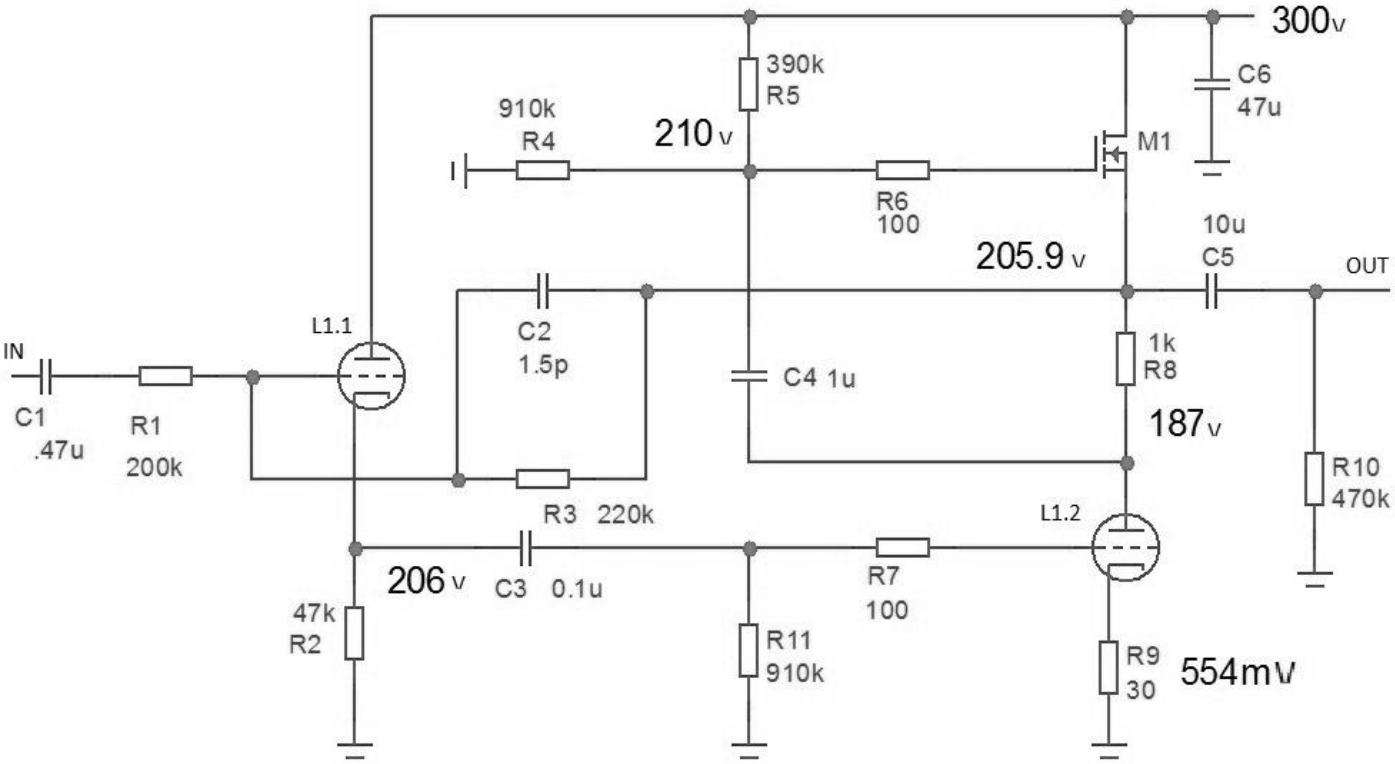
Буферний підсилювач з регульованим коефіцієнтом передачі

Євген Карпов

При реалізації одного з проєктів виникла потреба у буферному підсилювачі, працюючого разом із вихідним трансформатором. Крім звичайних вимог: максимальна «прозорість» і низький вихідний опір, була і дещо незвичайна можливість у невеликих межах змінювати коефіцієнт передачі. Виникла вона через необхідність приведення сигналу від різних джерел до одного рівня без використання додаткових ділителів, підсилювачів і регуляторів у самих джерелах сигналу.

