

Чего мы не слышали?

или почему микросхемы «не звучат»

Многие сталкивались с тем, видя прекрасные характеристики в паспорте на оборудование, приобретают его. Подключая его дома, думают, «ну, птичка спой», а оно, в ответ – «Каааар!»

Карл Фридрих фон Мюнхгаузен

Как то по случаю приобрел я маленькие пассивные колонки для ..., да просто без причины, просто понравились очень. Захотелось собрать простенький усилочек на микрухах для этих колонок. Порылся на форумах и из нескольких схем выбрал для себя подходящую схему. Поскольку, я очень ленивый, то схемы собирал не на печатных платах, а навесным монтажом, тем более все они простые. Какие схемы – это не важно, разговор не об этом. Самый главный этап построения усилителя, я прошёл. С схемой, как бы определился, осталось дело за малым – перенести творение на платы и воткнуть всё в корпус. Внутренний голос и тараканы в голове притихли, запасшись попкорном.... Иными словами, я и не знал во что ввязался.

Усилитель, собранный навесным монтажом играл замечательно, заметно лучше усилителя собранного китайцами на тех же микросхемах. Выбор печатных плат не стоял. Во-первых, платы, существующие в интернете, не подходили к моему корпусу. Во-вторых, хотелось самому развести плату – голова на месте, ну и руки не совсем из попы. Про «рамки» и «звезду» я слышал. В моих платах «звёзды» были, а «рамки» не рисовал. Мужик сказал – мужик сделал.

Вытравил, спаял, включил.... И пошёл нервно курить на балкон. Такого поворота я явно не ожидал. Так что же произошло? Что я сделал не так?...

У каждого, наверняка, есть сборник композиций, на котором он опробует и сравнивает свою технику. На тот момент и у меня было несколько таких. Вот пара композиций;

Armin van Buuren - Blue Fear: каждый электронный звук полностью на разном уровне как по глубине, так и по ширине и виртуально перемещается в пространстве, полностью не зависимо друг от друга, **как 3D** изображение

Deep Forest- Sweet Lullaby: сидел ночью за компьютером мои все спали, колонки у меня по бокам от монитора, когда «тетенька» запела у меня **за плечом**, я реально перепугался.

Теперь всего этого не было!

Так что же произошло с усилителем? Я выбрал схему, которая, по моему мнению, наиболее четко отражала то, что я хотел услышать и почувствовать от воспроизводимого контента. Ни смотря на свою простоту и наличие микросхемы, была возможность услышать расположение инструментов внутри звукового пространства, звук не был привязан к колонкам, в музыке были заметны перемещения звуков далеко за пределы акустики, как в глубину, так и в ширину и высоту, были слышны инструменты по отдельности, а не все вместе, одним *монолитным констатированием наличия сигнала*. Всё понятно, что это только микросхема, но звучание было другим, именно «звучание», а не звук.

Когда, я курил на балконе, размышлял. Почему всё круто изменилось после переноса усилителя на платы? Я понял, что всё гораздо сложнее и найти приемлемую схему – это не самое главное. А вдруг это ни у одного у меня?

Бросать было жалко и вплотную началось изучение вопроса построения печатных плат. Мои платы постепенно превратились в полигон для испытания. Забегая вперед, скажу, что и другие платы тоже))). А сборка усилителя совместилась с изучением влияния на «звучание» разводки печатных плат и конструктива в целом. По анализу печатных плат, можно понять, что многие так и не услышали, на что же способны их микроухи, а возможно даже и дискретные усилители.

Цифры и графики коэффициентов я приводить не буду. Это относится скорее к финишному этапу создания устройства. Я не проводил измерения, потому что все изменения были настолько явными, что это можно сравнить с поиском слона при помощи микроскопа. Создание научного труда, для меня, не является целью, тем более, что всё и так описано в литературе, приведенной в конце статьи.

Моя цель, поделится и показать, какие наиболее вопиющие ошибки допускаются при создании печатных плат ,кочующих от усилителя к усилителю, а при подборе печатной платы, понять, подходит она для нас или нет и почему.

Посему буду описывать и объяснять прописные истины, в меру своего знания или незнания(но на данном этапе жизни)!

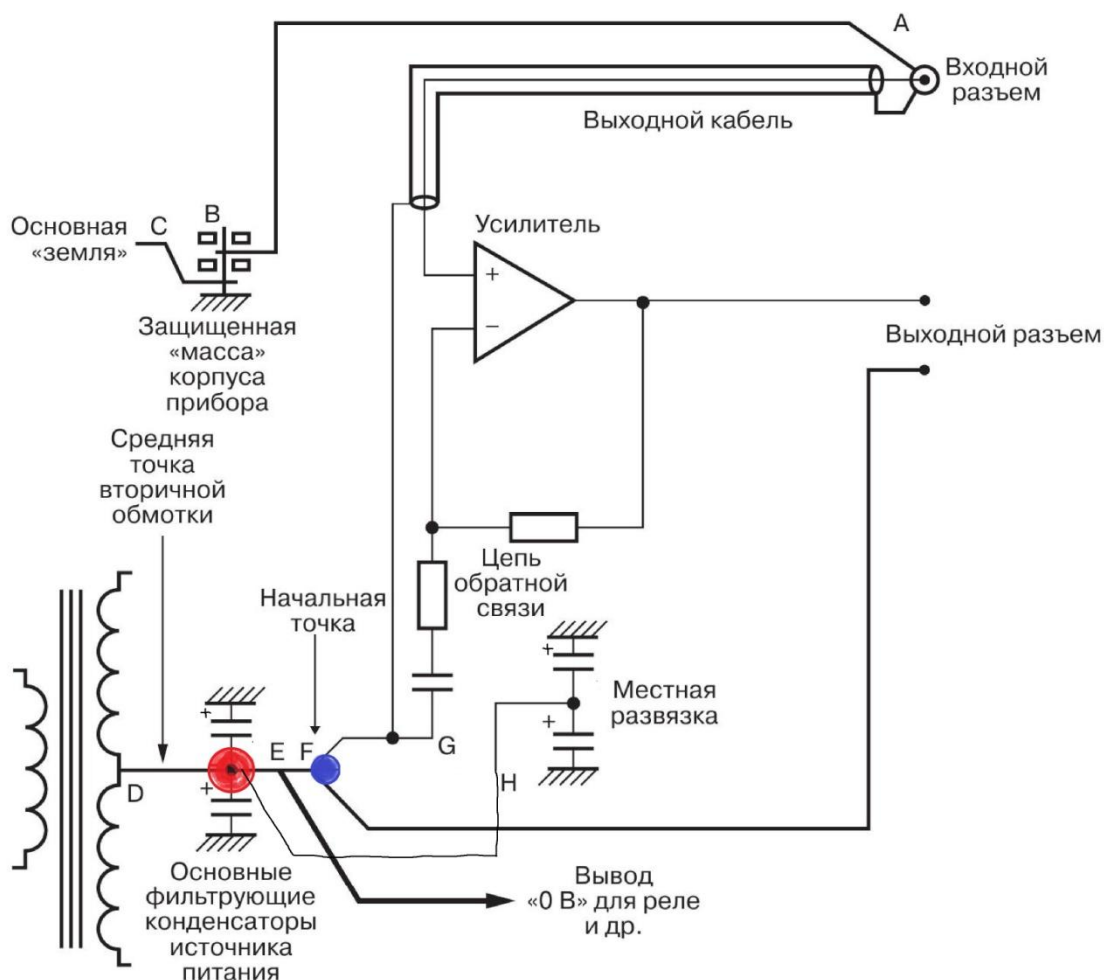
Применение этих простых правил позволит не только сохранить, задуманные автором схемы характеристики, но и, как говорят «оторвать звучание от колонок», «услышать большое количество мелких деталей и нюансов», «расширить звуковую картину»

