща, тому єдиний спосіб зробити вибір – це випробувати їх та використовувати. Я придбав близько 10 штук від різних компаній, але, на щастя, я придбав дві штуки від RCA, оскільки вони мали відносно низький рівень шуму та гарний баланс між триодами в балоні. Шум бракованих лампочок становив близько 50мкВ, тому думаю можна досягти досить низького шуму навіть без селекції.



Вибір вихідного трансформатора.

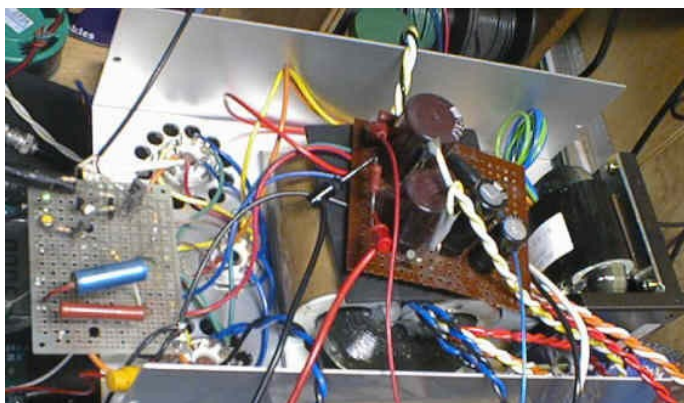
Є багато вихідних трансформаторів, які можна використовувати для вихідної потужності 25Вт, але ми вибрали Softon RX-40-5, який намотаний на сердечник R-core, за його новизну. (****Зазвичай це HiB-трансформаторна сталь, або навіть аморфне чи нанокристалеве залізо*). Один RW-20, який я раніше використовував з тим же вихідним трансформатором R-core, мав гарні характеристики, тому я прийняв цей трансформатор зі специфікацією PP, сподіваючись, що він матиме такі ж характеристики. Компактний і легкий порівняно з вихідними трансформаторами того ж класу на звичайному залізі. Щоб встановити його всередині корпусу, зніміть кришку трансформатора та встановіть його у відкритому стані, як показано на фото.



Тип	для Push-Pull
Вихідна потужність	40 Вт/40 Гц
Первинний опір	5000 Ом, з відводом UL (50%)
Вторинний опір	6 Ом
Смуга частот	від 6 Гц до 65 кГц (-1 дБ), вхід = 4 В,
Імпеданс джерела сигналу	5000 Ом
Первинна індуктивність (Гн)	290Гн (мін.), 640Гн (макс.)
Первинний допустимий постійний струм	210 мА (для 2 ламп)
Первинний допустимий незбалансований постійний струм	5 мА (рекомендовано в межах 2,5 мА)
Втрата потужності (навантаження 6 Ом)	0,33 дБ
Максимально допустима напруга між первинною та вторинною обмотками	2 кВ змінного струму
Максимально допустима напруга первинної обмотки Р-Р	1кВ змінного струму
Сердечник, тип	R50 50W
Форма	Закрита в квадратному корпусі, такі ж монтажні розміри, як у Tango FX-40
Підключення	Дроти
Габаритні розміри та вага	Ш: 83 мм, Г: 78 мм, В: 107 мм, Вага: 1,5 кг Ш: 3,27 дюйма, Г: 3,07 дюйма, В: 4,21 дюйма, Вага: 3,3 фунта.
Ціна	120 доларів США (без податку та доставки)

Основний цикл NFB.

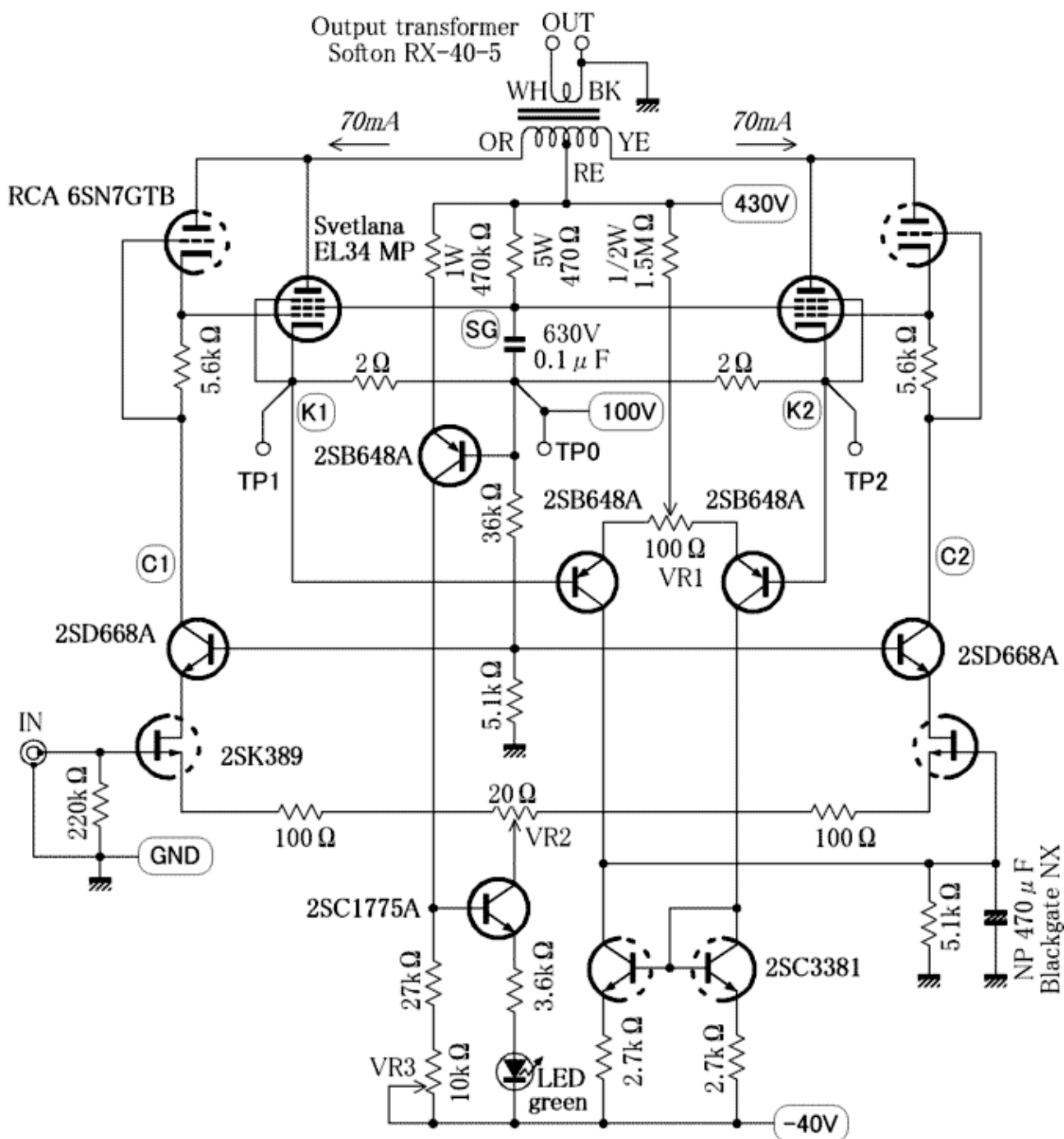
Оскільки підсилювач має значний коефіцієнт підсилення, я розглянув можливість застосування основної петлі NFB 6дБ від вторинної сторони вихідного трансформатора до першого каскаду підсилювача. NFB може знизити вихідний опір і зменшити спотворення, але цьому перешкоджають частотні характеристики вихідного трансформатора, і важко застосовувати NFB стабільно до високих частот, і ми вважаємо що це небезпечно. Навіть без основної петлі NFB вихідний опір становить близько 1Ом, тому звук не стає жорстким, і ви можете отримати комфорт прослуховування, типовий для лампового підсилювача. Крім того, на помірних за амплітудою сигналах я не можу почути спотворення, тому мені на це байдуже. Шукаю оптимальну схему розміщення. Чернетка монтажу.