Упродовж роботи зі схемою (проєктування, макетування, контроль параметрів) з'ясувалося, що область застосування такого підсилювача можна розширити. По-перше, підсилювач чудово працює і без вихідного трансформатора прямо на кабель. По-друге, хороша лінійність та значна перевантажувальна здатність дозволяє використовувати такий підсилювач (при посиленні більше 1) як вхідний, з установкою регулятора гучності після нього. Це проблема, що досить часто зустрічається в лампових схемах, коли для збудження драйвера або фазоінвертора треба рівень 4-5 вольт, а додавати ще каскади і вводити загальний зворотний зв'язок не хочеться чи нема можливості.

Схема буферного підсилювача показана на малюнку 1. За основу був обраний гібридний SRPP, що добре себе зарекомендував (лампа L1.2 і MOSFET M1). Зрозуміло, якщо нам треба регульоване



Малюнок 1

посилення, то з'явиться і зворотний зв'язок. У схемі використовується паралельний зворотний зв'язок (резистори R1, R3), що краще для звукових пристроїв. Зворотний зв'язок вводиться через катодний повторювач (лампа L1.1). Хтось може вважати, що це зайве ускладнення, але такий варіант виключає вплив значної динамічної ємності L1.2, а також стабілізує глибину ЗЗ, і хоча глибина зворотного зв'язку значна, в підсилювачі не спостерігається високочастотного «хвоста» гармонік (хороший звук ховається в дрібницях). Вхідний опір підсилювача визначається резистором R1 (практично). Вибір його номіналу досить довільний, але його максимальне значення пов'язане з бажаним посиленням і відповідно з номіналом резистора R3, величина якого не повинна перевищувати 500÷600кОм. Якщо потрібно посилення, доцільно номінал R1 зменшити, наприклад, при посиленні ≈5, R1=51кОм, R3=360кОм, C2=1pF. Ємність C2 коригує частотну характеристику області вищих частот (вище 90÷100кГц), і

Copyright © 2025 Eugene V.Karpov All Rights Reserved

компенсує вхідну ємність катодного повторювача і монтажу. В принципі, її можна використовувати і для обмеження частотного діапазону зверху.

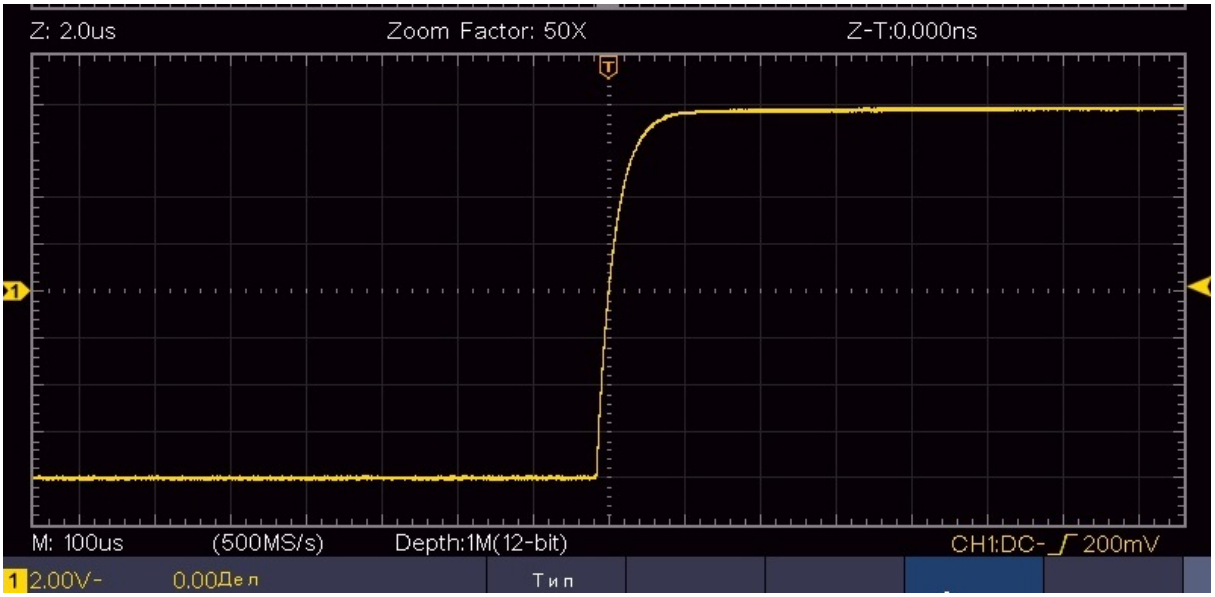
Будь-яких особливих вимог до лампи немає, можна використовувати будь-які подвійні тріоди з широким розкривом характеристик і μ в районі тридцяти. Польовий транзистор бажаний із малими власними ємностями. Для макетування та контролю параметрів у схемі використовувалася лампа 6Н1П та транзистор IRF830, решта елементів – за смаком.

