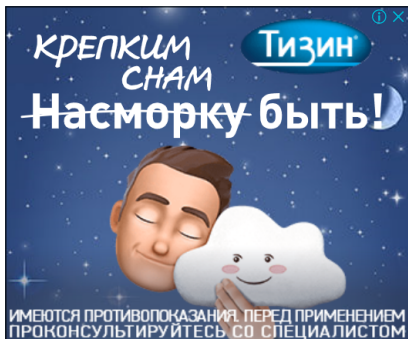
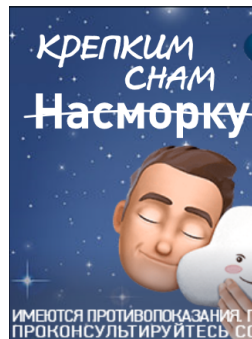




AliExpress
**СПЕЦИАЛЬНЫЕ
 ПРЕДЛОЖЕНИЯ!**
**УСПЕЙ КУПИТЬ
 СЕЙЧАС!**



МЕНЮ

ПОИСК ПО САЙТУ

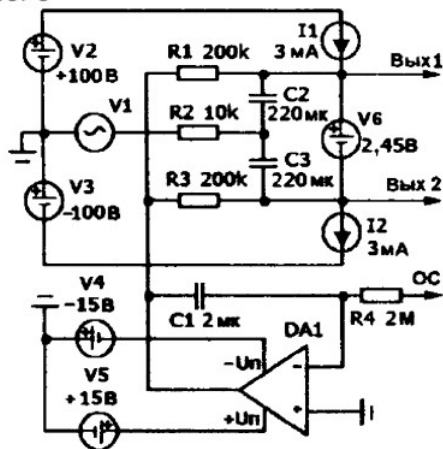
Система пользовательского поиска

СХЕМОТЕХНИКА ВЫХОДНЫХ КАСКАДОВ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

Выходные каскады на базе "двоек"

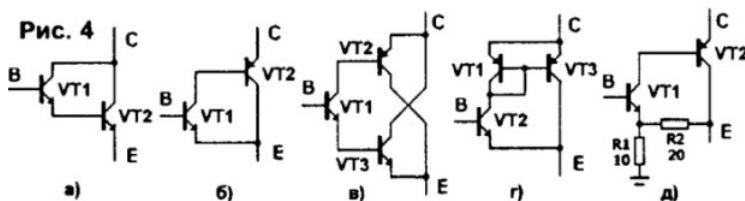
В качестве источника сигнала будем использовать генератор переменного тока с перестраиваемым выходным сопротивлением (от 100 Ом до 10,1 кОм) с шагом 2 кОм (рис. 3). Таким образом, при испытаниях ВК при максимальном выходном сопротивлении генератора (10,1 кОм) мы в какой-то степени приблизим режим работы испытуемых ВК к схеме с разомкнутой ООС, а в другом (100 Ом) — к схеме с замкнутой ООС.

Рис. 3



Основные типы составных биполярных транзисторов (БТ) показаны на рис. 4. Наиболее часто в ВК используется составной транзистор Дарлингтона (рис. 4 а) на базе двух транзисторов одной проводимости ("двойка" Дарлингтона), реже — составной транзистор Шиклаи (рис. 4 б) из двух транзисторов разной проводимости с токовой отрицательной ОС, и еще реже — составной транзистор Брайстона (Brayston, рис. 4 в).

"Алмазный" транзистор — разновидность составного транзистора Шиклаи — показан на рис. 4 г. В отличие от транзистора Шиклаи, в этом транзисторе благодаря "токовому зеркалу" ток коллекторов обоих транзисторов VT2 и VT3 практически одинаков. Иногда транзистор Шиклаи используют с коэффициентом передачи больше 1 (рис. 4 д). В этом случае $K_P = 1 + R_2/R_1$. Аналогичные схемы можно получить и на полевых транзисторах (ПТ).



[КАРТА САЙТА](#)

[ПРЕДВАР-НЫЕ
УСИЛИТЕЛИ](#)

[УСИЛИТЕЛИ НА
МИКРОСХЕМАХ](#)

[УСИЛИТЕЛИ НА
ТРАНЗИСТОРАХ](#)

[АКУСТИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ](#)

[ИСТОЧНИКИ
ПИТАНИЯ](#)

[ПРОГРАММЫ](#)

[БЫТОВАЯ ТЕХНИКА](#)

[РАЗНОЕ](#)

[ИНТЕРЕСНОЕ](#)

[АУДИО ДЛЯ АУДИО](#)

[ВИДЕО О АУДИО](#)

[КОМПОНЕНТЫ](#)

[3D MAX](#)

[ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ](#)

[КАК ПАЯТЬ](#)

[МОЙ ДЕД](#)

[МОЖЕТЕ ПОМОЧЬ
ДЕНЬГАМИ](#)

[РЕКЛАМА](#)

1.1. Выходные каскады на базе "двоек". "Двойка" — это двухтактный выходной каскад с транзисторами, включенными по схеме Дарлингтона, Шиклаи или их комбинации (квазикомплементарный каскад, Bryston и др.). Типовой двухтактный выходной каскад на "двойке" Дарлингтона показан на рис. 5. Если эмиттерные резисторы R3, R4 (рис. 10) входных транзисторов VT1, VT2 подключить к противоположным шинам питания, то эти транзисторы будут работать без отсечки тока, т. е. в режиме класса А.

