

Глава 11 Петля эффектов

Уровень линии. Посыл, линейный выход и драйверы петли эффектов. Буфер приёма сигнала после петли и последовательный «разрыв». Параллельный разрыв.

Петля эффектов это просто разрыв сигнала усилителя, в который могут быть подключены различные эффекты (см. рис. 11,1а). Разрыв, как правило, делают после предъусилителя, так как большая часть тона звука уже сформирована и перегруз также порождается лишь предъусилителем, непосредственно до его отправки на дополнительное устройство включённое в разрыв. После прохождения сигнала по этим дополнительным устройствам он возвращается обратно в усилитель для окончательного усиления мощности. Конечно сигнал «посыла» не обязательно должен вернуться обратно так как он может быть послан на пример на микшерный пульт, устройство записи или другой усилитель. Конечно же, функция «линейный выход» (Line out) так же будет описана в этой главе.

Спрос на усилители с наличием выхода на петлю эффектов в последнее время заметно вырос, хотя функции самой петли по прежнему вызывают различные разногласия. Есть те кто утверждает что тембр хорошего лампового усилителя не должен быть «испорчен» путём добавления к нему безвкусных «каменных» эффектов или зам блок посыл - возврата даже без подключения эффектов плохо влияет на «сырой» звук самого усилителя, так как сигнал проходит через лишние цепочки. Конечно, некоторые петли эффектов в коммерческих усилителях (в основном ранние 1970-е и 1980-е года) были крайне плохо спроектированы, создавая лишний шум, потерю высоких частот или отсутствие буфера возврата, что возможно и привело к недовольству среди некоторых музыкантов (которые могли винить в это влияние самих эффектов в петле).

Есть также много авантюристичных музыкантов, которые считают, что не могут обойтись без петли эффектов поверх обычного звука усилителя.

Петли эффектов могут быть двух типов: последовательная и параллельная: их функциональное различие хорошо видно из рис. 11,1. При последовательном разрыве (рис.11,1 а) сигнал усилителя полностью разрывается и эффект вставляется в этот разрыв. Конструктивно это очень просто организовать и у многих усилителей разрыв устроен именно так. Однако без достаточно просчитанной разработке, результат может принести лишь разочарование, так как основной тон усилителя будет полностью изменён вставкой эффектов, которые работают при гораздо более низком уровне сигнала по сравнению с ламповыми схемами.

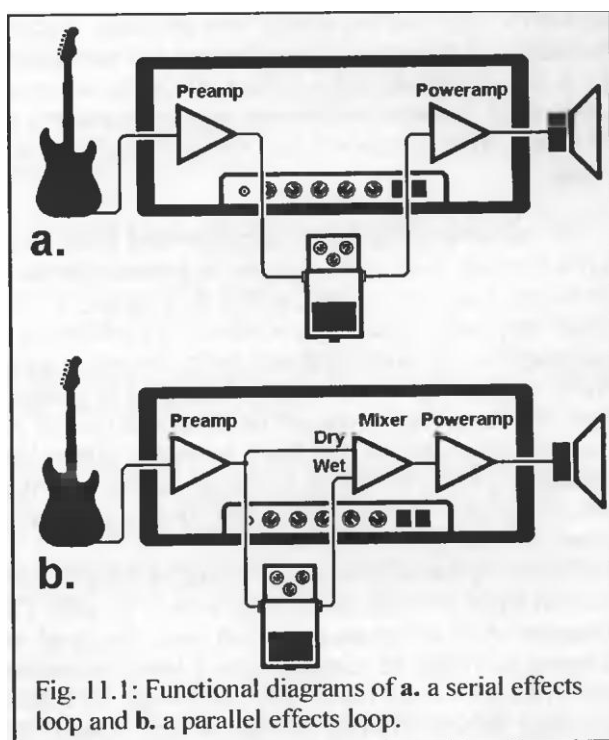


Fig. 11.1: Functional diagrams of a. a serial effects loop and b. a parallel effects loop.

На рис. 11,1b показана параллельная петля эффектов (или «боковая цепь»). Это более совершенный вариант «петли», в котором основные цепи сигнала усилителя не разрушены полностью. Сигнал, возвращённый от эффекта, называемый иногда «мокрый сигнал» смешивается с основным или «сухим» сигналом. Это помогает сохранить основной тон усилителя, а так же позволяет добавлять эффекты к основному звуку более тонко. Баланс между «мокрым» и «сухим» звуком можно сделать при помощи регулятора (переменного резистора). Параллельная петля эффектов имеет ещё одно небольшое преимущество, это то что при отказе в работе подключенного устройства или повреждения кабеля, звук не пропадёт полностью.

Существует значительное пространство для создания звука при помещении некоторых эффектов в сигнальную цепь. Эквалайзеры, как правило, работают лучше когда они стоят перед блоком перегрузки (между гитарой и усилителем), так как они значительно управляют пропорцией частот которые будут искажаться, а не корректировать уже искажённые, хотя интересные результаты можно получить в любом случае. Компрессоры, педали экспрессии (volume/expression) и бустеры обычно ставят перед входом усилителя. Квакушка (wah-wah) обычно ставиться также перед перегрузом, но она отнюдь не универсальна. Эффекты задержки такие как дилей(delay), эхо, реверберация, хорус, фленжер, как правило звучат лучше если включены после перегруза. Включая их перед перегрузом сам эффект задержки будет также искажён, что может привести к появлению грязного шума, если к вопросу формирования звука подойти несерьёзно, так как именно эти эффекты должны использоваться в петле. Такие же соображения применимы к фазерам, тремоло и вибрато эффектам. Конечно, все музыканты имеют свои предпочтения, от едва различимого до принципиально другого.

Очевидно, что при применении петли эффектов больше всего выигрывают пилоты усилителей где большая часть искажений сформирована в предъусилителе, что характерно для современных хай-гейновых усилителей, так что петля может быть введена после предъусилителя, но перед «оконечником», который не значительно перегружен. В усилителях с низким гейном чаще применяется более традиционный «оконечник» который может быть сильно перегружен и в этом случае не столь заметны преимущества разрыва, так как сами эффекты будут в дальнейшем искажены не зависимо от того где они ставятся. Чистые (Clean) усилители менее всего нуждаются в петле эффектов, так как разница в подключении эффектов до или после предъусилителя не особо различима (музыканты играющие только на чистом звуке как правило применяют не так уж и много эффектов).

Часто можно услышать что петля должна быть физически просто разрывом, чтобы быть прозрачной и не посягать на основной тон усилителя. Это очень не практично, так как при этом лампы работают не в оптимальном режиме, так как сигнал возвращённый от эффекта должен быть усилен до уровня сопоставимого с уровнем сигнала используемом в усилителе, и это бывает очень сложно (хотя и возможно) включить этот каскад не влияя на основной тон усилителя. Лучшим вариантом будет тот, когда блок петли эффектов уже исходно разработан как часть основного тона усилителя. Таким образом, музыкант не будет знать об изменении тона усилителя, не зависимо от использования петли.

Уровень линии

Интересно то, что «ламповая петля» рассматривается как нечто разработанное высококвалифицированными специалистами, «чёрного искусства» (black-art), возможно то того что нет классических, старых усилителей с подобной петлёй, чтоб просто с них скопировать. На самом деле всё очень просто, проблема лишь заключается в определении того каким устройствам мы должны удовлетворить.