Вимірювання параметрів схеми проводилося для двох значень коефіцієнта передачі – К=1 та К=5 на активно-ємнісному навантаженні 10кОм, 110pF. Можна виділити дві групи параметрів, які мало залежать від коефіцієнта передачі, і які від нього значно залежать.

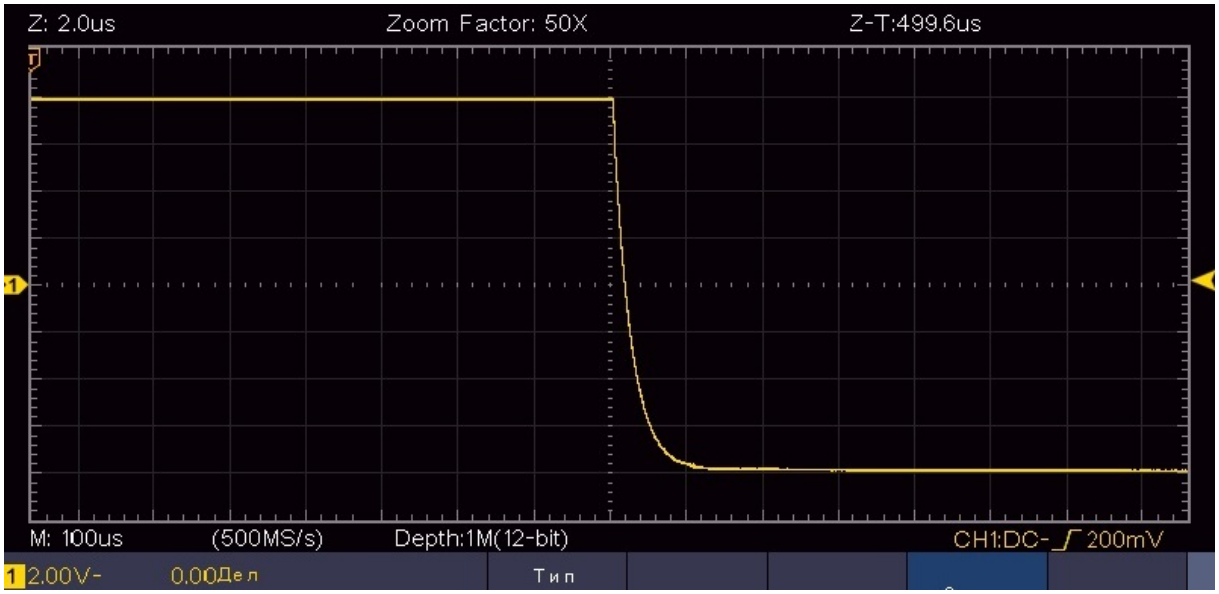
Незначно залежать від коефіцієнта передачі такі параметри:

Вихідний опір	<4 Ω
Максимальна вихідна напруга	60Vrms
Частотний діапазон (Vout=10Vrms)	5Hz÷100kHz ±0.4dB

У підсилювача чудовий імпульсний відгук, без викидів і з практично симетричним часом наростання та спаду (малюнки 2, 3) Вимірювання представлені при вихідній напрузі 10V, К=5.