Рис. 5

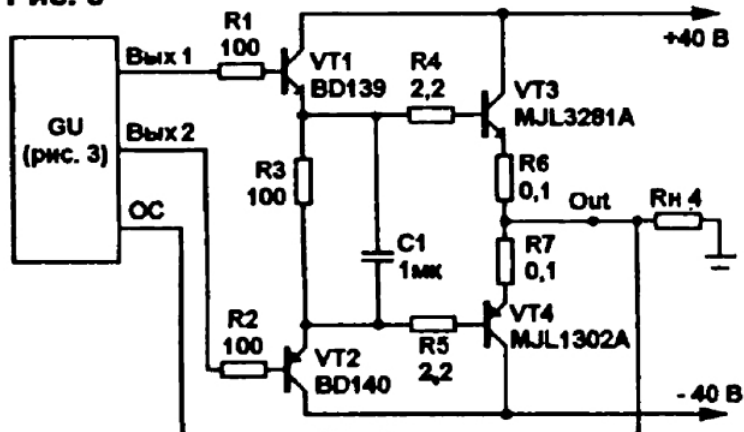
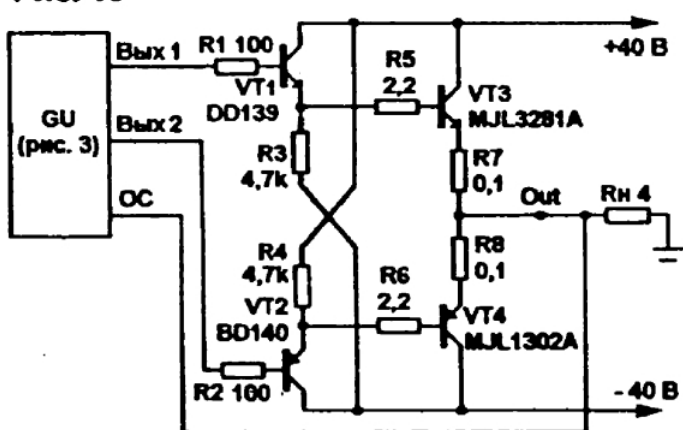
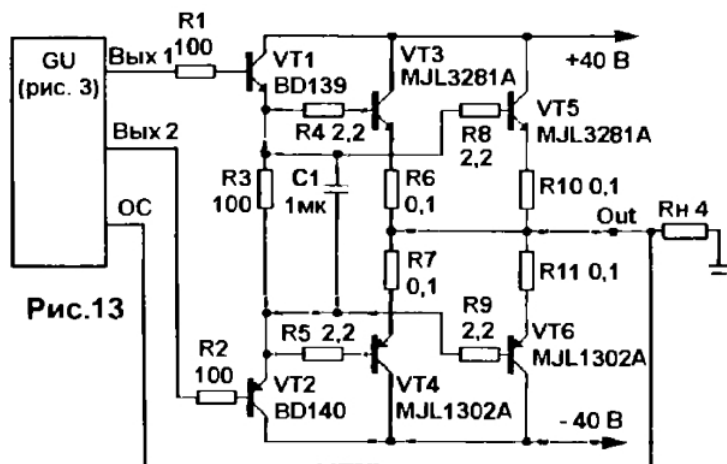


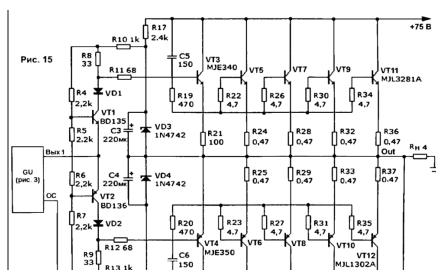
Рис. 10



Посмотрим, что даст спаривание выходных транзисторов для двойки "Дарлингтона" (рис. 13).



На рис. 15 приведена схема ВК, использованная в одном из профессиональных усилителей.



Бестселлеры недели

Самые популярные товары на AliExpress
Топ горячих продаж каждую неделю

• Скидка до 20%



AliExpress
Купить сейчас >



Менее популярна в ВК схема Шиклаи (рис. 18). На первых порах развития схемотехники транзисторных УМЗЧ были популярны квазикомплементарные выходные каскады, когда верхнее плечо выполнялось по схеме Дарлингтона, а нижнее — по схеме Шиклаи. Однако в первоначальной версии входное сопротивление плеч ВК несимметрично, что приводит к дополнительным искажениям. Модифицированный вариант такого ВК с диодом Бахсандалла, в качестве которого использован базо-эмиттерный переход транзистора VT3, показан на рис. 20.

Рис. 18

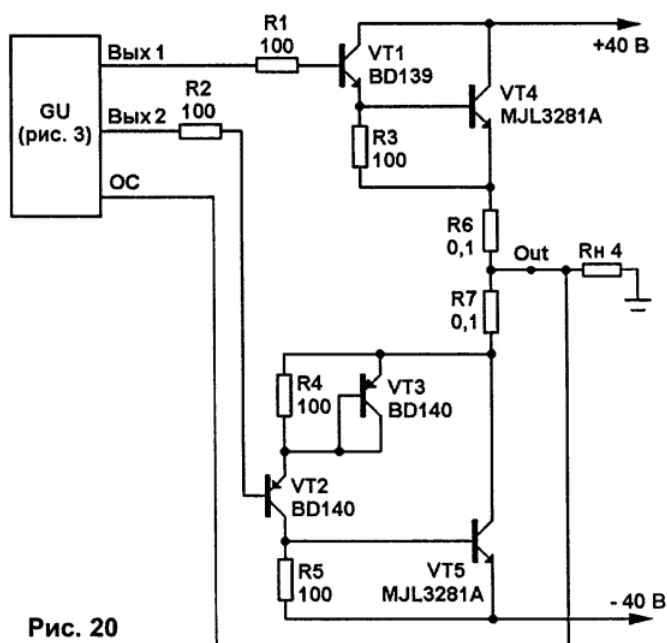
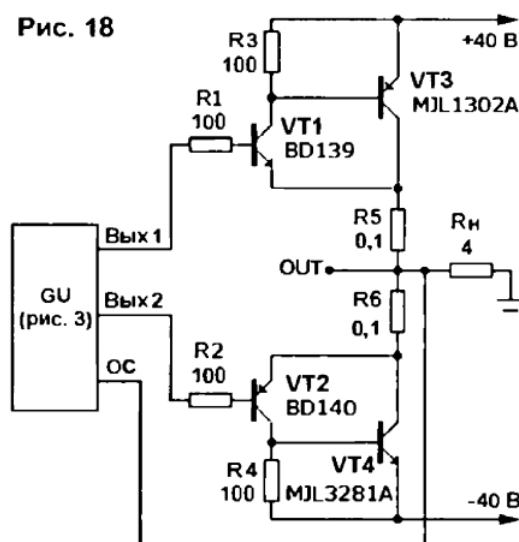


Рис. 20

Кроме рассмотренных "двоек", есть модификация ВК Bryston, в которой входные транзисторы эмиттерным током управляют транзисторами одной проводимости, а коллекторным током — транзисторами другой проводимости (рис. 22). Аналогичный каскад может быть реализован и на полевых транзисторах, например, Lateral MOSFET (рис. 24).