Часто можно встретить термин «уровень линии» в аудио технике, его значение на изменилось на протяжении многих лет. Это относится к номинальному (который является средним максимальным) уровню сигнала идущему вниз «по линии», то есть по кабелю между устройствами. Линейный уровень измеряется по отношению к опорному уровню, который имеет размерность либо децибел вольт дБВ (dBV), либо децибел выгрузка дБН(dBu).

Размерность децибел вольт предназначено для потребительской электроники, к этой же категории относятся и гитарные усилители, есть справочное значение 1мВ к 1КоМ или 1Vrms (2,8В). Сигнал на этом уровне иногда называется 0dBv.

Единицу децибел выгрузки используют для профессиональных целей (не в том смысле что «профессиональный музыкант») и имеет базовое (справочное) значение 1мВ к 600 Ом или 0,77Vrms (2,2В). Сигнал на этом уровне называется 0dBu.

Фактический уровень линии измеряется по отношению к любой из этих величин.

$$\text{Уровень линии (dB)} = 20 \cdot \log \frac{\text{Фактическое напряжение}}{\text{Базовое (нулевое) напряжение}}$$

Таким образом, для потребительских товаров уровень линии 316mVrms можно охарактеризовать как:

$$\text{Уровень линии (dB)} = 20 \cdot \log \frac{\text{Фактическое напряжение}}{1V_{rms}} = 20 \cdot \log \frac{0.316}{1} = -10dBV$$

И это часто используемый уровень для класса потребительского HiFi оборудования и прочей музыкальной продукции, и не отличается от уровня выходного сигнала хамбакера.

Педали эффектов (*далее педали*) предназначены для приёма сигнала инструментального уровня. Фактически уровень инструмента переменчив, но уровень линии примерно -10дБ или около 1В (350mVrms), вполне возможно рассматривать требуемый. Более высокий уровень может вызвать в некоторых педалях не желательное ограничение. Выход из такой педали всегда будет примерно одинаковым а так как почти все они работают от 9В источника питания, то максимальный выходной сигнал будет примерно 5В (обычно педальки имеют свой собственный регулятор выходной громкости).

Линейные входы и выходы усилителей мощности, микшерные пульта, рэковое оборудование, как правило предназначено для обработки входного сигнала 0dBV. Проигрыватели компакт дисков в основном производят сигнал +4dBV. Микрофоны, с другой стороны, производят сигнал очень низкого уровня, где то в области -50dBV (3mVrms), хотя конденсаторные микрофоны при использовании фантомного питания могут увеличить этот сигнал до 0дБ или более. Кроме того сценические усилители, микшеры и записывающее оборудование может использовать только XLR гнёзда и не сбалансированные RCA гнёзда, в то время как гитарное оборудование ориентировано только на 6,35мм (1.4") моно-джеки.

Обсчитывать все эти возможности не практично, так что большая часть этой главы предполагает что петля эффектов используется только с обычными гитарными педалями эффектов, обрабатывая сигнал около -10 dBV.

Посыл, линейный выход и драйверы петли эффектов.

Возможно, наиболее важным аспектом в разработке петли эффектов является выходное сопротивление линейного выхода или секции посылы (Send). Если выходное сопротивление высоко, то посторонним сигналам будут легче навести ЭМ поле в кабеле используемого для посылы звукового сигнала, так как мы вряд ли будем использовать балансные (микрофонные) кабели. Флуоресцентные лампы наиболее распространённый источник сетевых наводок, и низкочастотного гула. Чем меньше выходное сопротивление, тем лучше этот посторонний шум будет шунтироваться на землю. Кроме того входное сопротивление некоторых педалей очень мало, иногда около 47К, поэтому если петля эффектов имеет высокое выходное сопротивление, то может произойти нежелательное снижение уровня, тогда использовать подобные педали будет проблематично по сравнению с педалями с более высоким входным сопротивлением. Кроме того некоторые педали, особенно очень старые проекты с использованием дискретных транзисторов, имеют значительную входную (Миллер) ёмкость. Это вызывает заметные потери высоких частот если исходное сопротивление довольно велико, что притупляет тон, и это наверное самая распространённая жалоба о влиянии петли эффектов на звук. Как правило, мы хотели бы, чтоб выходное сопротивление секции посылы (Send) было бы не более 10К, а желательно даже гораздо меньше. Это простое требование часто игнорируется в коммерческих усилителях и приводит к значительному недовольству среди пользователей.

Добавление простого линейного выхода.

Существует множество способов понизить уровень сигнала, и получить относительно низкое выходное сопротивление сигнала, в обычной стадии лампового усиления. Самый простой это пассивный делитель. Он может быть размещён в любой удобной точке предъусилителя, что показано рис. 11,2, где делитель располагается непосредственно после каскада усиления. Рассмотрим уровень сигнала в этой точке.

Максимальное пиковое значение размаха амплитуды выходного сигнала составит около 2/3 анодного напряжения.

Большинство усилителей работает с напряжениями в предъусилителе в районе 250В-400В, поэтому предполагая, что триод полностью загружен (или перегружен), мы можем ожидать уровень сигнала около 165В для 260В анодного напряжения или около 60В для 90В. Более точные значения могут быть получены, конечно, из линий нагрузки.

Распространённая ошибка новичков это установка в этом месте просто потенциометра 1М для получения линейного выхода, но очевидно что при этом будут возникать проблемы от того что его выходное сопротивление будет очень высоким (за исключением очень низких настроек) и если он будет выкручен полностью, то устройство (подключенный эффект) может быть повреждено очень высоким уровнем сигнала, так словно резистора падения нет.

Так как нам хотелось бы получить выходное сопротивление не более 10К, то нижний резистор делителя должен иметь значение около 10К и это же справедливо если вместо него использовать потенциометр. Значение верхнего резистора зависит от желаемого максимального уровня линейного выхода усилителя. Несмотря на то что для педалей эффектов требуется только около -10дБ, мы не можем гарантировать что триод будет всегда загружен максимально и всегда получим это значение. Гораздо логичнее рассчитать таким образом, что при полной нагрузке триода, уровень составлял бы 0дБ, таким образом имея остаточный диапазон даже не при полной нагрузке. Принимая ожидаемый уровень сигнала после триодного усиления значением 60В, не забывая о том что для 0дБ будет соответствовать 1В сигнала, тогда верхний резистор делителя будет иметь значение:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

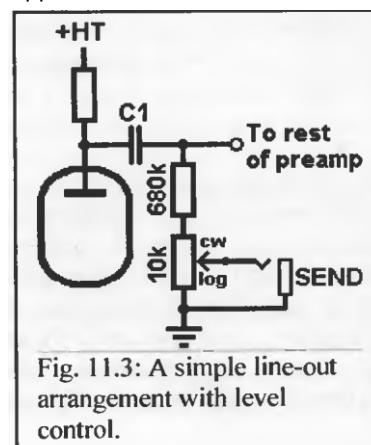
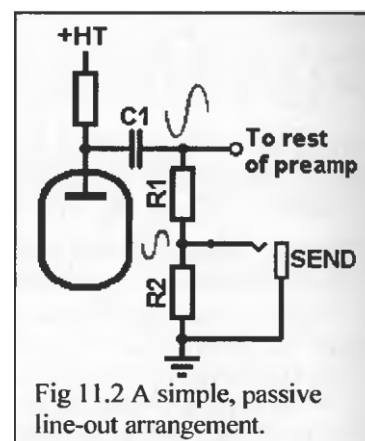
So:

$$R_1 = \frac{V_{in} R_2}{V_{out}} - R_2 = \frac{60 \times 10k}{1} - 10k$$
$$= 590k\Omega$$