Малюнок 2

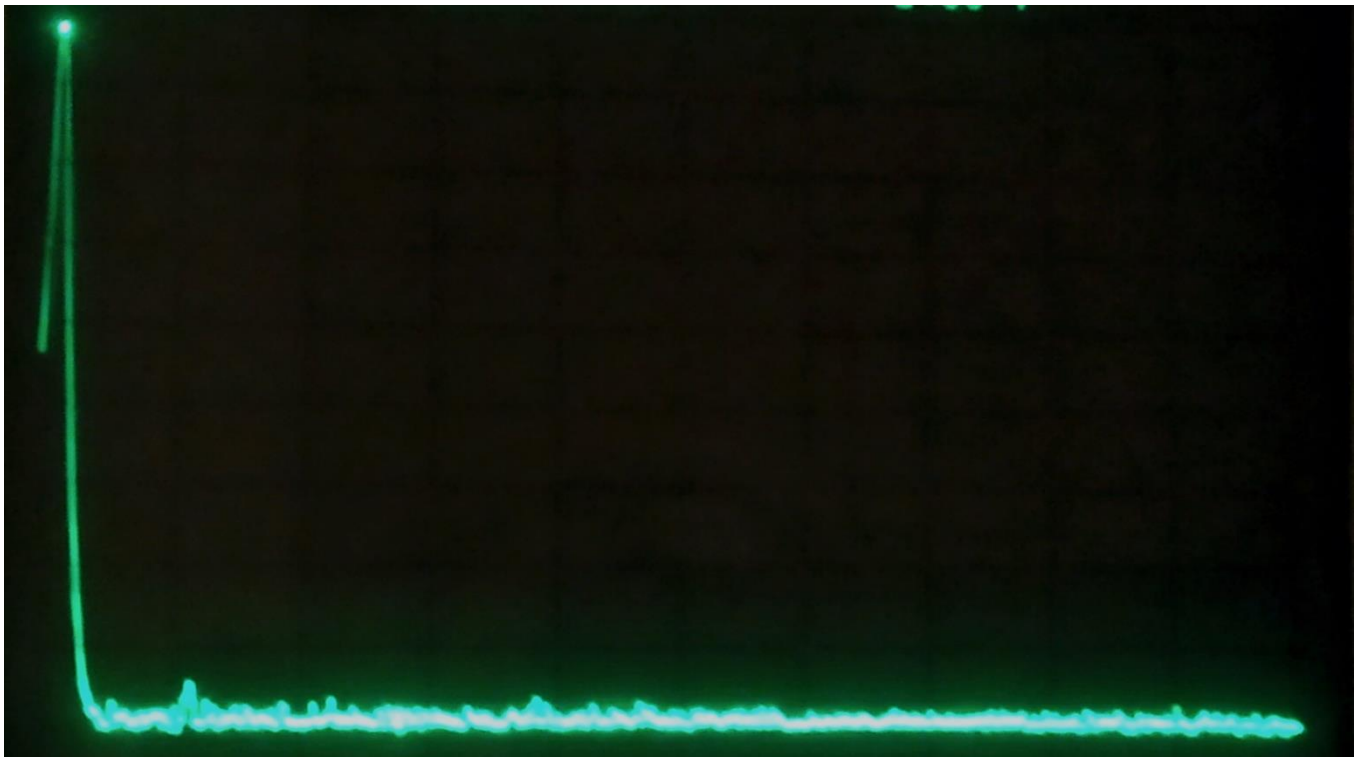


Малюнок 3

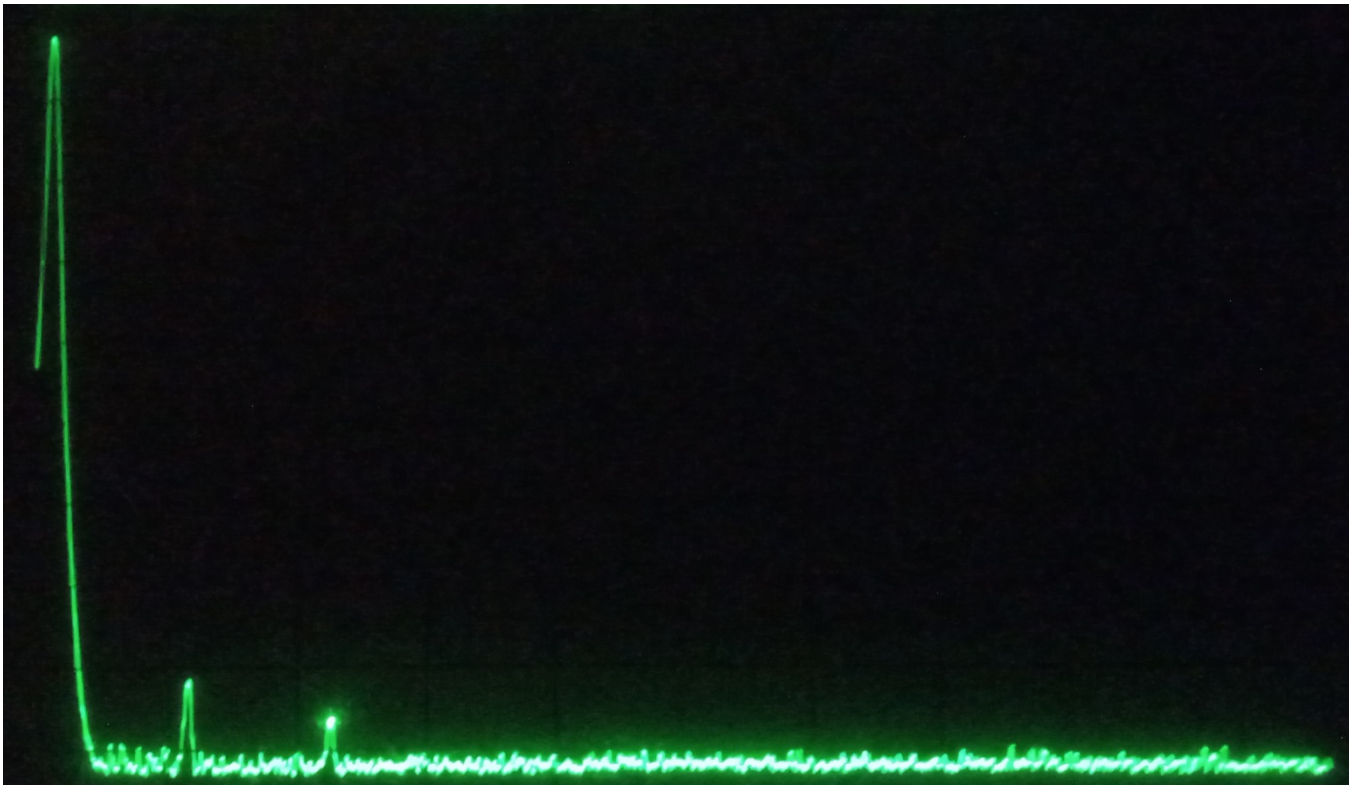
Copyright © 2025 Eugene V.Karpov All Rights Reserved

Досить помітно залежить від коефіцієнта передачі рівень нелінійних спотворень. Для зручності порівняння вимірювання проводилися при вихідній напрузі 10Vrms. Що для буферного режиму (K=1) відповідає перенавантаженню 20dB (при номінальній вихідній напрузі 1Vrms), і приблизно 6dB при номінальній вихідній напрузі 5Vrms і K=5.

При K=1 на виході присутня тільки одна друга гармоніка з рівнем близько -82dB, що відповідає THD=0.007% (малюнок 4). При менших значеннях вихідної напруги виникають складності з її виявленням.



Малюнок 4



Малюнок 5

Copyright © 2025 Eugene V.Karpov All Rights Reserved

При К=5 глибина зворотного зв'язку падає, і відповідно підростає рівень спотворень (малюнок 5)

Поведінка підсилювача абсолютно передбачувана для лампової схеми - зростання другої гармоніки та поява наступної гармонійної складової, у цьому випадку THD = 0.014%. Подальше збільшення вихідної напруги призводить до аналогічних результатів, при вихідній напрузі 60Vrms можна вже явно спостерігати 9 гармонік та результуючий THD=0.105%.

При включенні буферного підсилювача в звуковий тракт суб'єктивно його присутність не фіксується. Мабуть, найбільш цікавим варіантом застосування буде використання підсилювача як вхідного каскаду з регулятором гучності, включеним на його вихід.

Copyright © 2025 Eugene V.Karpov All Rights Reserved