Бестселлеры недели

Самые популярные товары на AliExpress
Топ горячих продаж каждую неделю

• Скидка до 20%



AliExpress
Купить сейчас >

Рис. 22

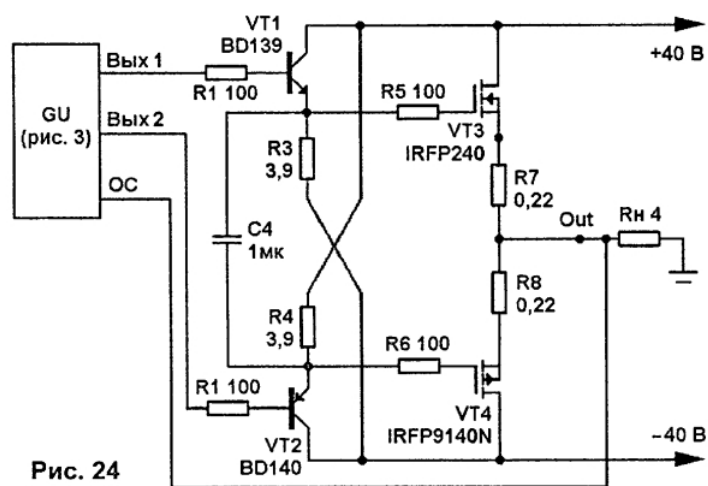
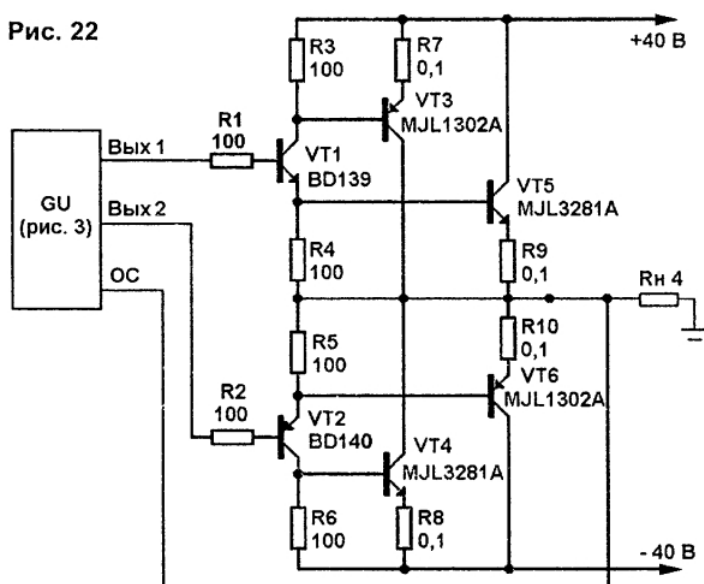


Рис. 24

Гибридный выходной каскад по схеме Шиклаи с полевыми транзисторами в качестве выходных показан на рис. 28. Рассмотрим схему параллельного усилителя на полевых транзисторах (рис. 30).

Рис. 28

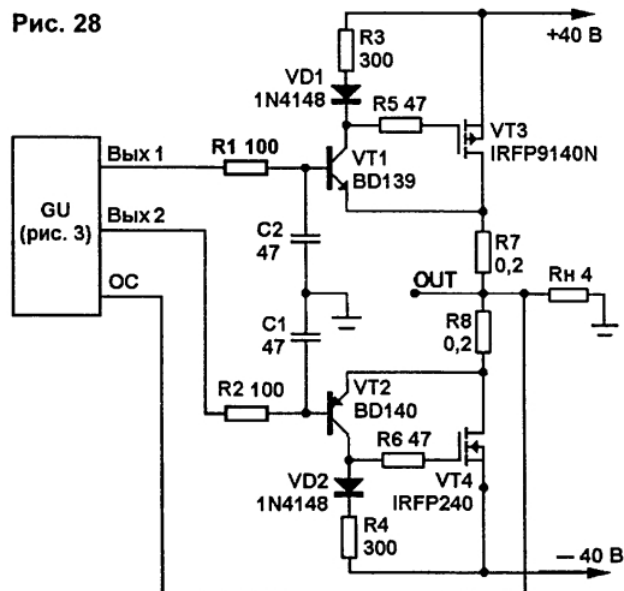
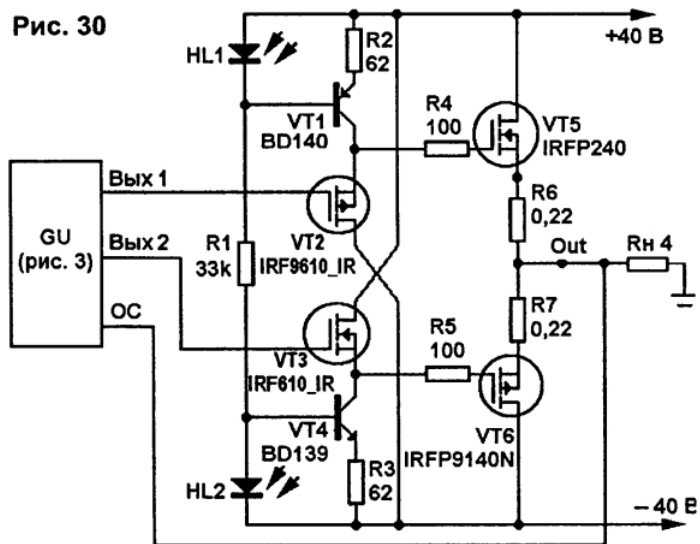
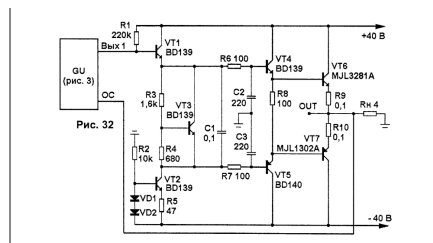


Рис. 30



В качестве эффективного способа повышения и стабилизации входного сопротивления "двойки" предлагается использовать на ее входе буфер, например, эмиттерный повторитель с генератором тока в цепи эмиттера (рис. 32).



Из рассмотренных "двоек" наилучшим по девиации фазы и полосе пропускания оказался ВК Шиклаи. Посмотрим, что может дать для такого каскада применение буфера. Если вместо одного буфера использовать два на транзисторах разной проводимости, включенных параллельно (рис. 35), то можно ожидать дальнейшего улучшения пара метров и повышения входного сопротивления. Из всех рассмотренных двухкаскадных схем наилучшим образом по нелинейным искажениям показала себя схема Шиклаи с полевыми транзисторами. Посмотрим, что даст установка параллельного буфера на ее входе (рис. 37).