И так наконец-то перейду от затянувшегося вступления к основной части

Хорошая печатная плата ценится, так- же как и хорошая схема, но является большой редкостью. Можно найти схему хорошего усилителя, который является чьим- то успешным коммерческим проектом, но безуспешно искать на него печатную плату – это уже коммерческая тайна. Проще обстоит дело с альтруистическими схемами, но тоже не всё так гладко. Можно собрать усилитель и только в конце понять, что он «не звучит» или играет не так как задумывался или рекламировался. **Одни и те же схемы и компоненты, но установленные на разных платах – это разные усилители, имеющие разные характеристики!**

Маленькая плата удобна. Она легко размещается в любом корпусе, но взаимное влияние компонентов схемы увеличивается. В микросхеме и так все сжато до нескольких миллиметров, а тут еще и платой всё усугубляется. Должна быть разумность в выборе габаритов.

Приведу иллюстрацию из книги Дугласа Сельфи «Проектирование усилителей». Буду считать её отправной точкой для анализа. На этой схеме исправлены опечатки из книги)))



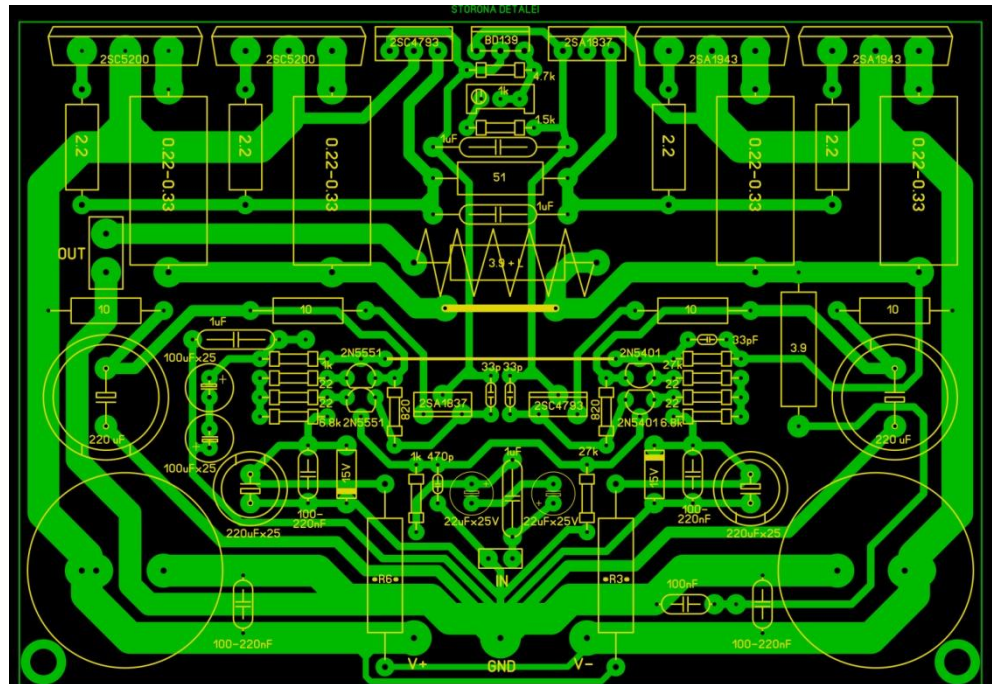
1. Начну с питания:

1. Нужно не забывать, что диодный мост, является источником сильных импульсных помех. Его лучше располагать за электролитами фильтра – накопителя.
2. Понятно, что дорожки питания должны быть достаточно широкими для обеспечения минимального сопротивления (индуктивности), для прохождения больших токов и располагать их надо рядом с полигоном земли.
3. Питающие шины должны проходить рядом друг с другом, что бы компенсировать помехи, создаваемые большими импульсными токами на остальную схему.
4. При выборе вариантов разводки шин питания и «земли» нельзя допускать образования замкнутых контуров , особенно это касается односторонних печатных плат. Такие замкнутые контуры будут служить своеобразной антенной, при этом, чем больше будет площадь такого контура, тем больше будет уровень наведенных в нем помех. Размещайте шины «земли» и питания в таких случаях должно быть параллельно и близко друг к другу.



Рис. Возникновение замкнутого контура, образованного шиной «земли» и питания

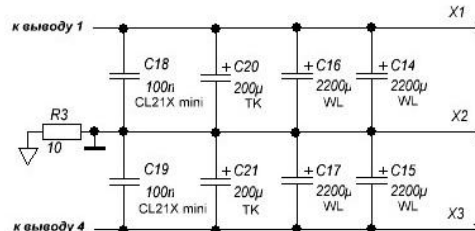
Плата этого транзисторного усилителя – яркий пример, как делать не надо:



5. Накопительные и развязывающие конденсаторы должны находиться как можно ближе к микросхеме. Развязывающие емкости, вообще лучше припаивать на ноги ИС. При установке нескольких ИС, на одной линии питания, накопительные и развязывающие конденсаторы устанавливаются для каждой микросхемы.
6. Не нужно игнорировать, изображённые на схеме питания мелкие электролиты (200, 470, 680мкф.), которые стоят параллельно с электролитами большей емкости. Конденсаторы работают на разных частотах и обеспечивают стабильную работу усилителя во всем частотном диапазоне.

Их отсутствие может сказаться на недостатке средних частот. Сборка всего блока питания на Low ESR конденсаторах не желательна, т.к звучание с таким блоком питания можно охарактеризовать как «сухое», отсутствует «глубина» на низких частотах.