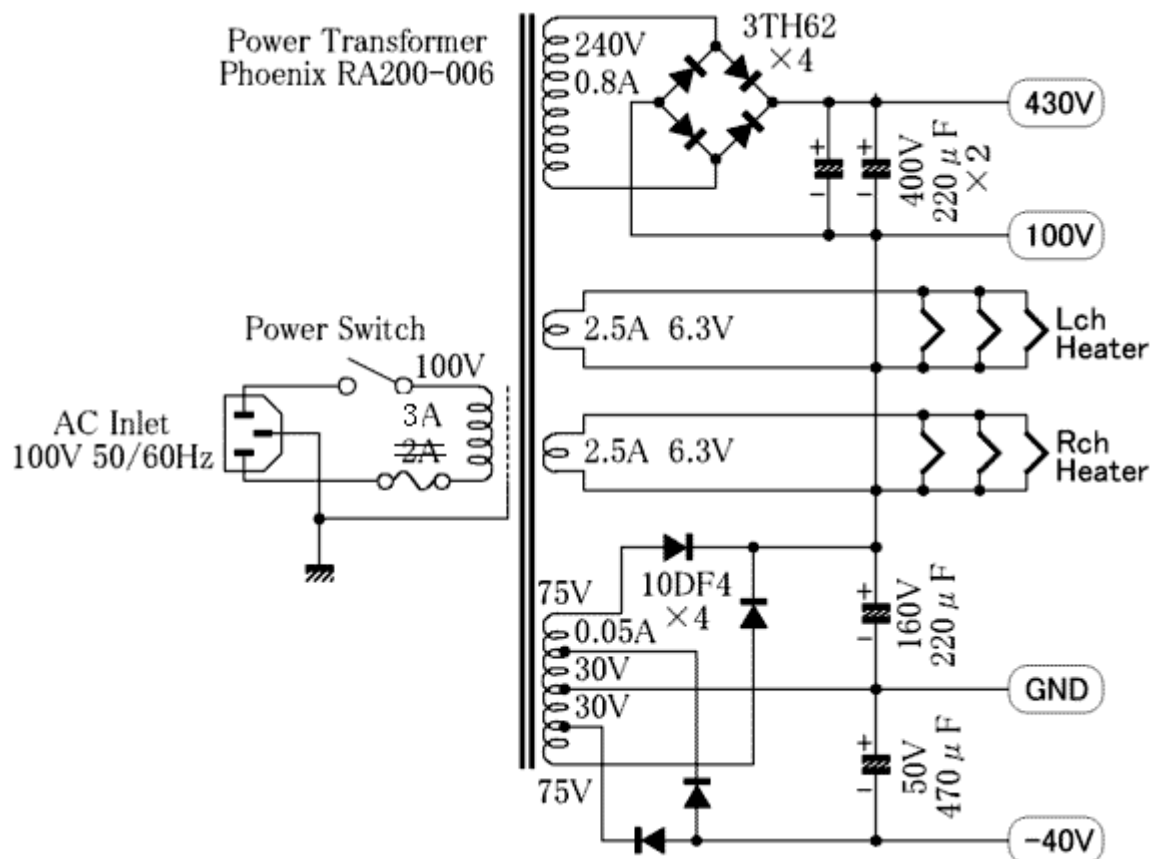
Корпус, який я використовую для експерименту, — це Takachi MB-8, який я намагався використати одного разу, але в ті часи не склалося і я використав його повторно.

Електрична схема.

Частина підсилювача.

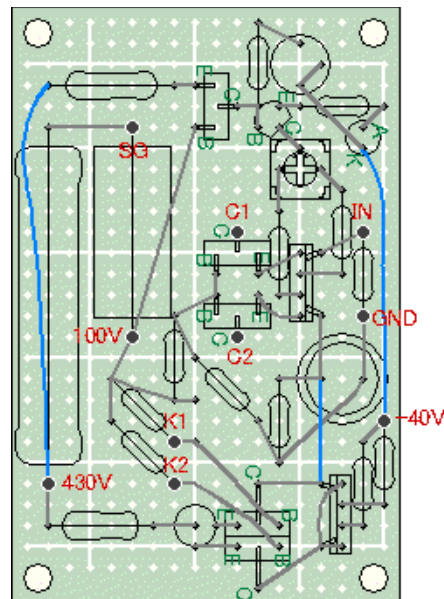
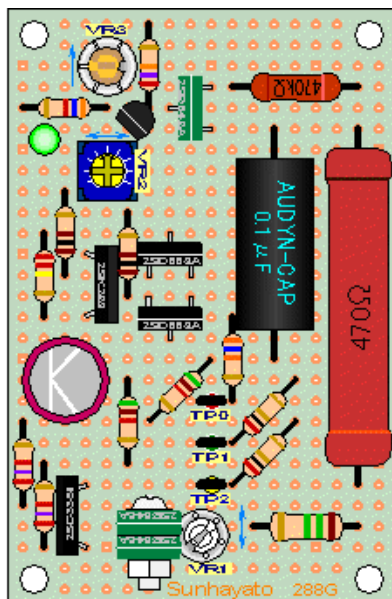


Секція живлення.