Рис. 35

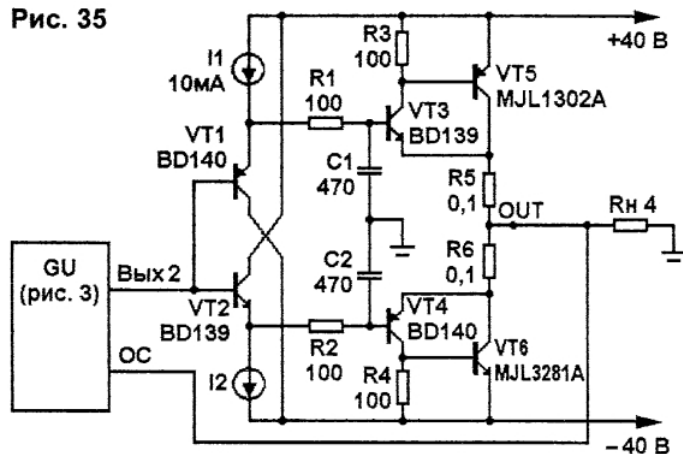
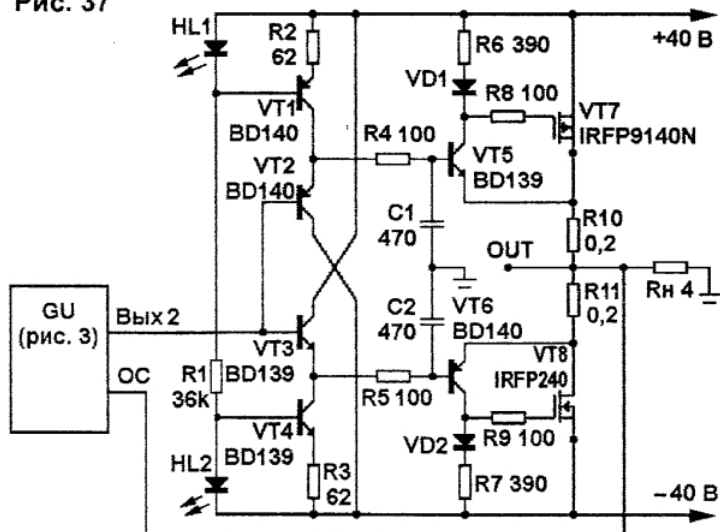


Рис. 37



Параметры исследованных выходных каскадов сведены в табл. 1.

Схема	Кэф. передачи, дБ		Частота среза, МГц		дБ/°	Коэффициент гармоник, %			
	Мас.	Мин.	Мас.	Мин.		1 кГц, 20 мВ	1 кГц, 1 В	1 кГц, 20 мВ	1 кГц, 1 В
D-1B-1B (рис.5)	-0,3	-3,35	3,7	0,08	17	0,35	0,35	3	3
D-1B(A)-1B (рис.10)	-0,28	-3	3,8	0,12	11	0,3	0,3	3	3
D-1B-2B (рис.13)	-0,16	-2,45	6,5	0,1	13	0,2	0,2	2	2
D-1B-4B (рис.15)	-0,2	-12,5	1,7	0,04	33	0,3	0,8	2	8
S-1B-1B (рис.16)	-0,1	-3	7,2	0,11	12	0,1	0,1	2,5	1,5
DS-1B-1B (рис.20)	-0,33	-3,6	1,5	0,11	12	0,4	0,4	2	2
DS-1B-2B (рис.22)	-0,16	-2,7	7	0,16	6	0,2	0,2	2	2
D-1B(A)-1M (рис.24)	-0,6	-3,3	4,1	1,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
S-1B-1M (рис.28)	-0,13	-2,3	13	0,18	8	0,01	0,01	1	1
PFM-1M (рис.30)	-0,9	-3	4	0,76	2	0,5	0,5	0,5	0,7
FB-D-1B-1B (рис.32)	-0,24	-2,1	4,9	1,8	0,8	0,2	0,2	0,3	0,3
PF8-S-1B-1B (рис.35)	-0,1	-1	4,8	1,8	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1
PF8-S-1B-1M (рис.37)	-0,1	-1,4	8	3,1	0	0,01	0,01	0,02	0,02
DK(VM)-LLM [4]	-0,02	-0,87	8	0,8	2	0,01	0,02	0,01	0,1

Примечания: цифры обозначают количество транзисторов в каскаде одного плеча ВК. В таблице приняты следующие сокращения:
 А — класс А;
 В — биполярный транзистор (BJT);
 Br — Bryston;
 D — Дарлингтон (Darlington);
 DK — дифференциальный каскад;
 DS — взаимоконтентный каскад (Darlington-Szikla);
 F — повторитель напряжения (buffer);
 LLM — Logic Level MOSFET (IT с управлением логическим уровнем);
 M — полевой транзистор типа MOSFET;
 P — параллельный повторитель напряжения;
 S — Szikla (Шикла);
 VM — вертикальный MOSFET.

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы:

- любой ВК из "двоек" на БТ как нагрузка УН плохо подходит для работы в УМЗЧ высокой верности;
- характеристики ВК с ПТ на выходе мало зависят от сопротивления источника сигнала;
- буферный каскад на входе любой из "двоек" на БТ повышает входное сопротивление, снижает индуктивную составляющую выхода, расширяет полосу пропускания и делает параметры независимыми от выходного сопротивления источника сигнала;
- ВК Шиклаи с ПТ на выходе и параллельным буфером на входе (рис. 37) имеет самые высокие характеристики (минимальные искажения, максимальную полосу пропускания, нулевую девиацию фазы в звуковом диапазоне).

Выходные каскады на базе "троек"

В высококачественных УМЗЧ чаще используются трехкаскадные структуры: "тройки" Дарлингтона, Шиклаи с выходными транзисторами Дарлингтона, Шиклаи с выходными транзисторами Bryston и другие комбинации. Одним из самых популярных выходных каскадов в настоящее время является ВК на базе составного транзистора Дарлингтона из трех транзисторов (рис. 39). На рис. 41 показан ВК с разветвлением каскадов: входные повторители одновременно работают на два каскада, которые, в свою очередь, также работают на два каскада каждый, а третья ступень включена на общий выход. В результате, на выходе такого ВК работают счетверенные транзисторы.