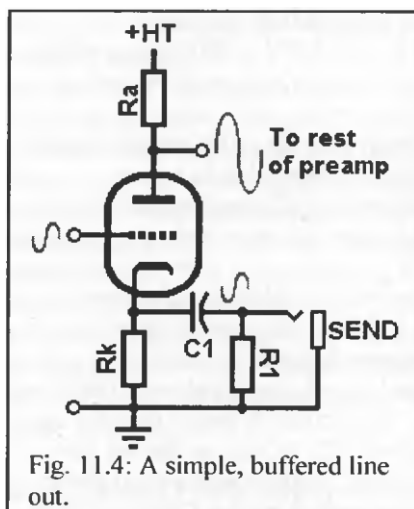
Таким образом мы можем выбрать значение из стандартного ряда 560К. Однако, это может дать большую нагрузку для триода (особенно если использует анодный резистор большого значения), поэтому разумным компромиссом будет следующее значение 680К. Даже распространённое значение 1М, вероятно, обеспечит достаточный уровень выходного сигнала без значительной нагрузки на триод.

Выходное сопротивление (без учёта внутреннего сопротивления самого триода) составит:

$$Z_{out} = R_1 \parallel R_2 = \frac{680k \times 10k}{680k + 10k}$$
$$= 9.9k\Omega$$



Окончательный вариант схемы приведён на рис. 11,3 и сформированному после конденсатора C1 делителю никаких дополнительных разделительных конденсаторов не требуется. Этот пит линейного выхода легко реализуется на уже существующих (имеющихся) усилителях, где более сложный активных буфер является нежелательным и сложно реализуемым.



Другим удобным местом где можно взять сигнал низкого сопротивления для линейного выхода является катод в обычном триодном каскаде, при условии конечно, что катодный резистор не шунтирован конденсатором. Это показано на рис. 11.4

Это по конструкции напоминает фазоинвертор с разделённой нагрузкой, кроме то что анодный и катодный резисторы имеют значения больше подходящие для нормального каскада триодного усиления. Так как мы используем по сути катодный повторитель, это имеет очевидное преимущество, в том что выходное сопротивление будет действительно очень низким, определяем его по формуле:

$$Z_{out} = \frac{R_a + r_a}{\mu + 1} \parallel R_k$$

Для типичного каскада на ECC83 значения будут $R_a=100K$; $R_k=1K$ и $\mu=100$, тогда выходное сопротивление составит:

$$Z_{out} = \frac{100k + 65k}{100 + 1} \parallel 1k = 620\Omega.$$

Более того, амплитуда сигнала на катоде немного меньше чем на управляющей сетки, конечно предполагая что R_k имеет значение от 470 Ом до 4,7K, ограниченные входной чувствительностью используемой лампы. Если уровень выходного сигнала от анода известен (что легко найти из линий нагрузки), то соответствующий уровень сигнала на катоде легко найти по формуле:

$$v_k = R_k \cdot \frac{v_a}{R_a}$$

Где:

v_k = уровень сигнала переменного тока на катоде

v_a = Уровень сигнала переменного тока на аноде

R_k = катодный резистор

R_a = анодный резистор

Это составит лишь несколько вольт для большинства стадий триодного усиления, поэтому можно считать что сигнал на катоде уже имеет удобный уровень для применения его в линейном выходе и не может стать достаточно большим чтобы повредить полупроводниковые эффекты которые могут быть подключены. R1 включён только для того что бы конденсатор C1 не влиял на работу каскада и не было сильных щелков при подключении в линейный выход, сам же конденсатор нужен для развязки по постоянному напряжению. Резистор R1, конечно же может быть заменён на потенциометр уровня посылки, его номинал берётся от 4,7K до 10K. Предполагается что входное сопротивление подключаемого эффекта гораздо больше чем значение R1, тогда нижняя частота стада на -3дБ вызванного включением в цепь конденсатора C1 составит:

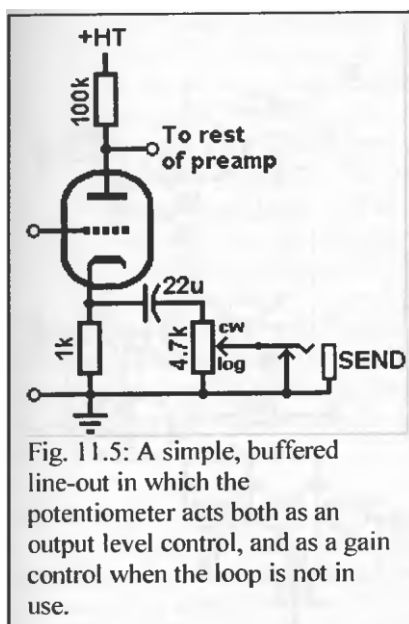
$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi C1(Z_{out} + R1)}$$

Если мы хотим чтоб все звуковые частоты прошли нормально, то выбираем частоты 1Гц. Если вы предварительно выбрали R1 = 4,7К, то преобразую формулу получим:

$$C1 = \frac{1}{2\pi f(Z_{out} + R1)} = \frac{1}{2\pi \times 1 \times (0.62k + 4.7k)} \\ = 29.9\mu F$$

Таким образом можем выбрать стандартное значение 22мкФ, или большее удобное значение, например 47мкФ. Меньшие значение также могут быть использованы, но они будут вызывать поднятие выходного сопротивления на более низких частотах, что снизит сопротивление всех цепи к нежелательному низкочастотному шуму.

Дальнейшим изменением схемы будет добавление выходных гнёзд, таким образом чтоб при не использовании линейного выхода конденсатор C1 мог использоваться в качестве шунтирующего катодного конденсатора.



Конечно это вызовет то что при неиспользовании петли усиление каскада будет выше, чем при её использовании. Это потери в усилении могут быть очень полезны при разработке параллельной цепи эффектов, так как автоматически снижает уровень «сухого» сигнала, что позволяет его легче смешивать с низким уровнем возвращённого «мокрого» сигнала от включённых эффектов в петле. Очевидно, что тон усилителя будет отличаться в зависимости от того используется петли или нет, и вполне может рассматриваться как недостаток, но в тоже время и как весьма полезная «выразительная» функция.

Если R1 представляет из себя потенциометр, как это изображено на рис. 11,5, тогда он выполняет функцию регулятора уровня посылы а также как регулятор усиления когда петля не используется, как это было описано в главе 1 рис.1,20. Эта версия схемы легко может быть добавлена к уже существующему усилителю, так как уже имеющийся там шунтирующий катодный конденсатор может выполнять и функцию проходного для петли

эффектов, при условии конечно, что он имеет достаточно большое значение. При это основной тон усилителя сохраняется тогда когда петля не используется и регулятор уровня посылы выкручен на максимум.