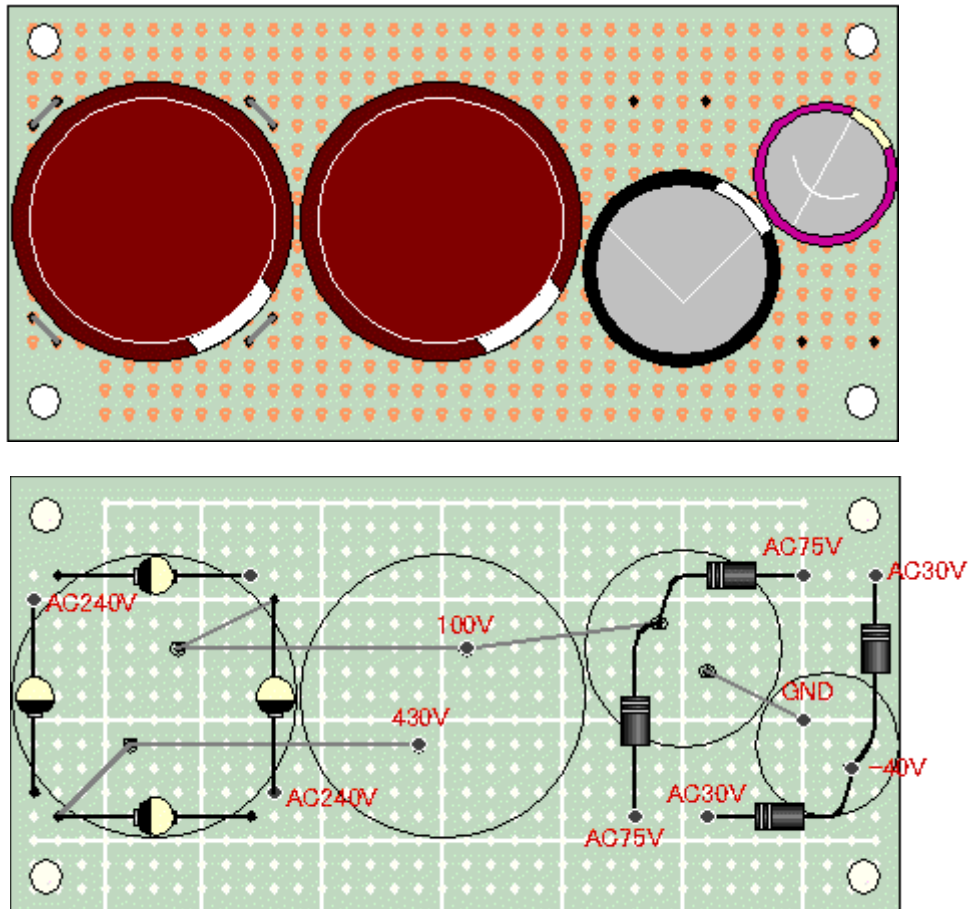


Навіть за допомогою лише одного конденсатора ємністю 220мкФ для джерела живлення фон можна зменшити до 30мкВ, але оскільки у мене було багато місця, я встановив два. Оскільки опір постійному струму силової обмотки силового трансформатора становить приблизно 10Ом, максимальний пусковий струм становить 33А, а максимальний піковий струм 3TH62 становить 60А, тому я думаю, що це нормально. (***)*Не зовсім зрозуміло, до чого тут постійний струм, а із цим і подальші розмірковування).*

Плата підсилювача.



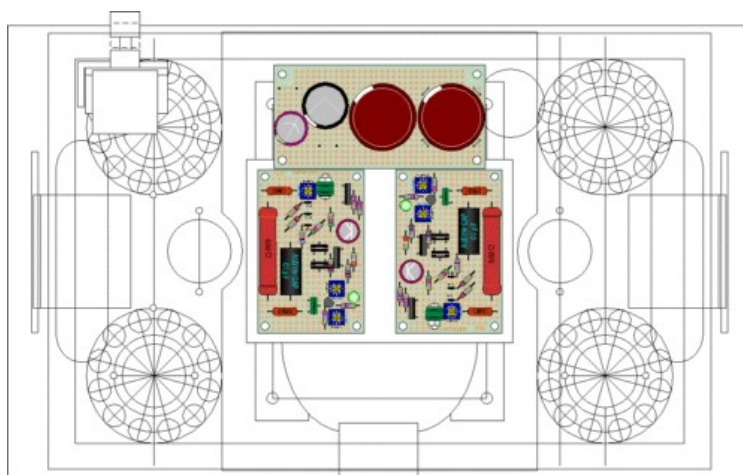
Плата блоку живлення.

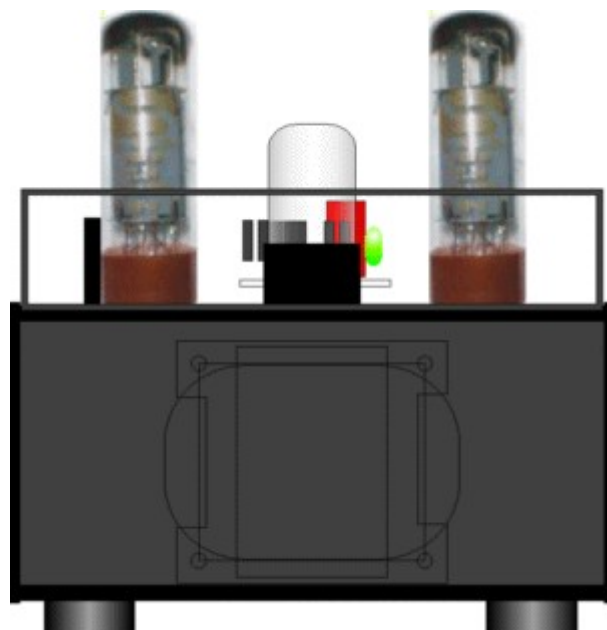
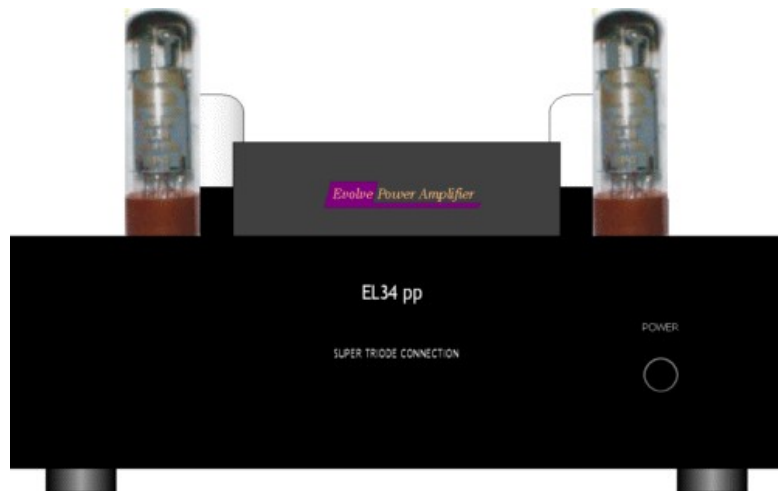


Компоненти кріпляться до поверхні малюнка з мідної фольги. Це робиться для того, щоб запобігти зниженню ізоляції через малий крок малюнків мідної фольги. Крім того, ми враховували розміщення компонентів, щоб забезпечити достатню ізоляційну відстань у зонах з високою різницею напруги. 4-й пін (підкладка) 2SK389 і 2SC3381 не потрібен, тому відріжте його від корпусу кусачками.

Випробування виготовленої плати на дослідному стенді.

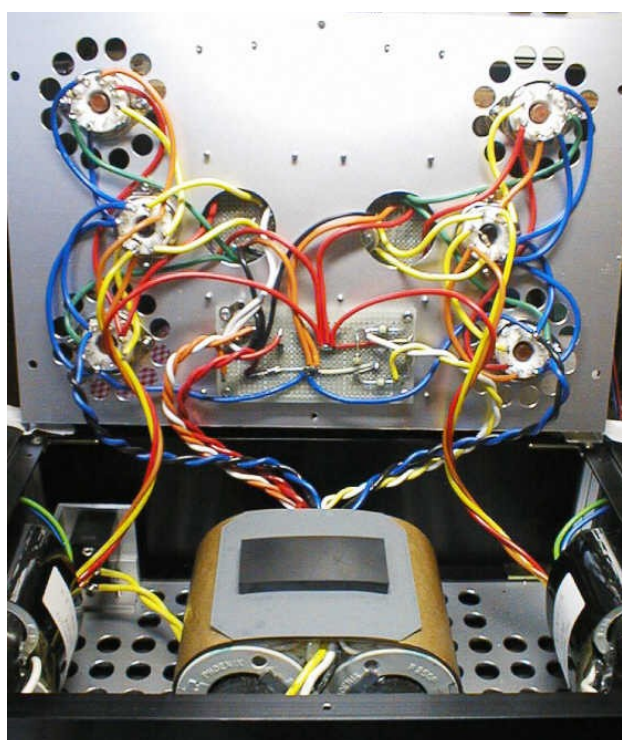
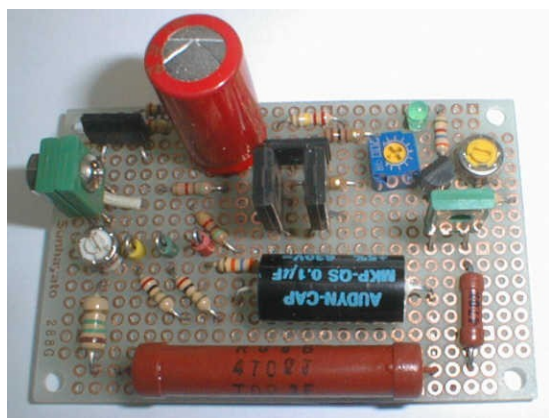
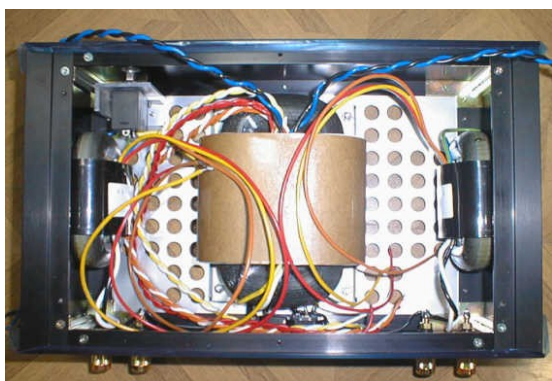
Конструкція шасі.