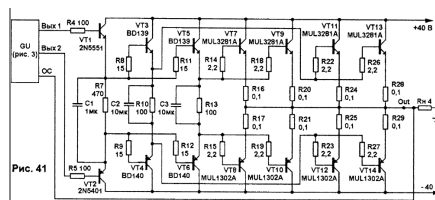
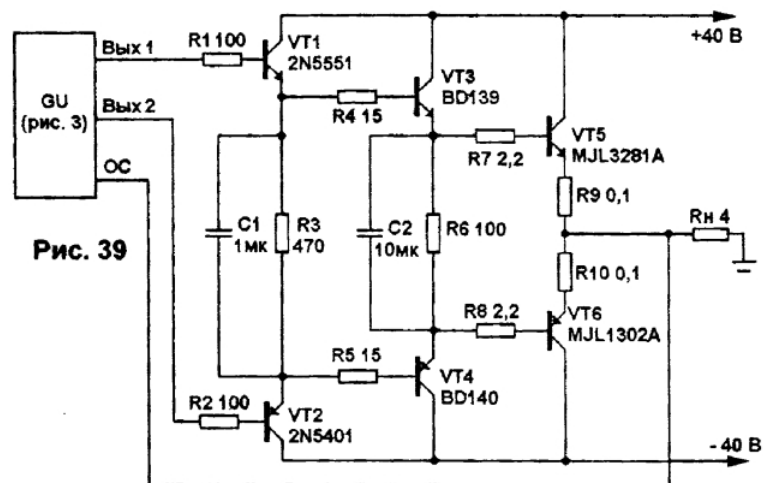
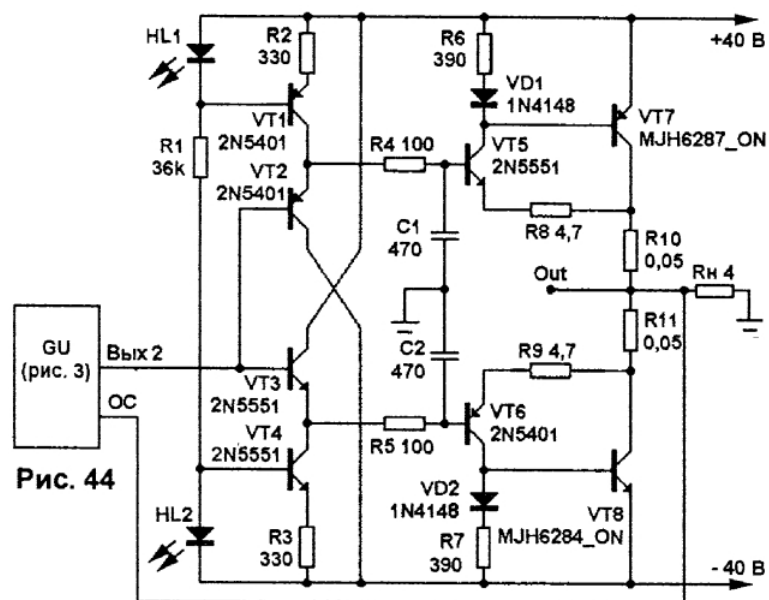
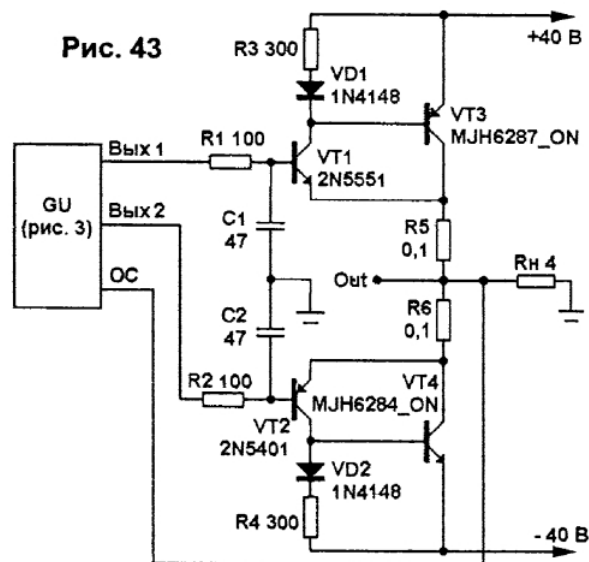
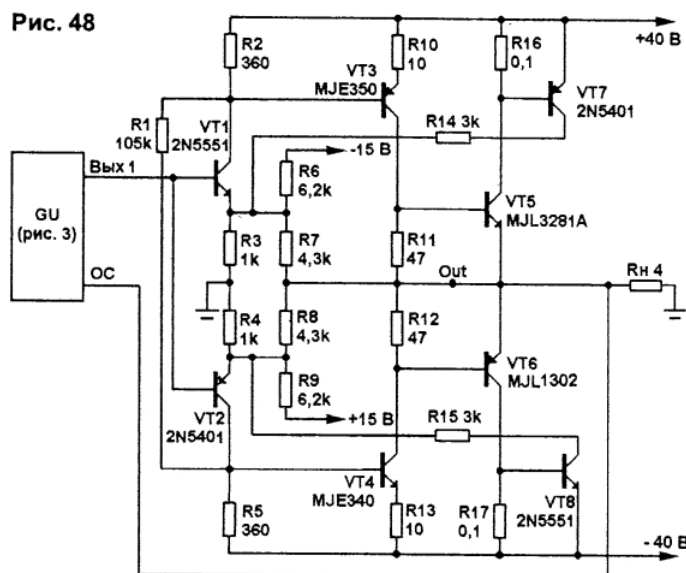
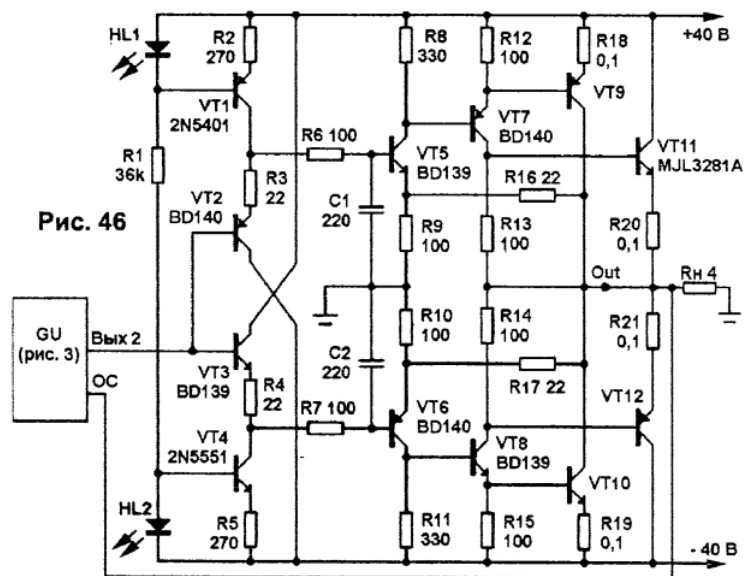


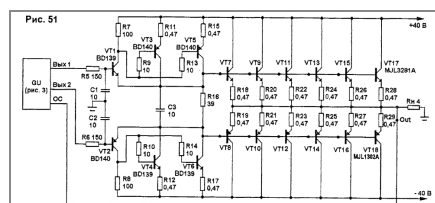
Схема ВК , в которой в качестве выходных транзисторов использованы составные транзисторы Дарлингтона , изображена на рис . 43. Параметры ВК на рис .43 можно существенно улучшить , если включить на его входе хорошо зарекомендовавший себя с " двойками " параллельный буферный каскад (рис . 44).