Небольшим недостатком этого механизма является то, что при перегрузки лампы, сеточный ток течет в низ к катоду и следовательно влияет на сигнал появляющийся на катоде. Таким образом, сигнал на катоде не будет таким же искажённым как на аноде. К счастью это небольшая разница вряд ли будет серьёзной проблемой для большинства гитаристов.

Чтобы наглядно изучить несколько из многих способ которыми можно добавить линейный выход к уже существующей схеме рассмотрим рисунок 11,6. На рис «а» показан простой предусилитель состоящий из трёх стадий. Максимально ожидаемый сигнал подписан на рисунке «b», также показаны пять возможных участков с низким сопротивлением для добавления линейного выхода с уровнем примерно 0дБ из этой же схемы предусилителя.

1. "Send 1" обычный делитель описанный выше, даёт максимальное выходное сопротивление (около 10К) и максимальный выходной уровень 1В. Однако, подобный делитель будет нагружать первый каскад, что вызовет слишком много изменений в его работе.

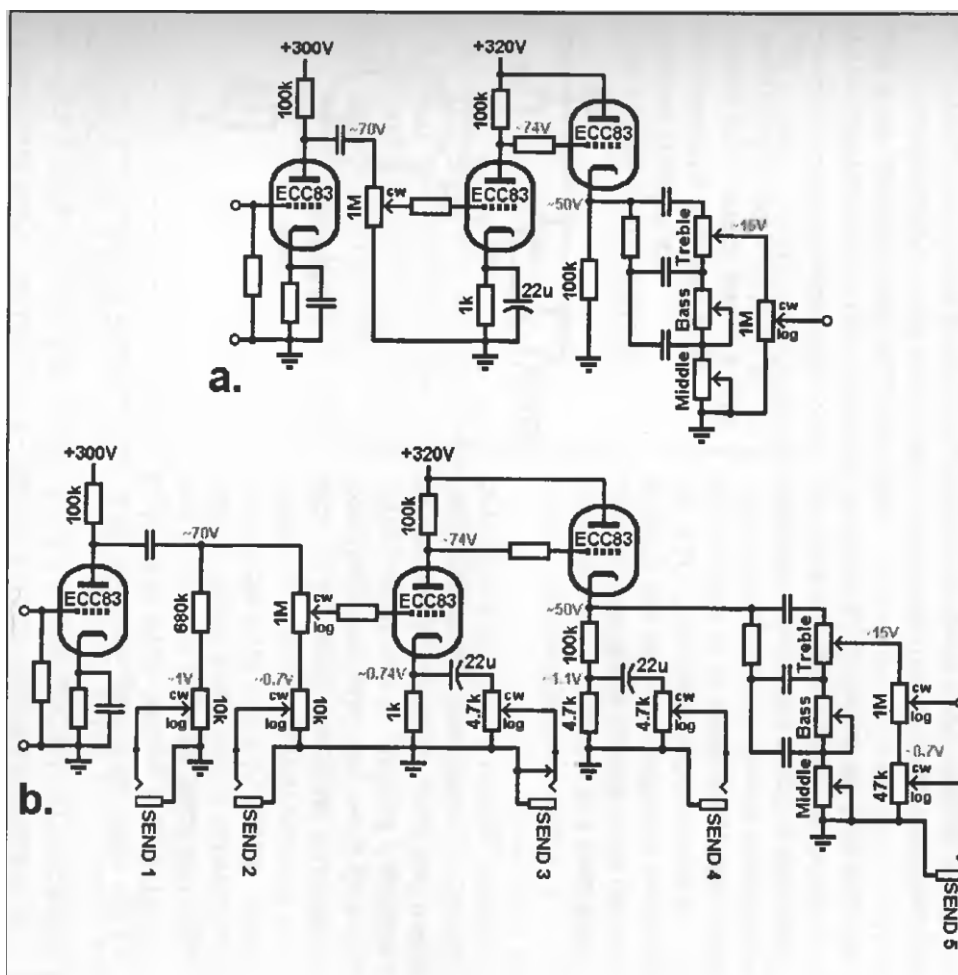


Рис. 11, б а) Базовая схема преампа б) Несколько способов, которыми можно получить линейные выходы, бледным подписаны приблизительно максимальные значения переменного тока сигнала.

2. "Send 2" применяется тот же принцип, как и в "Send 1", кроме того что делитель привязан к уже существующей регулировке усиления 1M, что исключает лишнюю нагрузку на первый триод. Однако, максимальное выходное сопротивление составит примерно 10K, хотя уровень выходного сигнала будет меньше (около 0,7В), что вполне достаточно для обычных педалей. Тем не менее, добавление потенциометра 10K (вместо резистора) позволит регулировать уровень выходного сигнала, но при этом не позволит сделать настройки усиления (гейна) самого предусилителя нулевыми (полностью выкрученным), но ведь по сути и большинству гитаристов не нужен такой низкий уровень гейна, а тем более нулевой.
3. "Send 3" это простой буферизированный выход, так же описанный выше и использует уже существующий катодный конденсатор в качестве проходного для развязки по постоянному напряжению линейного входа и катода. Распайка гнезда гарантирует, что первоначальный тон усилителя будет сохранён, если штекер не вставлен в гнездо и потенциометр выставлен на максимум.
4. "Send 4" использует сопротивления нагрузки катодного повторителя, действуя как падение сопротивления. Добавился резистор 4,7K (который очень мал по сравнению со 100K чтоб изменить тональный окрас каскада) и выход. Сигнал снимается с делителя, однако из-за протекания там постоянного тока требует установка дополнительного развязывающего конденсатора (конечно для этого не потребуется высоковольтный конденсатор). Максимальное выходное сопротивление составит $4,7K \parallel 4,7K \parallel 100K = 2,3K$, а максимальный уровень выходного сигнала составит примерно 0дБ. Это очень похоже на петлю эффектов применяемую в Soldano Slo 100.

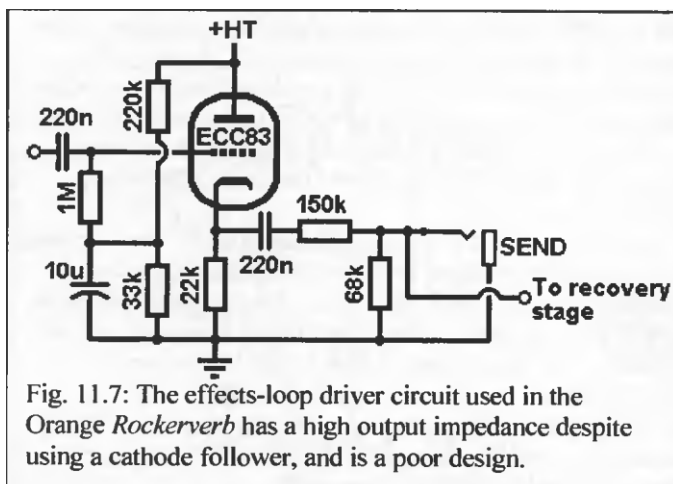
5. "Send 5" является вариацией "Send 2", но имеет выход после темброблока. В этом месте максимальный уровень сигнала снижается в связи с его ослаблением на темброблоке. Конечно, общее ослабление зависит от значения, регуляторов тембра и опорной частоты. Уровень сигнала показанный на рис. 11,6 предполагает частоту 1кГц и положение всех регуляторов посередине. Таким образом, потенциометр уровня выходного сигнала линейного выхода должен иметь больший номинал чем в предыдущих вариантах, чтоб сигнал мог достичь необходимого уровня, к сожалению это так же повысит выходное сопротивление примерно до 47K.