Ми використали корпус ОС Takachi для шасі та розташували сердечники силового трансформатора та вихідного трансформатора так, щоб їхні центральні осі збігалися, щоб зменшити вплив магнітного шуму, створюваного силовим трансформатором, на вихідний трансформатор. (****Це дивно. Повинні пересікатись*). В кріпленнях трансформаторів використовуйте прокладки із гумової пластини та сорботану. Всередині шасі було мало місця для монтажу плати, тому я поставив плати поверх шасі.

Оскільки відстань між платою та силовим трансформатором невелика, зверху на силовий трансформатор було наклеєно пластину з кремнієвої сталі, щоб забезпечити магнітне екранування. (****Сумнівно. Якщо робити екран, то суцільний.*) Чорна річ зверху - це гумова пластина, яка запобігає наближенню проводки до обмоток силового трансформатора та пригнічує шум, викликаний магнітострикційною вібрацією. При закритті верхньої панелі дроти від вихідного трансформатора необхідно добре скласти, щоб вони не наближались до силового трансформатора.



Вживані запчастини.

Назва деталі	Номер моделі	Виробник	Кількість	Ціна за одиницю, ¥	Ціна ¥	Джерело
Лампа	EL34	MP Светлана	2	4000	8000	TUBE Shokai
Лампа	6SN7GTB	RCA	2	2800	5600	Ishinolabo
FET	2SK389	BL TOSHIBA	2	130	260	Sato Electric
Транзистор	2SC3381	GR TOSHIBA	2	90	180	Sato Electric
Транзистор	2SC1775A	E HITACHI	2	25	50	Sato Electric
Транзистор	2SB648A	HITACHI	6	70	420	Sato Electric
Транзистор	2SD668A	HITACHI	4	60	240	Sato Electric
Діод	3TH62	TOSHIBA	4	250	1000	Wakamatsu Tsusho
Діод	10DF4	Японія Інтер	4	120	480	Wakamatsu Tsusho
Зелений світлодіод	TLUG163	TOSHIBA	2	40	80	Sato Electric
Резистор	5W 470Ω	Acid gold	2	55	110	Sato Electric
Резистор	1W 470kΩ	Acid gold	4	30	120	Sato Electric
Резистор	1/2W 1.5MΩ	Carbon	2	10	20	Sato Electric
Резистор	1/4W 2Ω	Carbon	4	10	40	Sato Electric
Резистор	1/4W 5.6kΩ	Carbon	4	10	40	Sato Electric
Резистор	1/4W 36kΩ	Carbon	2	10	20	Sato Electric
Резистор	1/4W 5.1kΩ	Carbon	4	10	40	Sato Electric
Резистор	1/4W 220kΩ	Carbon	2	10	20	Sato Electric
Резистор	1/4W 2.7kΩ	Carbon	4	10	40	Sato Electric
Резистор	1/4W 27kΩ	Carbon	2	10	20	Sato Electric
Резистор	1/4W 3,6kΩ	Carbon	2	10	20	Sato Electric
Резистор змінний	20Ω	CT-6P 20 Copal Electronics	2	700	1400	Ellis Shop
Резистор змінний	100Ω	металокераміка	2	240	480	Alps Radio
Резистор змінний	10kΩ	металокераміка	2	240	480	Alps Radio
Конденсатор	630V 0.1μF	МКР QS AUDYN CAP	2	450	900	Sanyo
Конденсатор неполярний	6.3V 470μF	Black Gate NX	2	1100	2200	Wakamatsu Tsusho

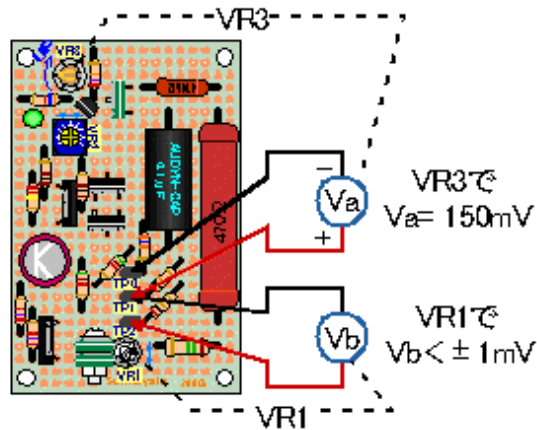
електролітичний						
Конденсатор електролітичний	400V 220 μ F		2	400	800	Fujisho Electronics
Конденсатор електролітичний	160V 220 μ F		1	360	360	Sato Electric
Конденсатор електролітичний	50V 470 μ F	ELNA ARE	1	280	280	Wakamatsu Tsusho
Вихідний трансформатор	5k Ω :S6 Ω	RX-40-5	2	9800	19600	Softon
Трансформатор силовий	RA200-006	Фенікс на замовлення	1	13400	13400	Фенікс
Ціни наведено лише для довідки, оскільки вони змінюються щодня і можуть бути недоступними.						

Налаштування.