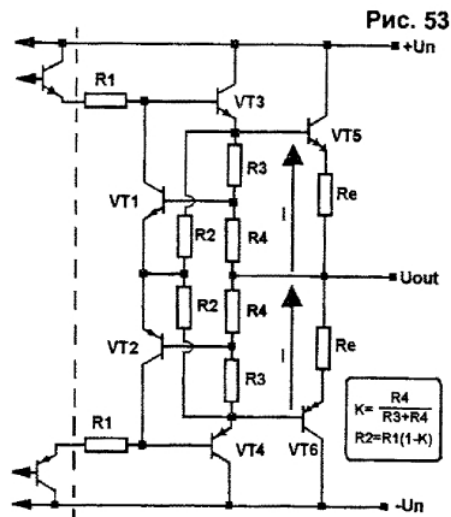


Вариант ВК Шиклаи по схеме на рис. 4 г с применением составных транзисторов Bryston показан на рис. 46. На рис. 48 показан вариант ВК на транзисторах Шиклаи (рис. 4 д) с коэффициентом передачи около 5, в котором входные транзисторы работают в классе А (цепи термостабилизации не показаны).



На рис. 51 показан ВК по структуре предыдущей схемы только с единичным коэффициентом передачи. Обзор будет неполным, если не остановиться на схеме выходного каскада с коррекцией нелинейности Хауксфорда (Hawksford), приведенной на рис. 53. Транзисторы VT 5 и VT 6 — составные транзисторы Дарлингтона.





С целью устранения отмеченных выше недостатков схемы рис. 54 и упрощения схемы заменим входной эмиттерный повторитель параллельным повторителем, а резисторы R 1 (рис . 53) разобьем на 2 резистора (рис . 55). В точки соединения резисторов (R 5, R 8 и R 6, R 9) подключим генераторы тока (9 мА) на транзисторах VT 1, VT 4. и получим схему изображенную на рисунке .

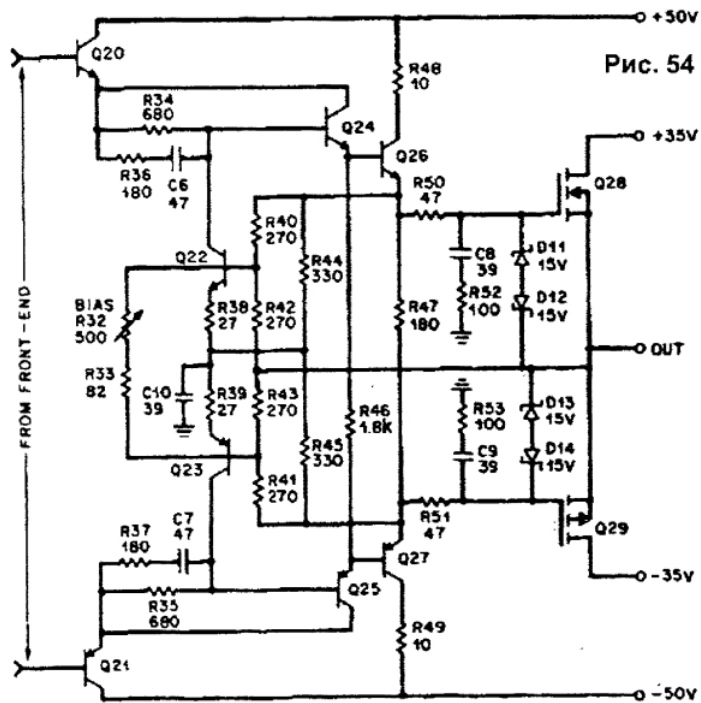


Рис. 54

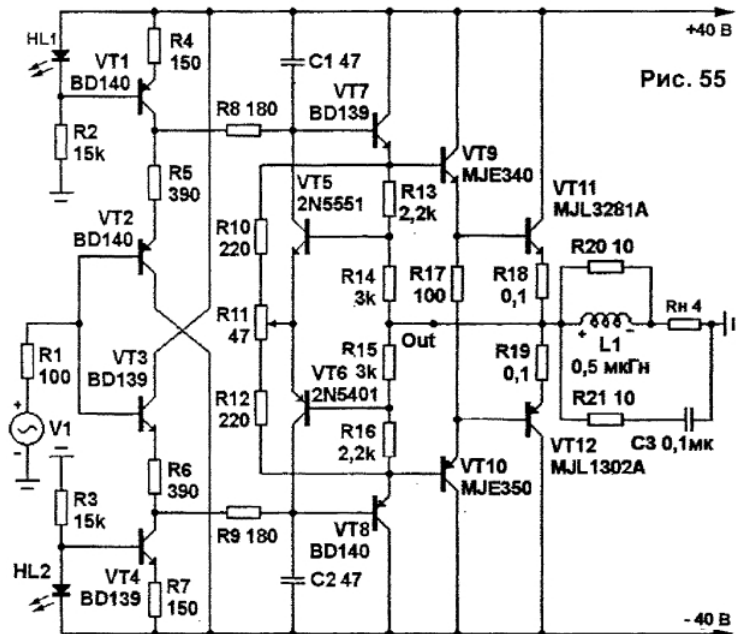
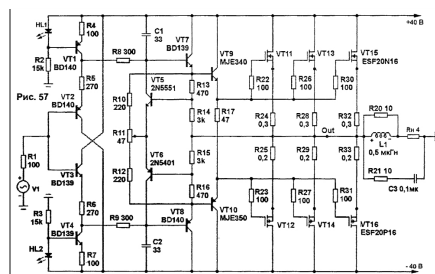


Рис. 55

Табл.2. Краткие характеристики транзисторных ВК

Схема (рис.)	Коеф. передачи, дБ		Частота среза, МГц		Δφ, град.	Коэффициент гармоник, %			
	Max	Min	Max	Min		R _н =100 Ом			
						1 мГц	20 мГц	1 мГц	20 мГц
D 1B-1B (рис.39)	0,2	2,25	6	0,55	2,3	0,3	0,3	0,3	0,3
D 1B-2B-4B (рис.41)	-0,07	-1,4	>10	1,5	1,2	0,1	0,1	0,1	0,1
S 1B-1B (рис.43)	-0,07	-1,5	11	0,17	8	0,02	0,03	0,25	0,25
PFB S 1B-1B (рис.44)	-0,27	-1,5	2,9	1,6	0,5	0,02	0,03	0,04	0,04
PFB S 1B-1B (рис.45)	-0,8	-1,7	7	3	0	0,02	0,02	0,02	0,02
S 1B/A1-1B-1B (рис.46)	14,7	13	0,55	0,21	4,5	>4 (50 Ом)	>4	-	-
S 1B-2B-FB (рис.51)	-0,1	-1,2	33	0,7	7	0,08	0,08	0,08	0,2
PFB D 1B-1B-1B (рис.55)	0,06	-0,12	4	3,5	0	0,03	0,04	0,04	0,04
PFB D 1B-1B-3B (рис.57)	0,05	-0,08	10	8	0	0,03	0,03	0,03	0,03

Заменим выходные транзисторы на полевые транзисторы типа Lateral (рис . 57



По вышению надежности усилите лей за счет исключения сквозных то ков , которые особенно опасны при кли пировании высокочастотных сиг налов , способствуют схемы антинасыщения выходных транзисторов .