Любой из показанных вариантов организации линейного выхода может быть добавлен без изменения структуры самого преампа. Предполагается, что анодное питание находится в диапазоне от 250В до 400В. Как правило, желательнее взять линейный выход с точки ближайшей к концу предусилителя. Конечно же для того что захватить в посылаемом сигнале как можно больше характера самого предусилителя.

Активная петля эффектов

Простой линейный выход, как ранее говорилось, полезен для обеспечения линейного выхода без особых затрат. Однако, если мы хотим принимать сигнал с любого устройства, особенно в сложном месте – сразу после темброблока, не затрагивая при этом основной тон усилителя, то требуется отдельный буферный каскад. Кроме того, современные схемы петель эффектов, как правило требуют стадии восстановления возвращённого обратно в усилитель сигнала и это как правило требует применение ещё одного триода, а так как лампа чаще всего это сдвоенный триод, то имеет смысл использовать вторую её половину в качестве выходного буфера.

Буфер посылы сигнала (send) предполагает низкое выходное сопротивление и высокое входное, так чтоб не загружать работу существующего предусилителя в любом случае, таким образом катодный повторитель является очевидным решением. Активные каскады, такие как катодный повторитель, также имеет преимущество обеспечивать требуемый линейный уровень на относительно больших нагрузках. Следует отметить что, простые схемы описанные выше, хотя и предполагают относительно низкое выходное сопротивление, но сохранить низкий уровень шума и хорошее прохождение высоких частот не всегда способны обеспечить и по сути их низкое выходное сопротивление предполагает и быстрое затухание сигнала. Это не очень заметно для обычных педалей эффектов, поскольку они имеют входное сопротивление, по крайней мере 47K, но различные миксеры, мощные оконечники и компьютерные звуковые карты могут иметь очень низкое входное сопротивление, к примеру 10K. Лампа при обычном триодном включении, даже с сильной обратной связью, конечно может предложить такое низкое выходное сопротивление, но не способна поддержать этот сигнал в достаточно большой нагрузке, так что катодный повторитель является единственным логичным вариантом.



Более подробно конструирование катодных повторителей объяснено в главе5, так что здесь будут рассмотрены только несколько важные моменты. Общая ошибка, которую допускают любители, а иногда и профессионалы, заключается в разработке схемы отлично подходящей для катодного повторителя, а затем применением большого сопротивления или потенциометра для доведения выходного сигнала до линейного уровня. Например, на рис.11,7 показан каскад посылы усилителя Orange Rockerverb. Выходное сопротивление

катодного повторителя само по себе около 620 Ом, но затем применён делитель напряжения с

использованием высоких значений сопротивлений, что вызывает выходное сопротивление всей цепи приблизительно $(620 + 150K) \parallel 68K = 47K$. Входное сопротивление катодного повторителя тоже не высоко, но оно могла бы быть выше если применить смещение катода (см. глава 5, рис.5,5). Таким образом все полезные свойства катодного повторителя были потрачены в пустую. Такая же ошибка допущена в петле Mesa Boogie Dual Rectifier, в которой катодное смещение буфера посылы, затем отправляется на потенциометр 100K, что повышает выходное сопротивление как правило до килоомов (если потенциометр всегда на максимуме), снова растрачивая полезные свойства катодного повторителя.

Другой распространенной ошибкой является использование связующего проходного конденсатора с очень маленьким номиналом. Это будет означать что выходное сопротивление значительно повышается на низких частотах в связи с повышением реактивного сопротивления конденсатора. Это очень нежелательно так как большинство шумовых помех низкочастотные (в частности частота сетевого питания), поэтому нам необходимо обеспечить низкое выходное сопротивление вплоть до очень низких частот, чтоб таким образом сделать схему менее восприимчивой к помехам. Эту ошибку можно увидеть в петле усилителя Soldano Slo100, которая имеет выходное сопротивление 2,2K на средних частотах, но примерно в три раза большее для частоты сети питания и более низких, в связи с использованием не большого проходного конденсатора.

Если катодный повторитель имеет большую входящую нагрузку, то его катодный резистор должен иметь минимально возможное значение и токи покоя настолько высокими насколько это возможно. Конечно же это приведёт ещё и к понижению выходного сопротивления. Если у нас имеется связь по постоянному току между петлей и предусилителем, тогда необходимо максимально возможно уменьшать значение катодного резистора, как так ток покоя сетки в значительной степени будет сформирован предыдущим каскадом. Если мы имеем связь по переменному току, то можно выбрать относительно не большое значение резистора нагрузки катода, как например, на рис.11,7. Однако, чем меньше его номинал, тем больше вероятность того что катодный повторитель будет иметь перегрузку, так как максимальная амплитуда размаха сигнала (пиковые значения) будет определяться по формуле XXXIV:

$$V_{O(\max p-p)} = \frac{HT}{1 + r_a / R_k}$$

Оптимальным вариантом будет применение ламп с низким значением r_a , таких как ECC81/12AT7 или ECC82/12AU7, что конечно потребует применения низкого значения сопротивления нагрузки, в то же время, сохраняя хорошие характеристики.

Например, рассмотрим рис.11.8, там показана лампа ECC81 включённая катодным повторителем, способная работать с маленькими нагрузками, к примеру 10K, без заметной потери уровня сигнала. Для максимальной производительности её смещение выставляют по центру и входное сопротивление составит более 9M! Выходное сопротивление составит примерно:
 $R_2 \parallel P_1 = 22K \parallel 1K = 960 \text{ Ом}$. R2 ослабляет максимальный уровень сигнала на около +5dBV, и это удовлетворяет большинство существующих предусилителей. К сожалению та цена которую приходится платить за такой прекрасный буфер посылы, это его токопотребление от 3мА до 5мА, также в зависимости от величины анодного напряжения (до 400В) рассчитывается номинал проходного конденсатора C2, который берётся не менее 2/3 от анодного напряжения. $V_{hk(\max)}$ для лампы ECC81 составит 90В, так что среднюю точку накала необходимо поднять хотя бы до 50В.

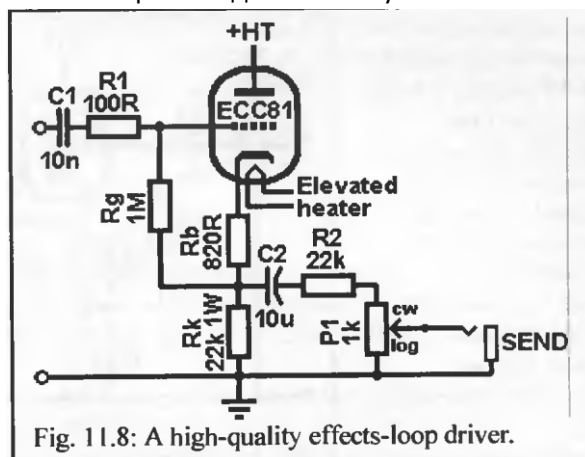


Fig. 11.8: A high-quality effects-loop driver.