Фильтр на плате канала усилителя



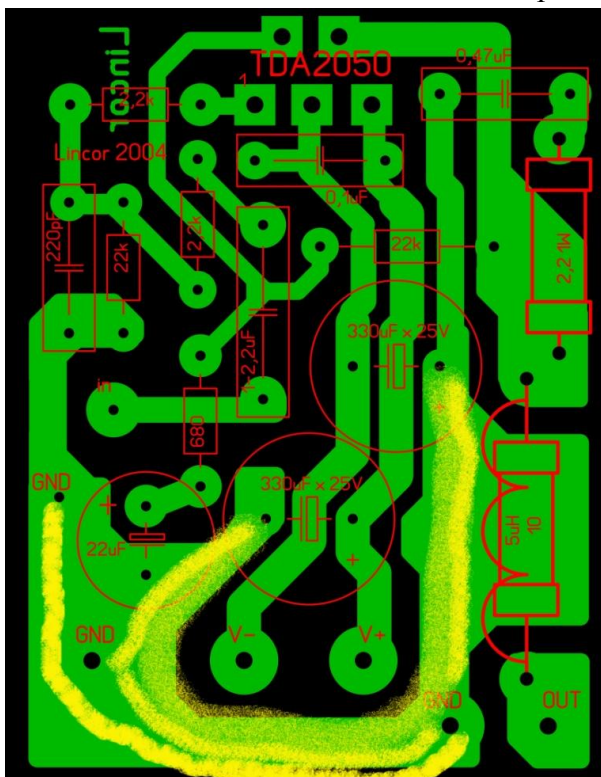
7. Распространенная ошибка:

емкости электролитов по «+» и по «-» питаний аналоговых микросхем брошены на земляной слой далеко друг от друга, в результате чего по земляному слою течет контурный ток потребления. При усилении больших сигналов, выходные каскады практически всех аналоговых микросхем переходят в режим АВ, и токи потребления по отдельным («+» и «-») цепям питания начинают содержать много высших гармоник сигнала. При несовпадении мест заземления блокировочных конденсаторов для «+» и «-», эти токи начинают «растекаться» по земляным цепям, формируя помеху в них. Именно поэтому емкости от «+» и «-» надо стараться располагать так, чтобы расстояние между точками их присоединения к земляному слою было минимальным.

8. В точке соединения накопительных конденсаторов, которая называется «конденсаторная земля»(рис. 1) - это красная точка, к ней нельзя подключать выход на акустику и другие элементы схемы. Для этого делается отвод и создается еще один узел «F» -синяя точка. И уже она считается отправной точкой для создания «звезды», но никак не красная!

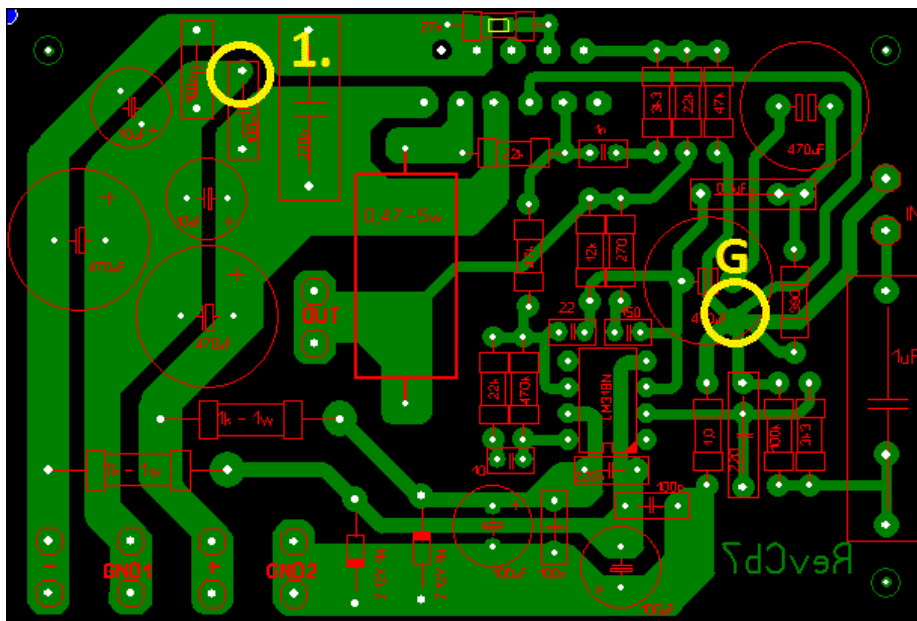
У себя, я выкинул все разряжающие резисторы для накопительных конденсаторов. С одной стороны они делают хорошее дело – разряжают емкости при выключенном усилителе, с другой – они отрицательно отражаются на динамике усилителя. Резистор 2,2 кОм при питании +/-25В и емкости 10 000мкф. уже вносит заметное влияние

Пример платы (рис 2.)



- Точки подключения электролитов к земляному полигону сильно разнесены.
- GND акустики находится м/у накопительными конденсаторами, значит в сигнале присутствует импульсный ток заряда емкостей и средней точки трансформатора.
- Сигнал м/у GND акустики и GND входа тоже проходит через зону больших импульсных токов.
- Отбор сигнала на громкоговоритель так же осуществляется рядом с подводом питания, что увеличивает влияние линий питания на выходной сигнала.

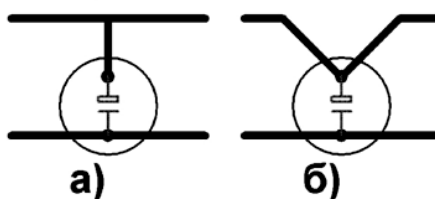
Пример платы (рис 3.)



- Точка G (соединение слаботочных сигналов) - в наличии
- Конденсаторная земля - на месте
- Но, куда подключается GND акустики? Я предполагаю, она подключается к GND общего блока питания для двух каналов. Теперь отследим путь прохождения сигнала м/у точками G, местом подключения GND акустики и «конденсаторной землёй» и проанализируем, сколько добра подмешивается в сигнал. Учитывая, что от БП или средней точки трансформатора до точки GND1 может идти «игольчатый» ток с частотой 100Гц!
- Ошибкой является и подключение стабилитронов и емкостей на участке от G до GND2. Это лучше делать отдельными дорожками до точки «1».
- GND2 нужно соединить напрямую с точкой «1», туда же GND акустики и вывод резистора 1 Ом, отпаянный от полигона GND2 .