Спочатку встановіть VR1 і VR2 в середнє положення, а VR3 в положення максимального опору. Подайте синусоїду приблизно 1кГц, 100мВ від генератора до вхідної клеми та підключіть активне навантаження 8Ом до вихідної клеми, щоб можна було спостерігати вихідну напругу за допомогою осцилографа та мілівольтметра. Підключіть вольтметр для перевірки клем TP0 і TP1 або TP2 на платі, підключіть вольтметр до TP1 і TP2 і підключіть вольтметр для контролю кожної напруги джерела живлення. Якщо є тільки один тестер, спочатку перевірте джерело живлення -40В і негайно вимкніть живлення, потім перевірте джерело живлення 100В і негайно вимкніть живлення, потім перевірте джерело живлення 430В і негайно вимкніть живлення, а потім відрегулюйте напруги TP0 і TP1 або TP2, потім відрегулюйте напругу TP1 і TP2. Якщо ви хочете бути обережними, вам слід заживити пристрій від окремого джерела живлення та за допомогою повзунка поступово збільшувати напругу, стежачи за ситуацією, але цього разу я заздалегіть протестував плату підсилювача, тому я переконався, що не було помилок в проводці. Після перевірки я відразу включив живлення. Після перевірки кожної напруги джерела живлення поступово повертайте VR3, щоб зробити напругу TP0 і TP1 або TP2 приблизно 150мВ. Розрахований струм катода становить $150\text{мВ}/20\Omega = 75\text{мА}$. Струм сітки екрана становив приблизно 9В, коли я виміряв напругу на резисторі 5 Вт 470Ом, отже $(9\text{ В}/470\Omega)/2 = 9,6\text{мА}$, отже, струм аноду становить $75\text{мА} - 9,6\text{мА} = 65,4\text{мА}$. У цей час, якщо ви бачите вихідний сигнал на осцилографі, встановіть вхідний сигнал на 0. Далі встановіть напругу TP1 і TP2 на 0 В за допомогою VR1. Незбалансований струм I_{ub} можна розрахувати як $I_{ub}=V_{ub}/4\Omega$, де V_{ub} — напруга між TP1 і TP2. Щоб зменшити I_{ub} до 1мА або менше, V_{ub} потрібно налаштувати на 4мВ або менше. Далі VR2 мінімізує наведену від мережі живлення напругу на виході підсилювача. У цей час легше налаштовувати, підключивши вихід мілівольтметра до осцилографа, використовуючи частоту мережі змінного струму як тригер і перевіривши форму сигналу. Знову відрегулюйте напругу TP1 і TP2 до 0В у VR1, а також відрегулюйте напругу TP0 і TP1 або TP2 приблизно до 150мВ за допомогою VR3. Приблизно 150мВ коливатимуться через коливання напруги джерела живлення, зміни температури в елементі, теплове розширення електродів вакуумної лампи тощо, але якщо воно буде в межах кількох відсотків, це буде в межах прийнятного діапазону, тому проблем немає. Нарешті, перевіряйте його кожні 30 хвилин протягом приблизно 2 годин. З внутрішньої сторони кришки корпусу зручно наклеїти надруковану інструкцію з налаштування, як показано нижче.

EL34 超3極管接続Ver.1
プッシュプルパワーアンプの
メンテナンス

- 1 テストポイントの電圧をチェック。
TP0-TP1 : $V_a=150\text{mV} \pm 5\text{mV}$ (無信号時)
TP1-TP2 : $V_b=\pm 1\text{mV}$ 以内 (無信号時)
- 2 テストポイントの電圧をトリマーで調整。
 $V_a \rightarrow \text{VR3}$
 $V_b \rightarrow \text{VR1}$

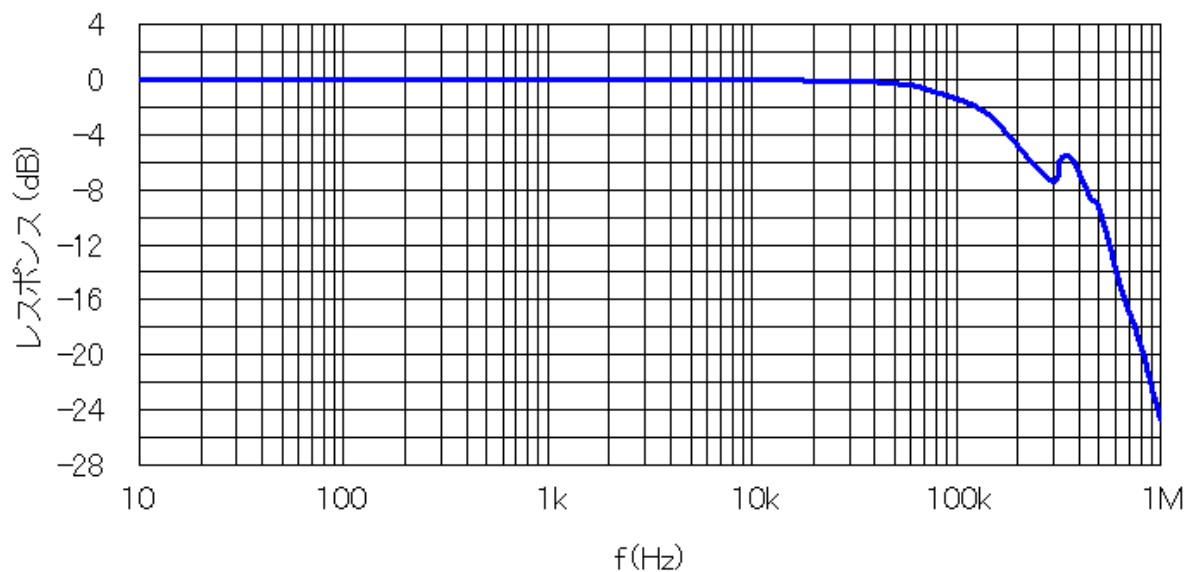


- 3 アンプ出力にミリボルトメーターをつなぎ
VR2でノイズ電圧を最小にする。

問合せ連絡先
Evolve Power Amplifiers

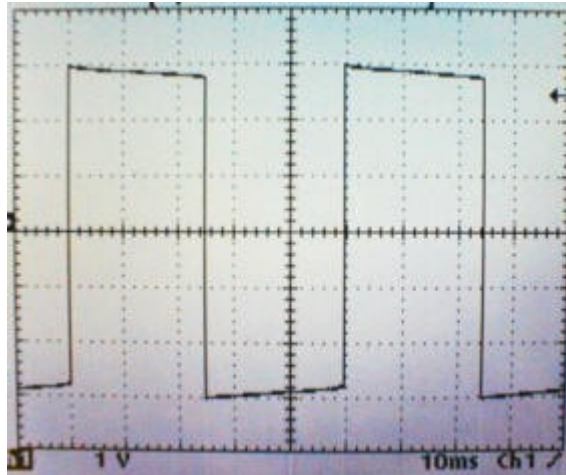
.....
<http://www.ne.jp/asahi/evo/amp/index.htm>
shinka@inett.or.jp

Частотні характеристики (0дБ=1,25Вт, 1кГц)



Існує пік близько 340кГц, що ускладнює стабільне застосування NFB основного контуру від вторинної сторони вихідного трансформатора. Частота f_H , на якій високочастотна характеристика падає до -3дБ, становить 160кГц, що свідчить про вельми широку смугу. За низькою частотою діапазон сягає 10Гц, але форма сигналу 10Гц була трохи спотворена через насичення осереддя вихідного трансформатора.

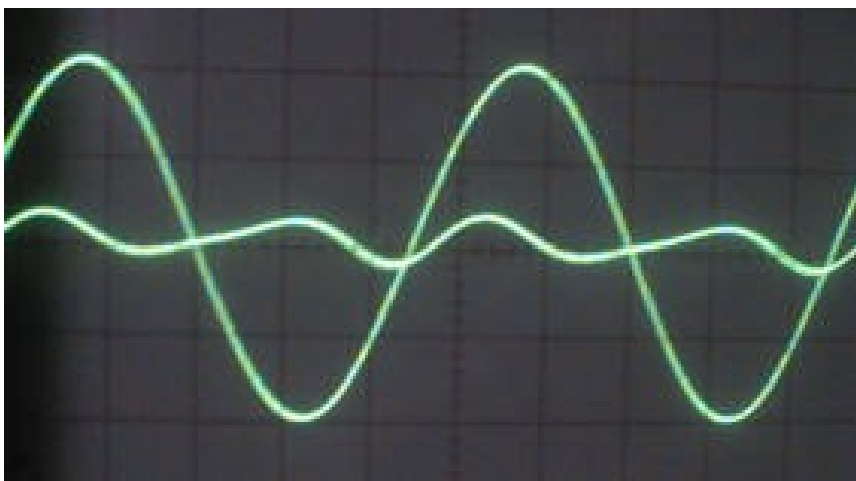
Форма прямокутної хвилі 20Гц (V:1V/DIV,H:10ms/DIV).