Также в этой схеме могут быть использованы лампы ECC82 или ECC83, хотя Rb придётся увеличить до 1,5K или 1K соответственно, для максимальной отдачи (имеется ввиду рабочая амплитуда без ограничения сигнала).

Хотя схема на рис.11,8 обладает хорошими характеристиками, гораздо лучшими, чем тепли эффектов в большинстве коммерческих усилителей, даже тут возможности катодного повторителя реализованы не полностью, поэтому мы наблюдаем переменный резистор для настройки посылаемого сигнала. Однако, во многих случаях не требуется очень высокое входное сопротивление этого блока, особенно если предусилитель разрабатывается нами с нуля. Таким образом, мы можем сделать регулировку сигнала до катодного повторителя, позволив ему работать не посредственно на цели петли эффектов, как это показана на рис. 11,9.

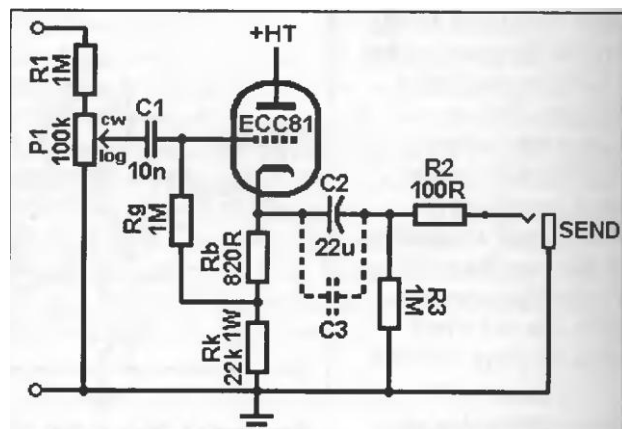


Fig. 11.9: Moving the signal-attenuation components to the input side allows the cathode follower to realise its full drive capabilities.

Резистор делителя R1 и потенциометр P1 сейчас размещены на входе каскада. Значение их выбирается в зависимости от уровня сигнала. Выходной резистор R2 защищает повторитель от воздействия ёмкости кабеля, в то время как R3 включён просто для того чтоб позволить включить в цепь проходной конденсатор C2, для нормально съёма звука.

Выходное сопротивление цепи составляет около 670 Ом и поэтому мы можем посылать спокойно сигнал как на низкие источники, так и высокие до нескольких кило Ом, проходной конденсатор на выходе должен иметь достаточно большое значение для того что сохранить это выходное сопротивление даже на очень низких частотах (и опять же должен быть рассчитан на напряжение не менее 2/3 от анодного напряжения). Это требует применения электролитического конденсатора, что не очень хорошо. Поэтому дополнительно включен конденсатор C3, показанный пунктиром. Целью этого компонента является компенсировать недостатки электролитического конденсатора на более высоких частотах и таким образом снизить искажения от применения электролита. Конденсатор C3 должен быть хорошим плёночным конденсатором, его значение не критично и 100нФ или более вполне подойдёт. Тоже самое можно применить и в схеме показанный на рис. 11.8. Для гитарных целей, однако, это не столь существенно.

При работе на студии иногда желательно изолировать землю усилителя от земли другого оборудования, чтобы исключить любые возможные земляные петли и возникающий от них гул. Если это необходимо то нужно использовать разделительный трансформатор. Так же в схему можно включить переключатель от земляной петли, как это показано на рис. 11.10. Конденсатор C2 по-прежнему нужен, чтоб отделить постоянную составляющую от трансформатора, которая в свою очередь может вызвать насыщение сердечника. Этот механизм известен как **параллельная подача** или просто **parafeed**.

Сопротивление первичной обмотки трансформатора должно быть достаточно большим чтоб не перегрузить работу катодного повторителя и 10K обычно является обще принятым стандартом. Сопротивление вторичной обмотки зависит от сопротивления устройства, которое принимает посылаемый сигнал. Если это устройство имеет большое сопротивление, тогда будет уместным взять значение вторички 10K, хотя большинство трансформаторов имеют соотношение 10K/600Ω, тогда коэффициент трансформации будет определён по формуле:

$$n = \sqrt{\frac{Z_{pn}}{Z_{sec}}} = \sqrt{\frac{10k}{0.6k}} = 4$$

Для 0dBV на выходе, на входе трансформатора должно быть в четыре раза больше, или +12dBV и это возможно, придётся принимать во внимание при выборе R1 и P1. Как видно из схемы, требуется 50V сигнала чтоб получить 0dBV на выходе, при P1 выкрученным на максимум.

Очень важно чтоб сопротивление нагрузки по факту не было намного больше того на которое рассчитана вторичная обмотка, в противном случае это отразится на работе первичной обмотки и может вызвать ослабление низких частот, если индуктивность первичной обмотки мала (что конечно маловероятно). Таким образом, необходимо добавить в схему резистор R2, который будет постоянно нагружать вторичную обмотку, как это сделано на рис. 11.10, который обеспечит минимальное влияние на работу первичной обмотки, даже при использовании устройств с высоким входным сопротивлением. Трансформатора мощностью 50мВт более чем достаточно для схемы изображённой на рисунке.

Если трансформатор имеет отвод от середины вторичной обмотки, тогда можно организовать балансный выход, для лучшего подавления шумов, и использования XLR разъёма для его подключения, как это показано на рисунке. Имейте ввиду, что в силу индуктивной нагрузки, должен быть использован сеточный блокиратор, чтоб избежать любых возможных колебаний и эту роль выполняет резистор R1, при условии, что установлен далеко от лампы. К счастью подобный изолированный линейный выход не требуется большинству гитаристов.

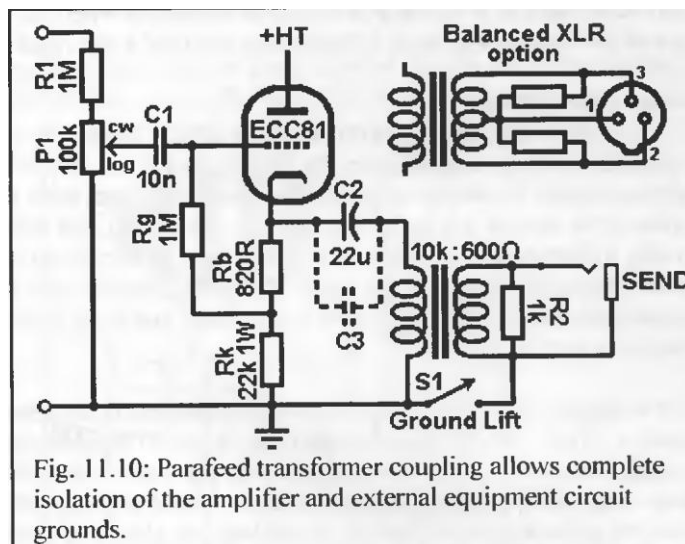


Fig. 11.10: Parafeed transformer coupling allows complete isolation of the amplifier and external equipment grounds.

Буфер приёма сигнала после петли и последовательный «разрыв».

В некоторых случаях нам требуется только наличие линейного выхода из предусилителя, но если проектируется полный цикл петли эффектов, то необходимо разработать каскад принимающий сигнал обратно в усилитель. Если мы разрабатываем последовательную петлю, то должны обеспечить чтобы при не использовании петли сигнал не разрывался.