В статье «Специальные требования к разводке печатных плат» есть такой пункт, которому лично я доверяю:

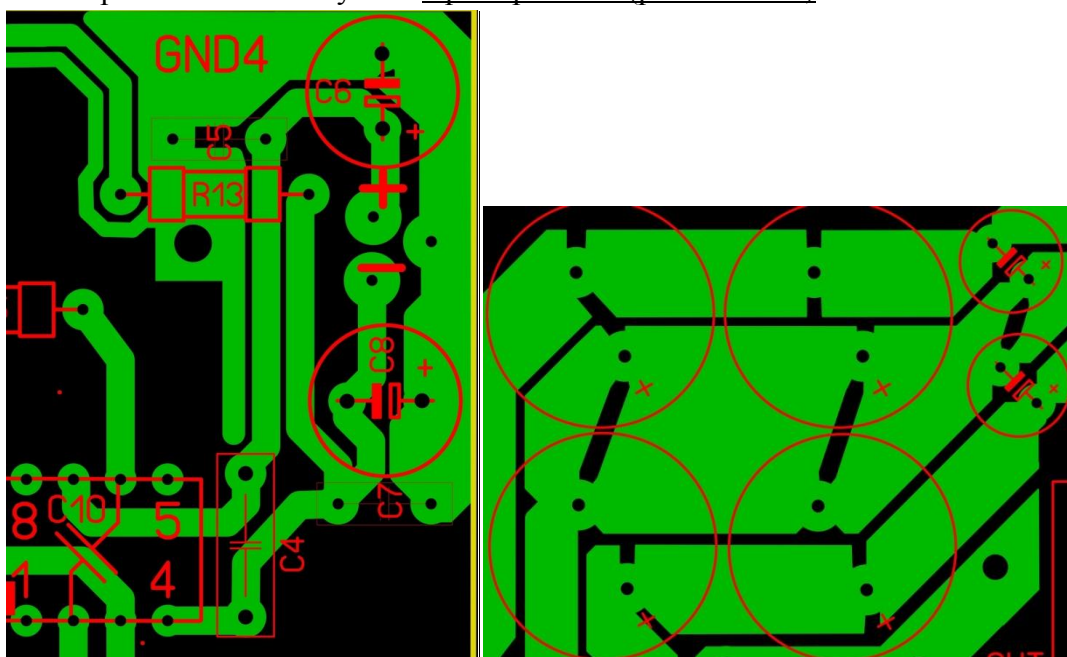
Это тривиальный конденсатор фильтра. Казалось бы, что может быть особенного в его включении? Однако эксперименты показывают, что коэффициент фильтрации помех таким конденсатором, работающим в плате, показанной на **рис. 3а**, в среднем на 20% хуже, чем включённым в плату, изобр. на **рис. 3б**.



Варианты трассировки платы фильтра.

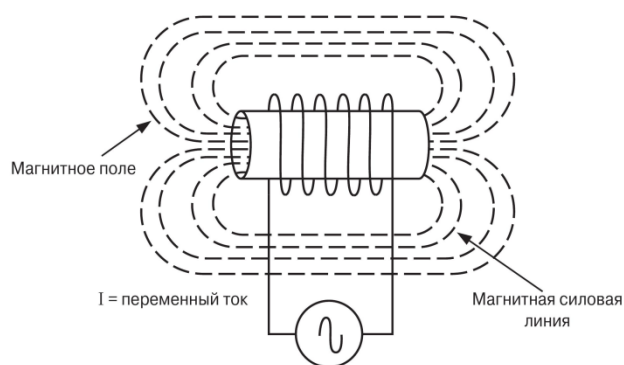
Приходящее с источника напряжение сначала попадает на конденсатор и лишь оттуда на вывод питания ОУ.

Этим приёмом я и пользуюсь: Пример платы (рис 4а и 4б.)



2. Немного о выходных цепях:

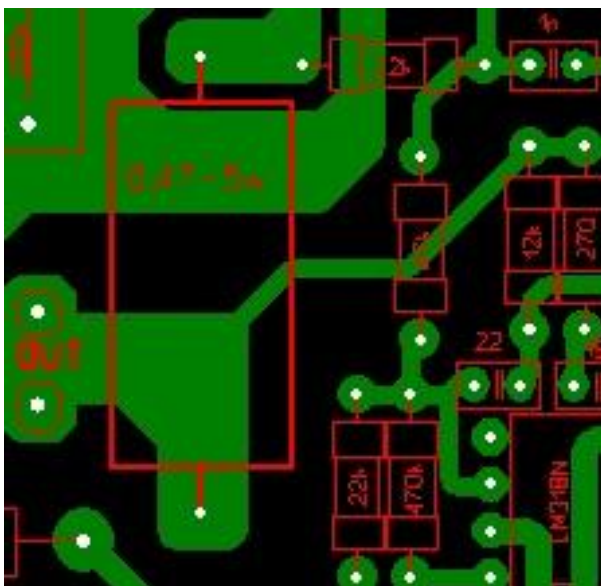
1. Выходные цепи усилителя, так же как и линии питания, являются сильноточными, распространяющими импульсные помехи. Практически все усилители имеют на выходе, до акустики, либо катушку, либо мощный проволочный резистор (тоже индуктивность). Эти элементы создают очень сильные наводки друг на друга и на слаботочные элементы схемы. И чем больше по ним протекает ток, чем больше их индуктивность, меньше расстояние до слаботочных элементов и дорожек их соединяющих, тем сильнее это влияние.



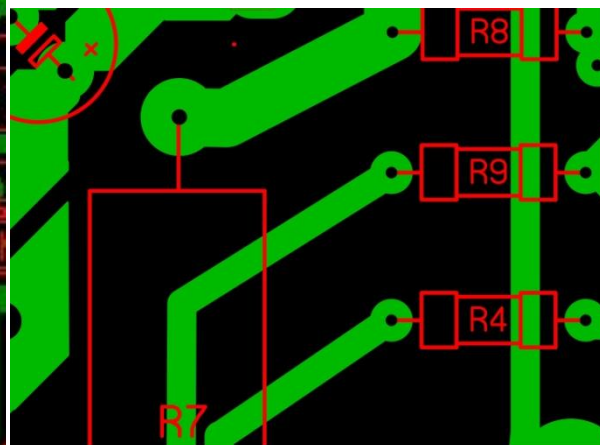
Воздушная катушка с возбуждением от источника переменного напряжения

2. Снизить это влияние можно увеличив расстояние м/у элементами или изменить угол взаимного расположения с 0 до 90 градусов (от параллельного расположения до перпендикулярного)
3. Нельзя устанавливать мощные резисторы вертикально – это вызывает не равномерный нагрев резистора.

Пример платы (рис 5.)



Пример платы (рис 6.)



На рис. 6 влияние мощного резистора на резисторы ООС будет меньше, чем на рис. 5.

Еще один способ снижения – экранирующая перегородка, припаянная к точке «F», установленная м/у мощным элементом и слаботочными цепями. Главное не переусердствовать, иначе образуется паразитная ёмкость м/у катушкой (резистором) и экраном, что негативно скажется на работе усилителя.