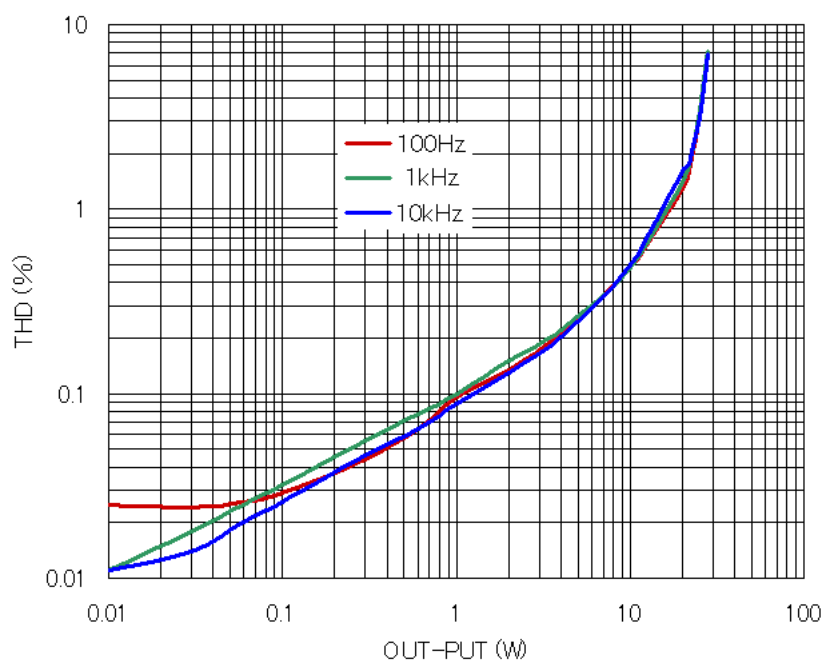


Оскільки просідання становить приблизно $0,2/3=0,067$, частота f_L , на якій низькочастотна характеристика падає до -3дБ, становить оцінно $f_L=0,39 \times 20 \times 0,067=0,52$ Гц. f_L визначається частотними характеристиками сервоприводу балансу постійного струму, встановленого для усунення незбалансованого струму у вихідному трансформаторі. Однак, оскільки вихідний трансформатор має потужність 40Вт на частоті 40Гц, пропускна здатність обернено пропорційна квадрату частоти, тому при 0,52Гц потужність становить $40\text{Вт}/5917=0,007\text{Вт}$, а максимальна вихідна потужність набагато менша.

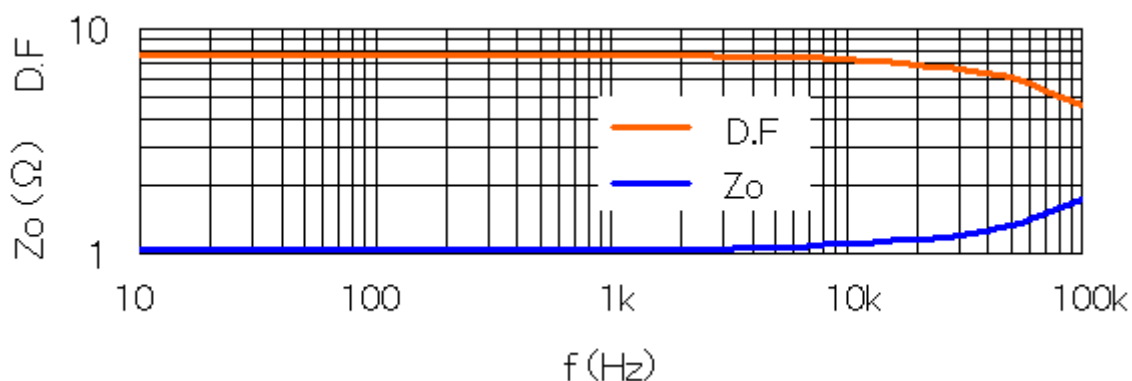
($40/0,52^2=76,92^2=5917$). Ось що таке спотворення. Спотворення як 2-го, так і 3-го порядку включені однаково. Коли ми використовували 6FQ7 (*приблизно збігається із 6H8C*) у прототипі, коефіцієнт спотворення був приблизно вдвічі менший, тому, здається, коефіцієнт спотворення значною мірою залежить від характеристик 6SN7GTB.

1кГц, 1Вт, КНС= 0,1% на виході та форма спотворення.





Коефіцієнт демпфування ($RL=8\Omega$) і вихідний опір.



Вихідний опір нижче частоти 2 кГц є постійним і становить приблизно 10Ω. Опір постійному струму між Р і Р на первинній стороні становить приблизно 128Ω, тому, якщо дивитися з боку вторинної обмотки, це приблизно 0,15Ω. Опір постійному струму на вторинній стороні вихідного трансформатора становить приблизно 0,4Ω, тому якщо вихідний опір дорівнює 10Ω, решта 0,45Ω. При перетворенні на первинний імпеданс це 375Ω, що є еквівалентним внутрішнім опором двох вихідних ламп + втрати на передачі вихідного трансформатора, тому еквівалентний внутрішній опір однієї вихідної лампи вважається 187,5Ω або менше.

Співвідношення S/N.

Напруга шуму вимірюється при замкнутому вході та резистивному навантаженні 8Ω на виході. R канал 40мкВ, 10мкВ з фільтром звукової корекції, L-канал становив 30мкВ, а при використанні фільтра звукової корекції – 9мкВ, отже коефіцієнт S/N для вихідної потужності 1Вт (2,82В/8Ω) становить R канал становить 97дБ, 107дБ з фільтром звукової корекції, L-канал становить 99,5дБ, а при використанні фільтра звукової корекції – 109,9дБ. Коефіцієнт S/N для максимальної вихідної потужності 25Вт (14В/8Ω) перевищує 130дБ. Цей шум можна почути, лише якщо притулити голову до динаміка та напружити слух. Проте мене вразив той факт, що динамік зміг відреагувати на такий малий вихід.

Форма сигналу шуму 30мкВ (горизонтальна вісь 2мС/DIV).