Варианты таких решений показаны на рис. 58. Через верхние диоды происходит сброс лишнего тока базы в коллектор транзистора при приближении к напряжению насыщения. Напряжение насыщения мощных транзисторов обычно находится в пределах 0,5...1,5 В, что примерно совпадает с падением напряжения на базно-эмиттерном переходе. В первом варианте (рис. 58 а) за счет дополнительного диода в цепи базы напряжение эмиттер-коллектор не доходит до напряжения насыщения примерно на 0,6 В (падение напряжения на диоде). Вторая схема (рис. 58б) требует подбора резисторов R1 и R2. Нижние диоды в схемах предназначены для быстрого выключения транзисторов при импульсных сигналах. Аналогичные решения применяются и в силовых ключах.

Рис. 58

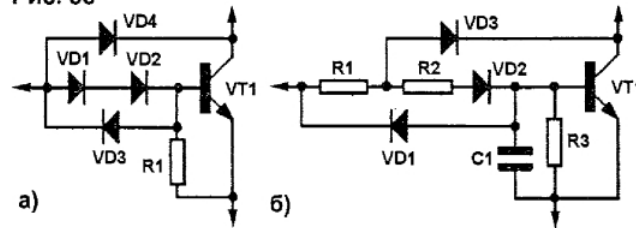
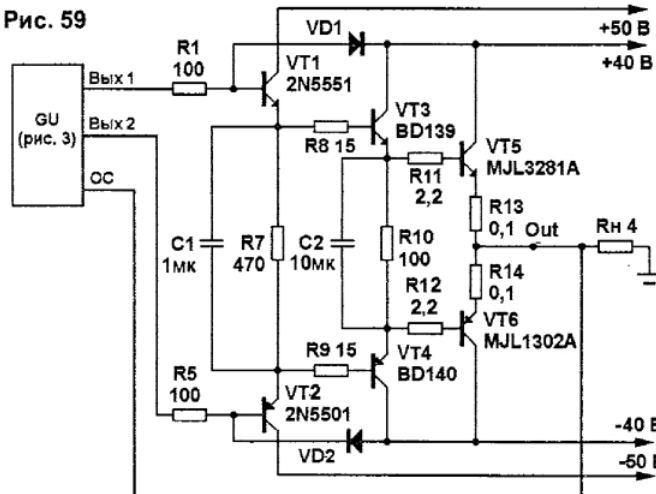


Рис. 59



Часто для повышения качества в УМЗЧ делают раздельное питание, повышенное, на 10...15 В для входного каскада и усилителя на пряжения и пониженное для вы ходного каскада. В этом случае во избежание выхода из строя выходных транзисторов и снижения перегрузки предвыходных необходимо использовать защитные диоды. Рассмотрим этот вариант на примере модификации схемы на рис. 39. В случае повышения входного напряжения выше на пряжения питания выходных транзисторов открываются дополнительные диоды VD 1, VD 2 (рис. 59), и лишний ток базы транзисторов VT 1, VT 2 сбрасывается на шины питания оконечных транзисторов. При этом не допускается повышения входного на пряжения выше уровней питания для выходной ступени ВК и снижается ток коллектора транзисторов VT 1, VT 2.

Схемы смещения

Ранее, с целью упрощения, вместо схемы смещения в УМЗЧ использовался отдельный источник напряжения. Многие из рассмотренных схем, в частности, выходные каскады с параллельным повторителем на входе, не нуждаются в схемах смещения, что является их дополнительным достоинством. Теперь рассмотрим типовые схе мы смещения, которые представлены на рис. 60, 61.

Рис. 60

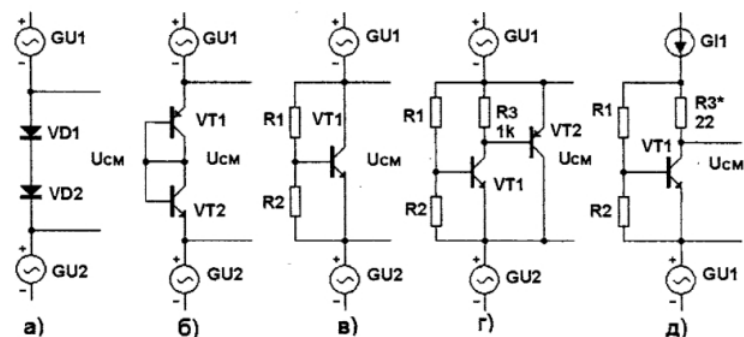
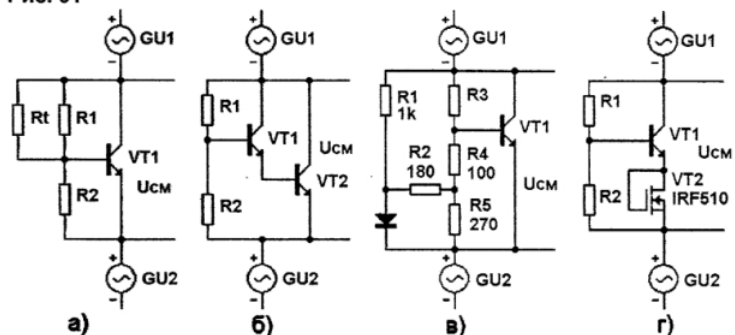


Рис. 61



Генераторы стабильного тока. В современных УМЗЧ широко используется ряд типовых схем: дифференциальный каскад (ДК), отражатель тока ("токовое зеркало"), схема сдвига уровня, каскод (с последовательным и параллельным питанием, последний также называют "лопатым каскодом"), генератор стабильного тока (ГСТ) и др. Их правильное применение позволяет значительно повысить технические характеристики УМЗЧ. Оценку параметров основных схем ГСТ (рис. 62 - 66) сделаем с помощью моделирования. Будем исходить из того, что ГСТ является нагрузкой УН и включен параллельно ВК. Исследуем его свойства с помощью методики, аналогичной исследованиям ВК.