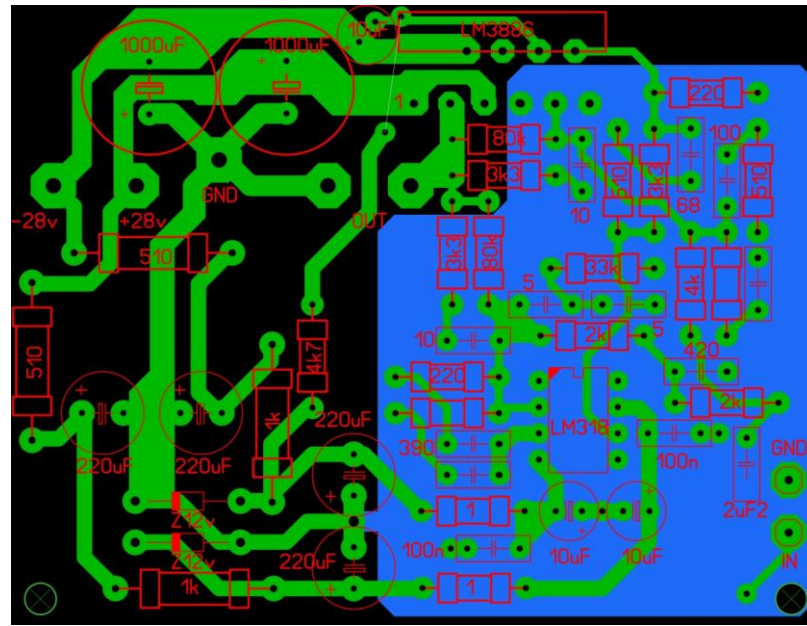
4. Для снижения индуктивности мощных резисторов, можно применить несколько параллельно соединенных SMD резисторов, суммарной мощностью не менее чем у исходного или безиндукционные резисторы.
5. В выходных цепях, так же как и в силовых, действует принцип: чем короче – тем лучше.
6. Цепь Цобеля и выходную индуктивность лучше вообще перенести с платы на выходные разъемы. И разместить индуктивности на расстоянии друг от друга в одной оси.

3. Из практики экранирования:

1. Экранирование само по себе занятие благородное, но при чрезмерном употреблении вредит.
Экранирование выходных проводов я не рекомендую. Проверено. Снижается динамика, звук становится тусклым, звуковая сцена становится заметно меньше.
2. Установка экранирующих перегородок, как я уже писал выше, может спровоцировать появление паразитной емкости. И заранее спроектировать перегородку на плате тяжело – см. пункт 1.
Из моего небольшого опыта: при малом размере платы, хороший результат даёт перегородка, отделяющая накопительные ёмкости от слаботочной части. Главное она не должна находиться над сигнальными дорожками в одной оси, а при параллельной установке иметь расстояние м/у ними не менее 3-4мм.
3. Заливка полигонами, так же как и экранирование имеет две стороны. Залив полигоном входные цепи, можно заметно ухудшить звучание. Особенно осторожно нужно использовать полигоны под операционными усилителями. Я думаю

паразитные связи гораздо более серьёзная проблема, чем внешние помехи и наводки. От помех можно избавиться, а от паразитных связей уже нет (об этом чуть позже)

Пример платы (рис 7.)



Это одна из версий платы для усилителя Zero D 50. Основываясь на выше описанном, можно представить, чего можно ожидать от такого усилителя, если использовать его ни для сабвуфера, а для стерео. Ведь все просто и вроде красиво. Создатель схемы Zero D 50, Nick вводил сложные ОС и корректировки, чтобы добиться хорошего результата, которого наверняка не будет на этой плате.

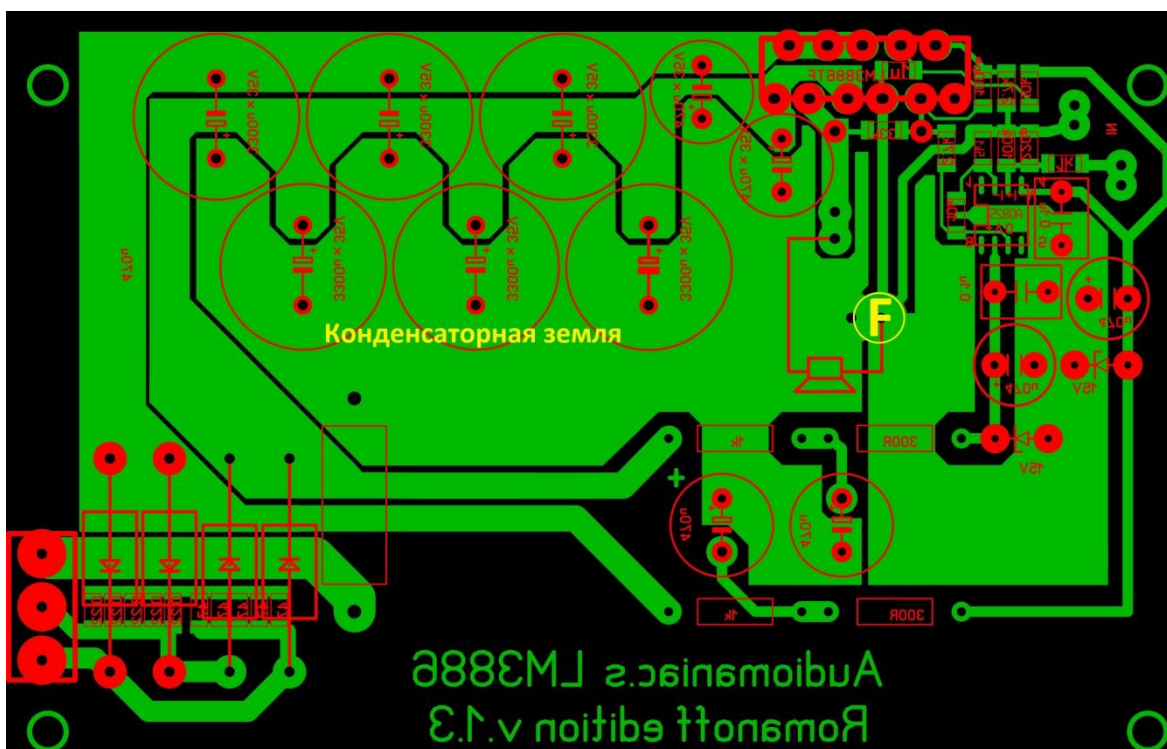
Разговаривая о платах, не возможно пройти мимо усилителя Audiomaniac Amp No. 1. Раньше смотря на плату Romanoff edition v1.3, я не понимал, почему именно так, но со временем всё становится на свои места. Наверное, Audiomaniac один из первых заострил внимание форумчан, не только на схемотехнике, а именно на **реализации** простого усилителя.

Попробую объяснить особенности данной платы от Romanoff, с точки зрения своего понимания.