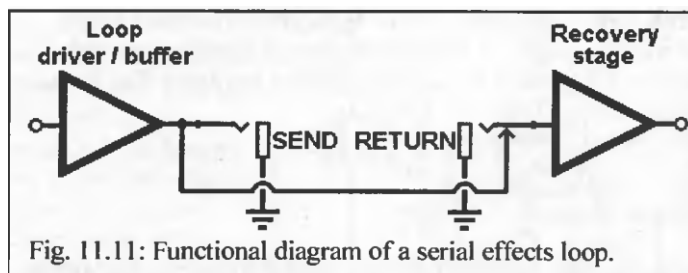


Fig. 11.11: Functional diagram of a serial effects loop.

Универсальным решением этой проблемы является использование гнезд как это показано на рис. 11.11. Если петля не используется, или если кабель вставлен только в гнездо посылы (Send), то цепь от предусилителя до оконечника не разрывается, так как выход из гнезда посылы соединяется с гнездом возврата.

А если же кабель подключен к гнезду возврата, то цепь разрывается для подключения внешних эффектов. Это также позволяет подключать инструменты или устройства не посредственно к усилителю мощности, минуя влияние работы предусилителя. Это очень полезно когда усилитель используется только как «оконечник».

В полупроводниковых усилителях зачастую не нужен специальный буфер для приёма сигнала, так как сигнал необходимый для усилителя имеет ту же амплитуду что и сигнал педалей эффектов. Что совсем не соответствует условиям лампового усилителя. «Мокрый» сигнал возвращённый от педалей эффектов, как правило, имеет более низкую амплитуду, чем посылаемый «сухой» сигнал идущий от предусилителя при неиспользовании петли, поэтому как правило, требуется усилить

или «восстановить» возвращённый «мокрый» сигнал. Без этого, при подключении внешних эффектов, будет сложно добиться полной отдачи от работы усилителя мощности, и это одна из причин плохой репутации ранних разработок петель эффектов.

Пассивные последовательные петли

Единственная трудность при разработке петель эффектов это получение хорошего тона звучания усилителя не зависимо от того используется петля или нет, так как это и есть основное требование всех музыкантов. Если, скажем, используется педаль реверберации, то большинство музыкантов ожидает наложение эффекта как бы поверх основного тона, а не получение совсем другого звучания. Вот почему добавление петель в схему уже существующего усилителя очень проблематично. (Конечно, если сигнал имеет сильные искажения после эффектов в петле, то разработчик не сможет это исправить конструкцией самой петли).

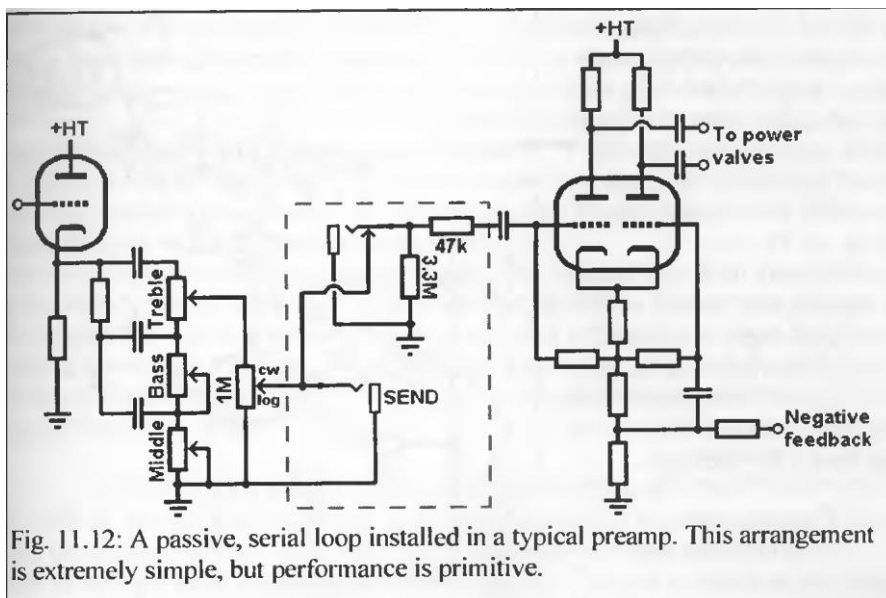
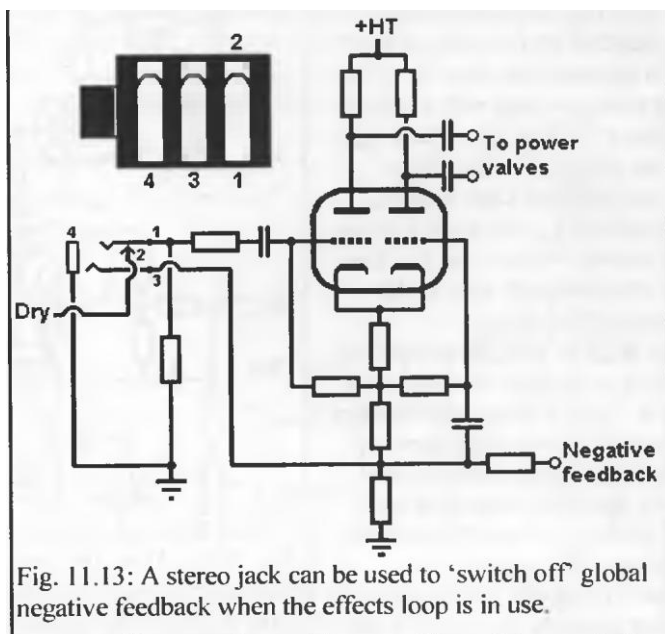


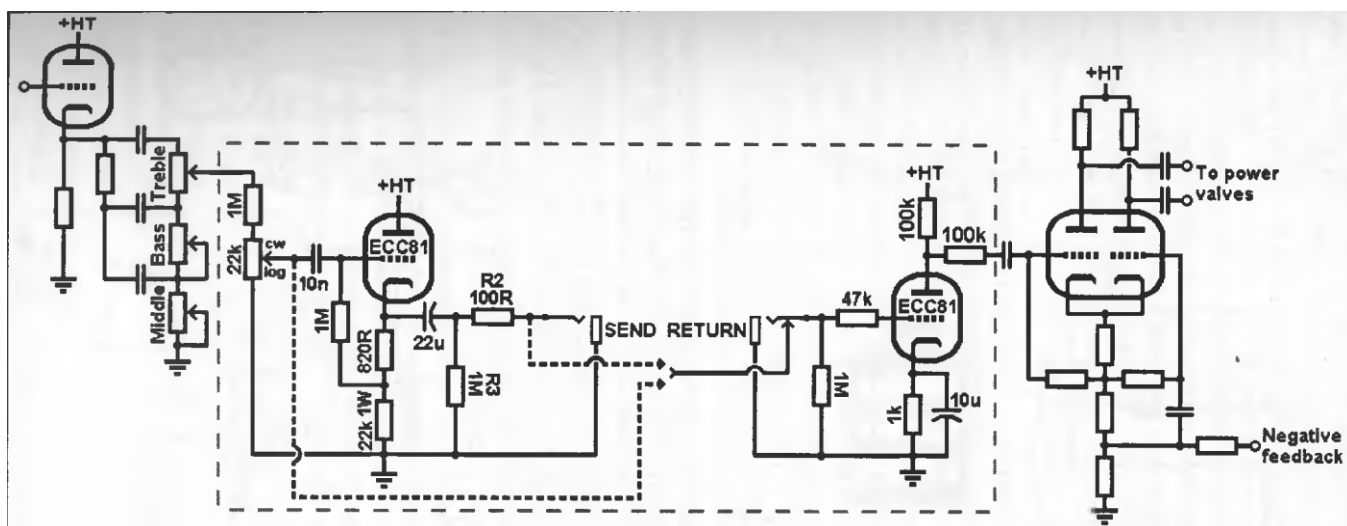
Fig. 11.12: A passive, serial loop installed in a typical preamp. This arrangement is extremely simple, but performance is primitive.