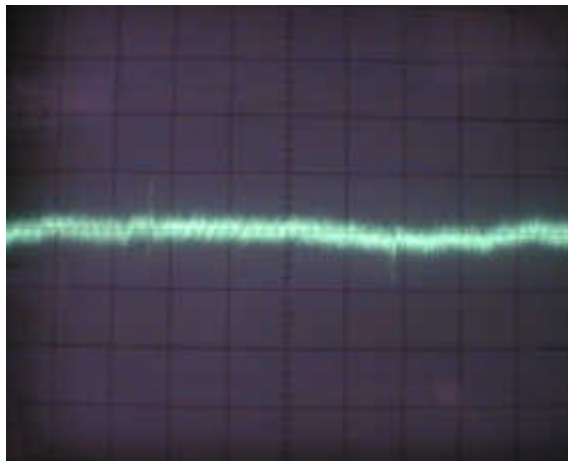
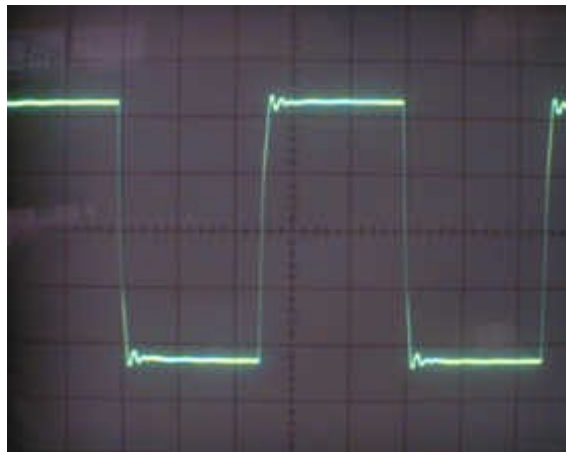
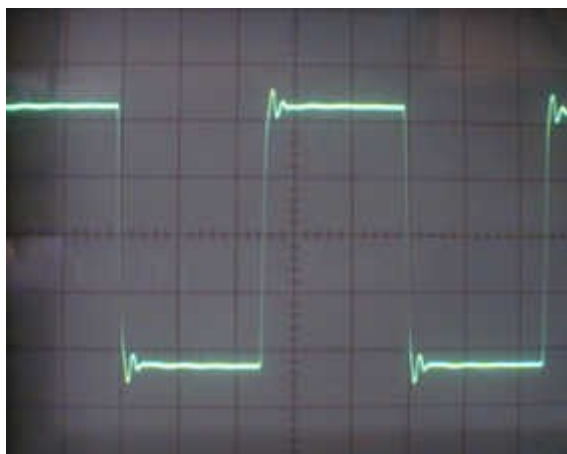


Фото прямокутного сигналу 10кГц (вертикальна вісь 1В/DIV) навантаження 8Ω

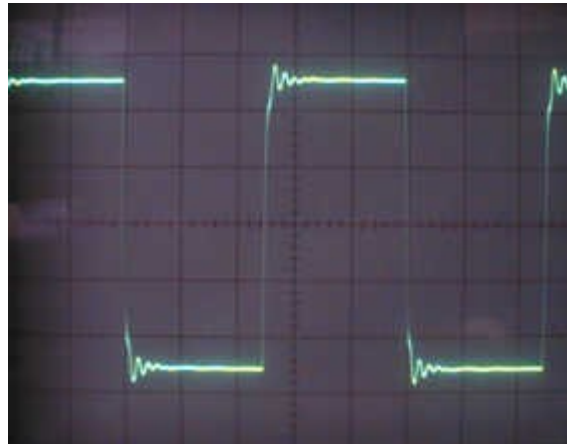


Через пік близько 340кГц спостерігатиметься невеликий викід та дзвін.

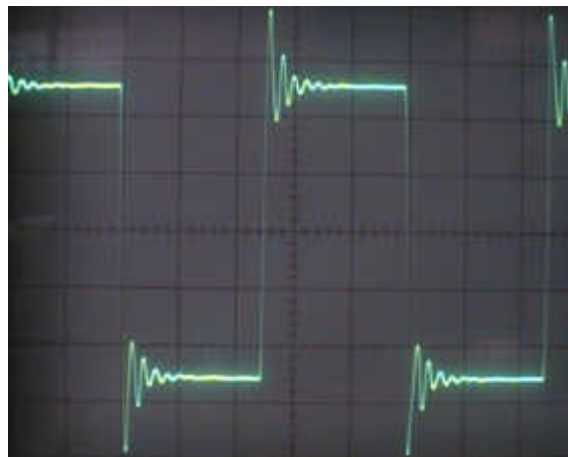
$8\Omega || 0.1\mu\text{F}$ навантаження



без навантаження



навантаження 0,1мкФ

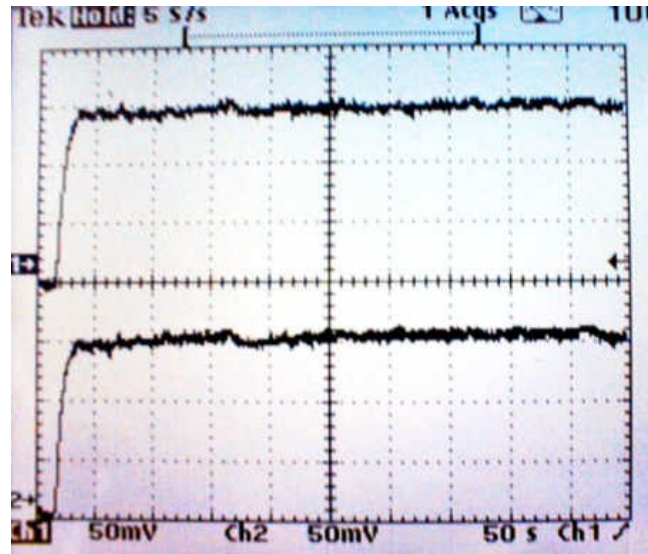


навантаження 0,47мкФ



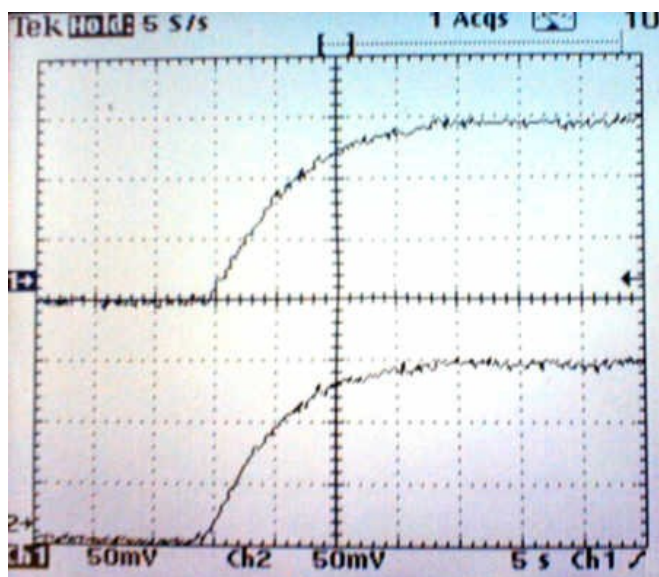
Коливань через ємнісне навантаження, здається, не відбувається, тому ви можете використовувати його з упевненістю.

Я записав зміни струму у вихідній лампі за допомогою DSO (цифрового запам'ятовуючого осцилографа). Зміна струму після ввімкнення.