- Печатная плата однослойная, я думаю, ни кто не будет спорить о том, что это дешевле и проще в изготовлении для начинающего «радиогубителя». Девиз «качество в массы» в действии.
- Очень удобно и грамотно реализована «конденсаторная земля» накопительных емкостей, токи средней точки не влияют на слаботочный участок земли и GND акустики.
- Пример правильной реализации «звезды», соединяющейся в одной точке «F» после конденсаторной земли.
- Все слаботочные земли подключаются отдельными проводниками к точке «F»
- Выходная цепь отделена «экранирующей землёй» от слаботочной земли.
- Дорожки питания проложены вместе, повторяя форму друг друга, но под 90 гр. относительно выхода, а все вместе далеко от входных цепей.
- Разделение RC фильтра питания входного ОУ на двойной, улучшает фильтрацию питания, снижает индуктивность питающей линии и делает подвод питания к AD825 более удобным. Резисторы можно использовать как перемычки.

- Обеспечено минимальное расстояние от накопительных и развязывающих конденсаторов до выводов питания обоих ОУ.
- Резисторы ОС и все звуковые цепи проведены по кратчайшему расстоянию.

Пример платы (рис 8.)



Правда, я не знаю, возможно, я сделал бы дорожки питания с прорезями, как на рисунке 4б.

4. Входные цепи и линии ОС:

Потихоньку добрался до самого сложного и противоречивого пункта. Почему сложного? Потому, что эти цепи, хоть и занимают меньше места на печатной плате, являются очень важными. Потому, что они являются слаботочными и кроме того, что их элементы и соединительные дорожки производят взаимное влияние и испытывают паразитные связи между собой, так еще и в большей степени воспринимают наводки от силовых и выходных цепей и воспринимают помехи, создаваемые другими устройствами. Почему противоречивого? Потому, что иногда встречаются взаимоисключающие рекомендации для разводки сигналов и не понятные для неопытного человека. Бывает и такое!

Если с выходными и питающими линиями всё более или менее просто, то с входными цепями и сигналами ОС, гораздо сложнее. Можно подумать, что токи здесь пренебрежительно малы, а напряжения незначительны и они не могут влиять друг на друга.

Здесь, нужно привести еще несколько базовых рисунков, исходя из которых, будет строиться дальнейшее понимание протекающих процессов на печатной плате, которые многими не берутся в расчёт.

Печатная дорожка - это не только соединительный элемент между несколькими деталями, это полноценный пассивный радиоэлектронный компонент схемы, имеющий свои характеристики и вносящий коррективы в работу всего устройства целиком.

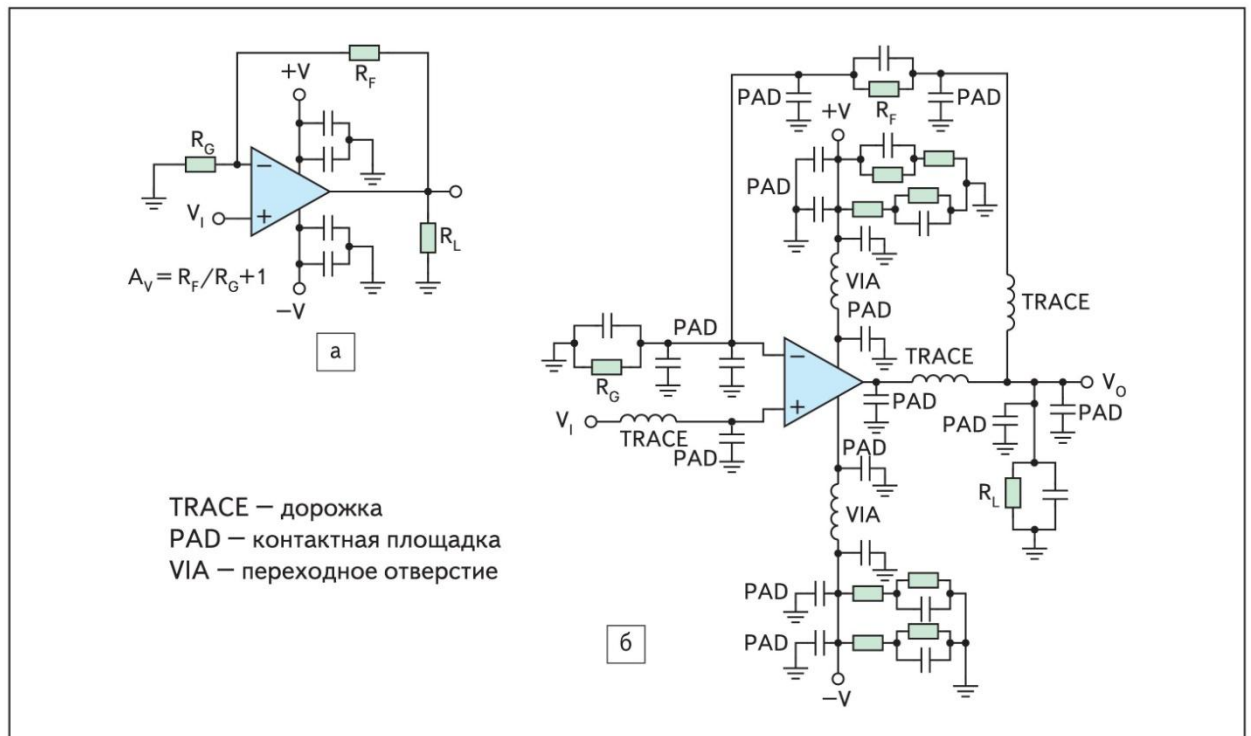


Рис. 9. Типичная схема на ОУ: а) проект; б) с учетом паразитных элементов

Рис. 9 это иллюстрация из статьи Джона Ардизони. «Практическое руководство по разработке печатных плат для высокочастотных схем».

Причем здесь высокоскоростные схемы и усилитель на обычной микросхеме? При том, что если приучить себя создавать печатные платы, как это положено, для высокоскоростных схем, можно избавиться себя от проблем сейчас и выработать навык на будущее, для сложных устройств.

А рис. 10 - это иллюстрация из книги Брюса Картера и Рона Манчини «Операционные усилители для всех»

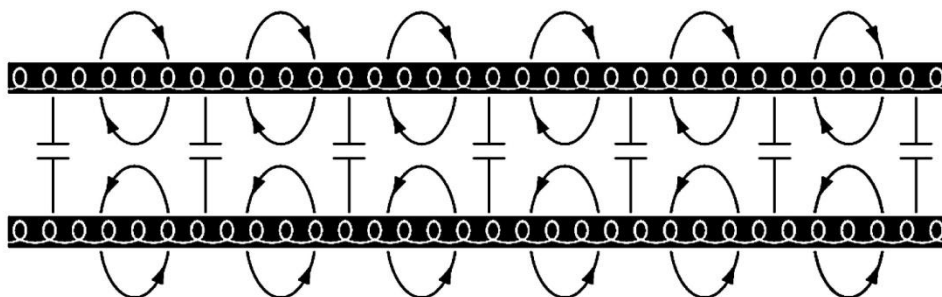


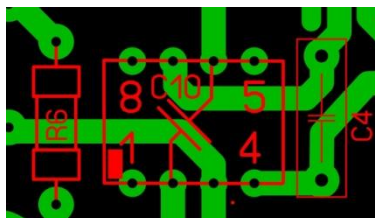
Рис. 10 . Связи между параллельными проводниками.