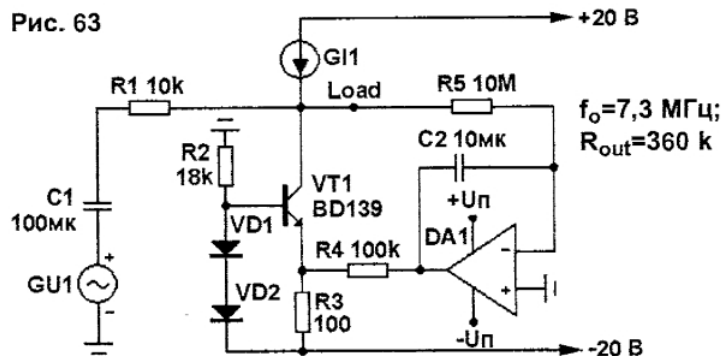
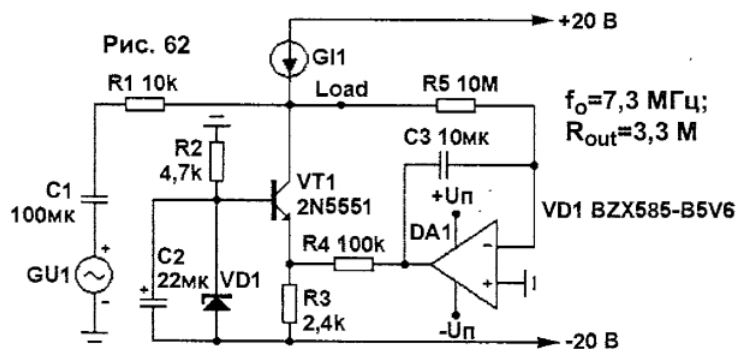


Рис. 64

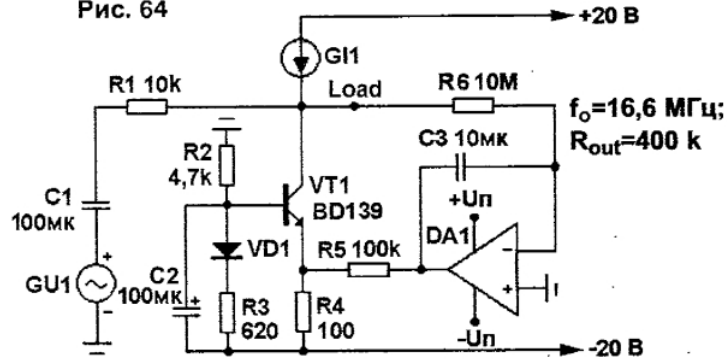


Рис. 65

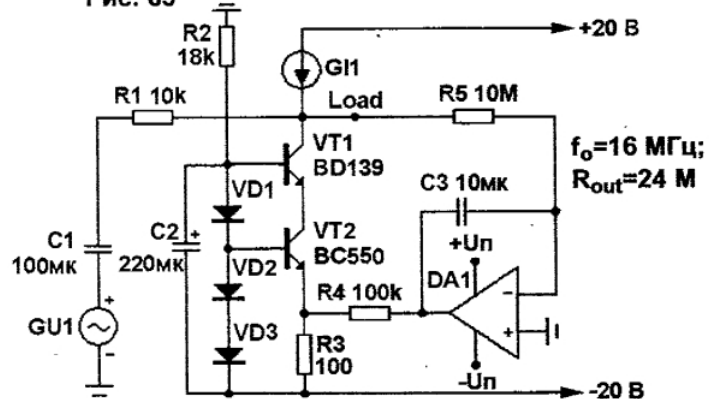
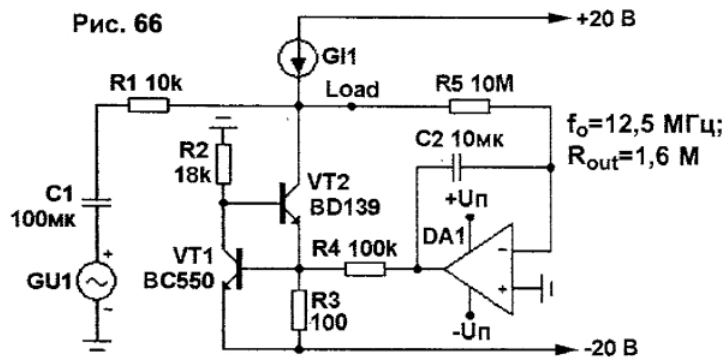


Рис. 66



Отожатели тока

Рассмотренные схемы ГСТ — это вариант динамической нагрузки для одноканального УН. В УМЗЧ с одним дифференциальным каскадом (ДК) для организации встречной динамической нагрузки в УН используют структуру "токового зеркала" или, как его еще называют, "отражателя тока" (ОТ). Эта структура УМЗЧ была характерна для усилителей Холтона, Хафлера и др. Основные схемы отражателей тока приведены на рис. 67. Они могут быть как с единичным коэффициентом передачи (точнее, близким к 1), так и с большим или меньшим единичным (масштабные отражатели тока). В усилителе напряжения ток ОТ находится в пределах 3...20 мА. Поэтому испытываем все ОТ при токе, например, около 10 мА по схеме рис. 68.

а) простой ОТ б) ОТ на трех транзисторах в) ОТ Вильсона г) каскодный ОТ

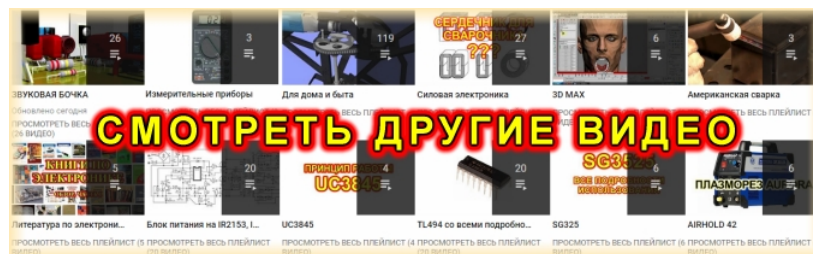
Табл. 3

Схема ОТ	$K_{ш}, \text{дБ}$	$f_o, \text{МГц}$	$I_{\text{вх1}}, \text{мА}$	$I_{\text{вых1}}, \text{мА}$	K_i
Простой ОТ	-0,42	24	9,822	9,761	0,994
3-транзисторный ОТ	-0,3	42	9,671	9,777	1,01
ОТ Вильсона	-0,24	35	9,642	9,685	1,0045
Каскодный ОТ	-0,41	22	9,637	9,45	0,98

The schematic diagram illustrates a 100-Watt, 100-MHz vacuum-tube transmitter. The circuit is powered by a 100V 0.1A transformer. The input stage consists of a 6X4 diode rectifier, followed by a 2N5551 driver and a 2N5401 pusher. The tuned circuit is a 6BE6, which is coupled to a 2N5551 driver and a 2N5401 pusher. The output stage is a 6BE6, which is coupled to a 2N5551 driver and a 2N5401 pusher. The output is coupled to a 1N5408 diode and a 1N5408 diode. The circuit is designed for 100-Watt, 100-MHz operation.

А. ПЕТРОВ, Радиомир, 2011, №№ 4 - 12





Адрес администрации сайта: admin@soundbarrel.ru