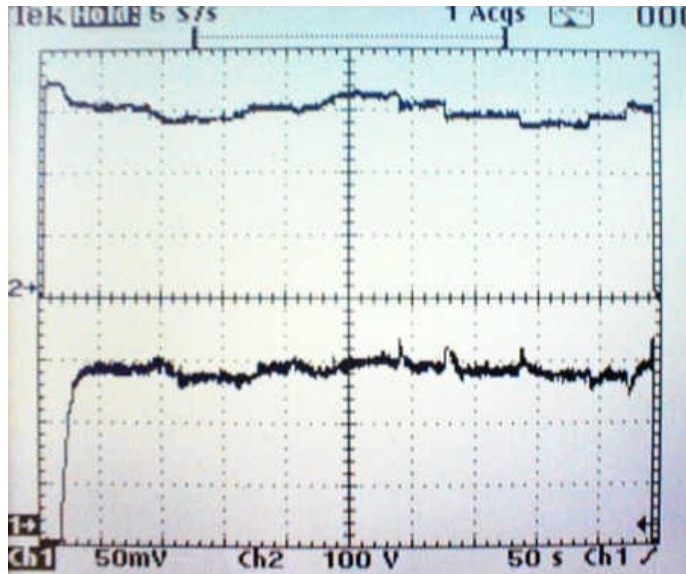
Це напруга між TP0 і TP1 з моменту ввімкнення живлення. Вертикальна вісь становить 50 мВ на поділку, а горизонтальна вісь – 50 секунд на поділку. Лівий кінець – це момент увімкнення живлення, а правий – це момент, коли минуло 500 секунд (8 хвилин 20 секунд). Верхня лінія – це напруга Lch із центральною горизонтальною віссю, встановленою на 0, а нижня лінія – напруга Rch із нижньою горизонтальною віссю, встановленою на 0. Значення, поділене на 20м, є катодним струмом EL34. Це дані у стані відсутності сигналу із замкнутим входом. Хоча здається, що є шум, це пов'язано з характеристиками DSO, і немає шуму в фактично виміряній напрузі. Джерело живлення змінного струму було встановлено на 100В за допомогою повзунка перед вимірюванням і не було стабілізовано, тому під час вимірювання воно коливалося в діапазоні від 98В до 102В. Помітних коливань катодного струму немає, і він залишається майже постійним.

Момент ввімкнення.



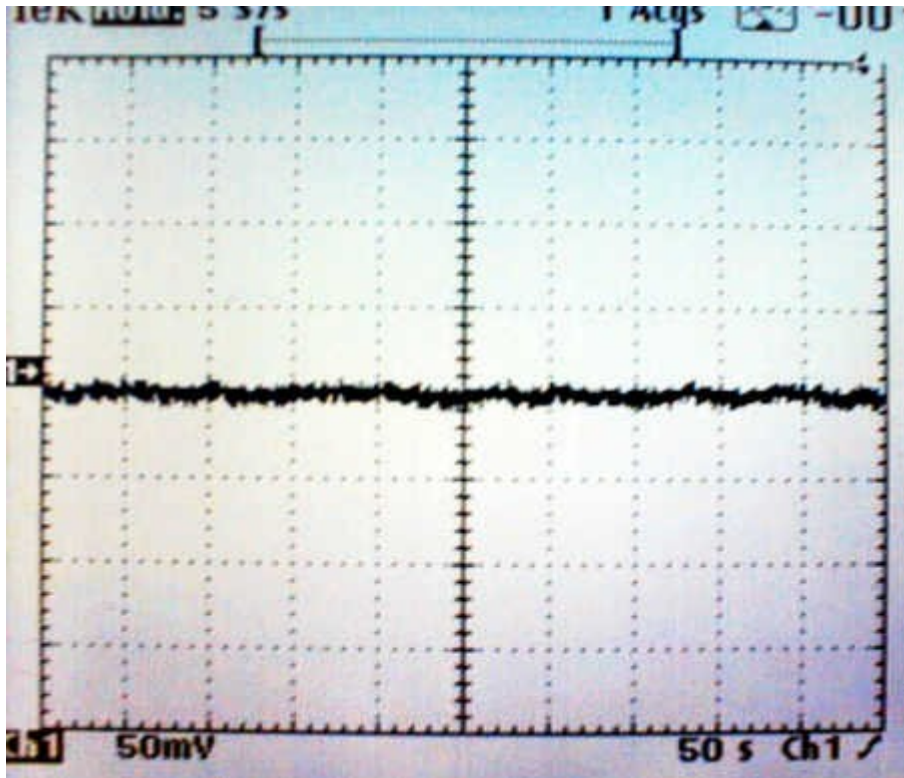
Це збільшене відображення моменту ввімкнення з горизонтальною віссю даних вище, переключеною на 5 секунд. Вакуумна лампа нагрівається, і струм починає текти приблизно через 15 секунд після ввімкнення живлення та досягає стабільного стану через 40 секунд.

Зміна струму через коливання джерела живлення.



Ми змінювали напругу джерела живлення та спостерігали зміни робочого струму EL34 у відповідь на коливання напруги джерела живлення. Верхній рядок — це напруга джерела живлення В EL34, горизонтальна вісь у центрі встановлена на 0, а одна шкала на вертикальній осі — 100В. Напруга джерела живлення В — це напруга між лініями шини 100В і 430В на електричній схемі, і вона змінювалася в діапазоні 320В + 5% - 10%. Нижній рядок – це напруга між TP0 і TP1, нижня горизонтальна вісь встановлена на 0, а одна поділка вертикальної осі становить 50мВ. На горизонтальній осі кожна шкала становить 50 секунд і живлення вмикається на лівому кінці та вимикається за 10 секунд до закінчення 500 секунд (8 хвилин 20 секунд) на правому кінці. На вході є коротке замикання та відсутність сигналу. Струм змінюється плавно, коли відбувається поступова зміна напруги джерела живлення, але коли відбувається різка і велика ступінчаста зміна, велика зміна струму відбувається тимчасово. Напрямок зміни полягає в тому, що при збільшенні напруги джерела живлення сила струму зменшується, а при зниженні напруги джерела живлення сила струму зростає. Це пояснюється тим, що налаштування враховують зміни катодного випромінювання, включно зі змінами катодного випромінювання через коливання напруги джерела живлення, і надмірно реагують на раптові коливання напруги джерела живлення, за якими катодне випромінювання не може впоратися. Щоб запобігти цьому, ви можете запобігти різким змінам напруги джерела живлення В або стабілізувати живлення нагрівача. Однак, навіть якщо ви не заходите так далеко, зміни струму відбуваються в тій самій фазі у двотактних вихідних лампах, тому шум, пов'язаний із цією зміною струму, не виникає на виході і немає жодних проблем у практичному використанні. Це дуже задовільний результат, оскільки робочий струм супертріодного з'єднання, яке має надзвичайно низький еквівалентний внутрішній опір каскаду, майже не змінюється через коливання напруги джерела живлення.

Незбалансований струм.



Напруга між TP1 і TP2 реєструвалася з моменту включення живлення. Кожна поділка на вертикальній осі становить 5мВ. Одна поділка на горизонтальній осі становить 50 секунд. Лівий кінець – це момент увімкнення живлення, а правий – це момент, коли минуло 500 секунд (8 хвилин 20 секунд). Діапазон коливань знаходиться в межах $\pm 1\text{мВ}$ (0,25мА). Незалежно від того, наскільки R-core трансформатор чутливий до постійного струму, якщо він такий малий, це не матиме впливу.

І на завершення.

«Холод і тепло льодового вугілля очевидні, навіть не згадуючи про це», тож чи варто говорити про якість звуку? З цим підсилювачем чудово слухати такі речі, як Tangerine Dream або Echoes від Pink Floyd у затемненій кімнаті. Пізніше я зрозумів, що сила струму обмотки нагрівача у силовому трансформаторі становить 3,6А. Здається, наразі з цим немає жодних проблем, ймовірно, через те, що в трансформаторі R-core достатньо місця, але якщо ви використовуєте цю сторінку як довідник, будь ласка, розрахуйте обмотку нагрівача у силовому трансформаторі на струм 3,6А або більше. Крім того, у випадку навіть добре розрахованого силового трансформатора пусковий струм під час увімкнення живлення великий, тому запобіжник може перегоріти на 2А, тому в такому випадку використовуйте запобіжник на 3А. *(***Це більш стосується мережі змінного струму 100В. Вітчизняний стандарт передбачає 230В в мережі, відповідно струм буде меншим. Або застосувати «м'який» софтстарт).*

(*** ...) - примітки мої.