«Если два проводника проходят рядом друг с другом, между ними образуются ёмкостная и индуктивная связи» стр. 407. Выражается она в частичном проникновении сигнала из одного проводника в другой. Величина проникновения зависит от площади проводников, расстояния между ними, а так же частоты и тока.

«Между медными печатными проводниками, находящимися в разных слоях, образуется паразитная ёмкостная связь. Простое пересечение двух проводников в соседних слоях многослойных плат редко создаёт проблемы, а совпадающие участки дорожек образуют длинный узкий конденсатор» стр. 405.

- Требования к разводке сигнальных цепей ОУ:

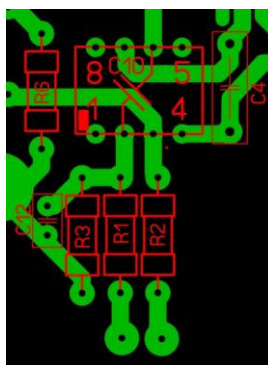
1. Инвертирующий вход и выход ОУ очень чувствительны к паразитной емкости. Паразитная емкость на выходе и инвертирующем входе может привести к нестабильной работе (самовозбуждению), на неинвертирующем входе – к нежелательному сужению частотного диапазона. Чтобы уменьшить нежелательную емкость, в полигоне земли должно быть «вскрыто окно» вокруг входных и выходных сигнальных выводов. Во всех остальных местах полигоны земли и питания крайне желательно делать без разрывов.
2. Согласующий резистор неинвертирующего входа, резистор ОС и выходной резистор необходимо располагать как можно ближе к выводам микросхемы.
3. Близкое расположение цепей неинвертирующего входа и минусовой шины питания ОУ, вызывает увеличение 2й гармоники. Для одинарного ОУ в корпусе DIP8 – это 3й и 4й выводы.



4. Следует избегать параллельного расположения проводников, идущих к инвертирующему и неинвертирующему входам ОУ.

Примечание: Этот пункт не следует путать с понятием передачи дифференциального сигнала, которое подразумевает, максимальное сближение дорожек и компонентов, диф.пары. Так же здесь не следует буквально применять понятие возвратных токов, о которых упоминается у Брюса Картера в книге «Операционные усилители для всех» стр.403. В звуковом тракте, такое расположение скорее навредит, нежели сыграет на пользу. О чем упоминается у Эрика Богатина «Понятие возвратного тока в диф. паре» От себя приведу пример одной моей ошибки:

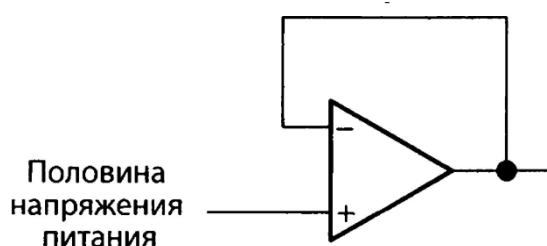
У меня на входе стоит ОУ в диф. включении, соответственно, не раздумывая, я развёл его симметрично. Вот так:



На выходе, тоже диф. включение мощного ОУ. Поскольку плата была промежуточная, решил поэкспериментировать и таким же образом совместить входные резисторы выходного ОУ. Какого же было моё удивление, когда я услышал результат. Звук стал, как «из ведра». Резистор я сразу вернул на место, но закралась мысль о входных параллельных резисторах первого

операционника... Развернул на 90гр. R2 и подпаял сигнальный кабель сразу на него. Как результат, появление мелких деталей в звуке, которых до этого не было слышно.

5. Проводники, идущие к входам ОУ, делают как можно короче.
6. Следует иметь в виду, что выводы регулировки смещения нуля ведут себя как дополнительные входы ОУ, и с ними надо обращаться аккуратно, в соответствии с рекомендациями производителя.
7. Применение 2х и 4х канальных ОУ, для разных каналов (левого и правого), способствует появлению перекрёстной помехи. В системах с высокими требованиями по межканальной изоляции применяют ОУ в отдельных корпусах. Если часть микросхемы (например, один канал от двойного ОУ) не используется, то её выводы соединяются так:



Выводы не используемого ОУ (рис 11.)

8. Установка высокоскоростных операционных усилителей в криватки не рекомендуется. Такая установка приводит к увеличению длины выводов и, как следствие, к увеличению паразитных емкостей, что может привести к недостижимости хороших результатов. Быстрые ОУ необходимо монтировать непосредственно на печатную плату.

- Требования к питающим линиям ОУ:

1. Для развязки по питанию устанавливайте у каждой ИС керамические(пленочные) конденсаторы. Расстояние от выводов питания до высокочастотных конденсаторов развязки не должно превышать 5мм. Для достижений эффективной развязки в широкой полосе частот могут потребоваться несколько конденсаторов разного номинала.

Существует два способа установки развязывающих конденсаторов:

Между шиной питания и землей. Этот метод в большинстве случаев работает лучше и позволяет использовать конденсаторы, параллельно подключенные от выводов питания ОУ напрямую к земле. Обычно достаточно двух, но некоторые схемы выигрывают от нескольких параллельно соединенных конденсаторов. Параллельное соединение конденсаторов с разной емкостью дает уверенность, что на выводах питания будет низкий импеданс по переменному току в широком диапазоне частот.

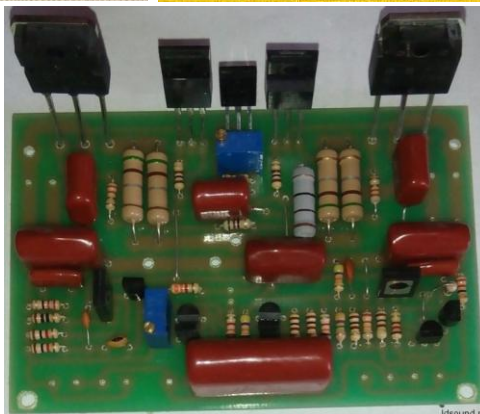
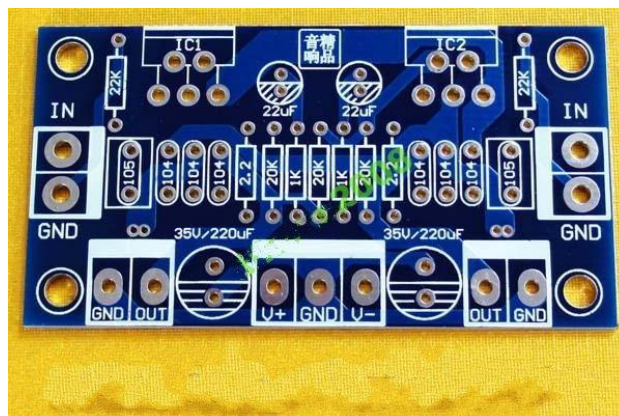
Между одной и другой шиной. Альтернативной конфигурацией является использование одного или более конденсаторов, подключенных между положительной и отрицательной

пинами питания ОУ. В этом случае требуется конденсатор с большим напряжением пробоя, что приводит к увеличению его размера. Однако этот вариант улучшает как PSR, так и характеристики по искажениям.

2. Для устранения самовозбуждения следует уменьшать (а не увеличивать) ёмкость развязывающего конденсатора.
3. Подходящие полигоны земли и питания не должны располагаться в непосредственной близости от сигнальных входных и выходных выводов микросхемы

- Общие требования к проводникам и размещению компонентов:

1. Перекрёстные помехи возникают не только внутри микросхемы. Они могут быть вызваны высокой плотностью монтажа пассивных компонентов. Не надо размещать резисторы вплотную параллельно друг другу, руководствуясь понятием – «так красиво» или «лишь бы втрамбовать»



2. Длина выводов, пассивных компонентов при впаивании, должна быть минимальной.
3. Некоторые разработчики печатных плат пытаются уменьшить длину печатных проводников, располагая резисторы на плате вертикально. Этот приём позволяет увеличить плотность монтажа и сократить длину проводников, но каждый резистор с выводом длиной около 1 см имеет заметную индуктивность и является излучателем и приёмником помех. Нагрев мощных резисторов происходит не равномерно.

4. Не используйте прямых углов при повороте печатных проводников, по возможности сглаживайте вершины углов.

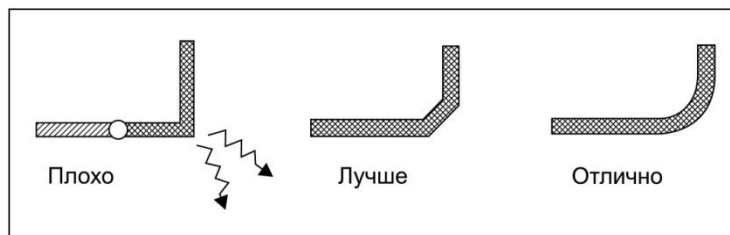


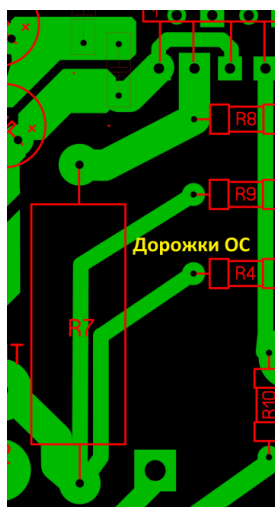
Рис.15 Сглаживание углов проводников

5. Минимизирование длины параллельных линий и предотвращение близкого соседства между сигнальными дорожками на одном и том же слое уменьшит индуктивную связь. При параллельной прокладке нужно увеличить расстояние м/у дорожками до 3х размеров ширины дорожки.

6. Минимизирование длины параллельных дорожек на смежных слоях предотвратит емкостную связь.

Из практики:

- Наибольшее отрицательное влияние на работу усилителя, оказывают две параллельные дорожки, проведенные на малом расстоянии друг от друга, чем длинные, расположенные на расстоянии, равном тройной их ширине.
 - Чем вести длинную дорожку, проще сделать перемычку, со стороны деталей, перпендикулярную другим дорожкам.
7. Сигнальные дорожки, требующие особой изоляции, должны проходить на разных слоях и, если их невозможно разнести подальше, — перпендикулярно друг другу, между ними следует проложить слой земли. Перпендикулярная разводка минимизирует емкостную связь, а земля образует электрический экран. **Но в этом случае не забываем про емкостную связь с экраном!**
8. Не следует «глубоко» в схему, с слаботочными сигналами, заводить сигнал ОС, имеющий высокий потенциал.



9. В транзисторных усилителях, точка отбора обратной связи, тоже имеет значение. Отбор сигнала ОС следует выполнять именно с выхода (дорожки к акустике)

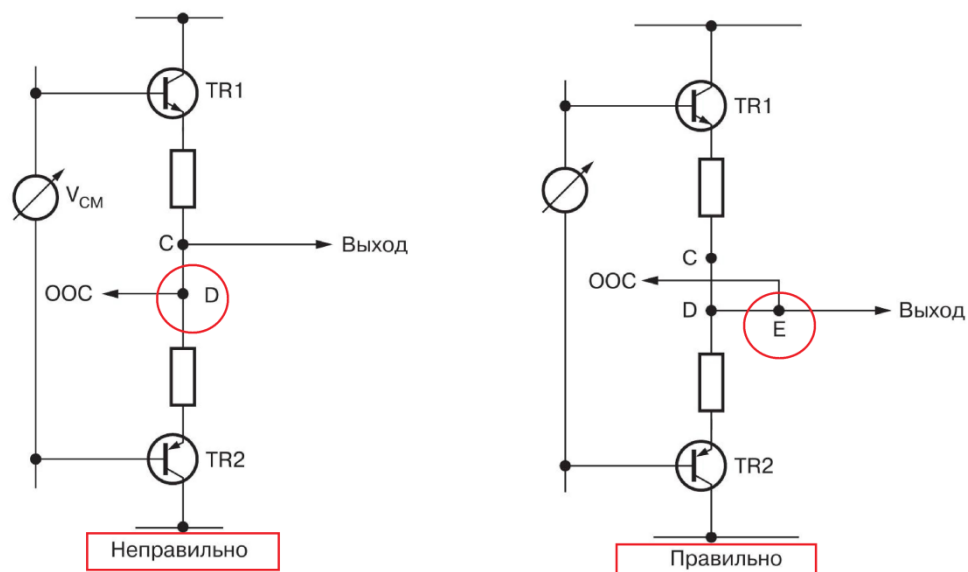


Рис. 6.10. Искажения № 7. Неправильный и верный способ выбора точки подключения критической обратной связи

Создание печатной платы – это всегда компромисс между разными техническими решениями для реализации проекта и получения хорошего результата.

Вот видимо всё. Это лишь видимая часть айсберга, но этой информации достаточно для выбора подходящей печатной платы для своего усилителя или для создания своей неповторимой печатной платы.

Кратко не получилось)))

a74, он же aleksey.RU или в миру, просто Алексей.

г. Воронеж 2018г

[Источники и дополнительная литература](#)