Например, на рис. 11.12 показан типичная секция предусилителя, в которой была создана пассивная петля эффектов (то есть отсутствует специальный буфер), выделенная пунктирной линией. Первым замечанием будет высокое выходное сопротивление посылы, потому что они привязано к существующему регулятору громкости 1M, дублирующему также регулятор уровня посылы сигнала, поэтому это узел на помехоустойчив и может вызвать ослабление высоких частот при работе петли эффектов. Второе замечание это отсутствие буфера приёма сигнала и вероятнее всего не возможно будет раскачать усилитель на полную мощность при использовании петли, так как мокрый сигнал, приходящий на фазоинвертор будет составлять лишь несколько сотен милливольт, а не вольт. (Конечно, это зависит от чувствительности выходных ламп). С другой стороны, преимуществом этого механизма является то, что он почти не влияет на первоначальный тон усилителя (Разряжающий резистор 3,3M будет иметь минимальное влияние на работу темброблока). Помимо этого эта схема очень проста в установке, и менее требовательные клиенты могут быть вполне её удовлетворены.

Если как в изображённом примере глобальная ООС вводится в фазоинвертор, то это может пригодится при добавлении петли эффектов в схему. Если использовать стерео гнездо, то можно сделать так чтоб ООС отключалась тогда когда что то включено в разрыв, это увеличит усиление фазоинвертора, и сможет как то компенсировать низкий уровень сигнала после обработки эффектами в петле. Конечно, отключение ООС значительно изменит тон звука выходного каскада, но это может быть приемлемо, особенно если музыкант уже ожидают какое то изменение в звуке при включении петли. Всё это отображено на рис. 11.13. Когда обычный моно-штекер вставлен в гнездо, глобальная ООС шунтируется на землю через его корпус. Номера разъёмов подписаны на рисунке для справки.



Активная последовательная петля эффектов



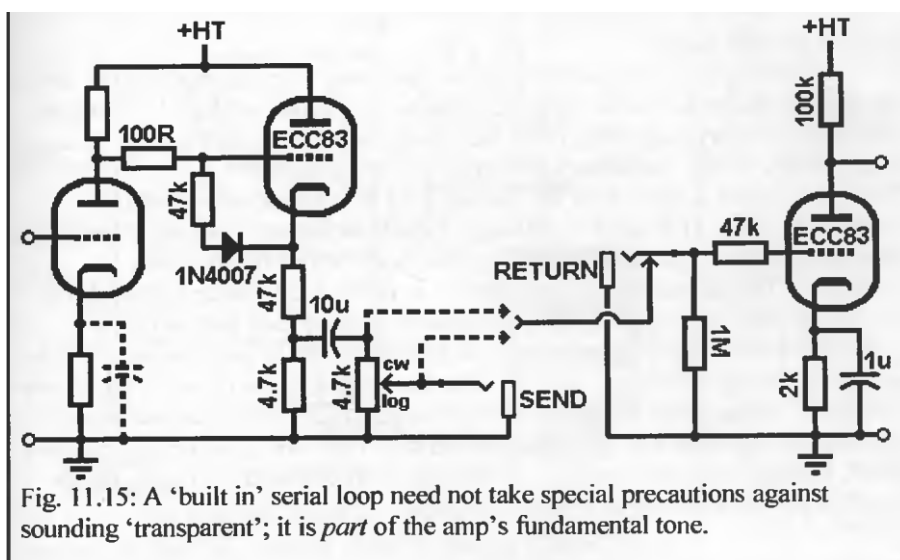
Чтобы увидеть как можно разрешить проблемы пассивного разрыва рассмотрим рис. 11.14, на котором показан предусилитель с уже полностью активным разрывом. В катодном повторителе используется лампа ECC81/12AT7, включенная в петлю эффектов, второй триод в том же корпусе используется в качестве буфера приёма с коэффициентом усиления 50. Величина анодного напряжения не особо критична. Применение ECC81 обусловлено низким значением r_A и высоким g_m , что делает её очень хорошим катодным повторителем, но в тоже время способной давать в стандартном включении достаточно высокий коэффициент усиления для поднятия возвращённого сигнала.

Для сохранения оригинального тембра звука предусилителя неизменным (или почти неизменным) оригинальный регулятор громкости был заменён на делитель с потенциометром, который ослабляет сигнал примерно 1/50, то есть обратно коэффициенту усиления буфера возврата. Это гарантирует, что когда петля не используется общий уровень сигнала, проходящий через неё будет таким же как и при подключении внешних эффектов. Таким образом, ни буфер посылы, ни буфер возврата не могут быть перегружены, они дают только чистое усиление (без

ограничения), и следовательно не существенно влияют на оригинальный тон усилителя (это также позволяет использовать тут лампу ECC81 не опасаясь перегрузки). Сеточный блокиратор 100K добавлен в цепь фазоинвертора для имитации сопротивления темброблока, если бы петли эффектов не было. Это приводит к минимальным потерям во входном сопротивлении фазоинвертора, которое, как правило, несколько мегаом.

Пунктирной линией показаны два пути сигнала. Верхний идущий от выхода катодного повторителя, это традиционный обход. В этом случае катодный повторитель работает исключительно в качестве чистого буфера посылы. Сигнал, идущий с него не совсем «сухой» а прошедший тоже какую то обработку, если же мы снимем сигнал перед катодным повторителем (нижняя линия), это сведёт к минимуму влияние петли на первоначальный тон усилителя.

Конечно, если разрабатывать предусилитель с нуля, то петлю эффектов можно сделать частью основного тона усилителя. Пример показан на рис. 11.15. Здесь катодный повторитель связан по постоянному току с предыдущим этапом, что значительно уменьшает количество пассивных компонентов в межкаскадных цепях. Уровень выходного сигнала ослабляется таким же образом как это было показано на рис. 11.6b (Send 4) и на каскаде приёма звука вновь усиливается. Это принцип используется в усилителе Soldano Slo100. Вновь две линии покажем пунктиром. Нижняя берётся с центрального контакта потенциометра, таким образом когда петля не используется получается два регулятора усиления. В этом случае может быть использован альтернативный, верхний, а выход с потенциометра подавать только на линейный выход.



В последовательных петлях этап восстановления (Return) это простой усилительный каскад, в котором, как правило, используют лампы ECC81 или ECC83, так как они дают довольно высокий коэффициент усиления. Ещё одна полезная лампа это ECC832/12DW7 в настоящее время производимые компанией JJ Electronic. Эта лампа содержит в своём корпусе два триода, один с низким коэффициентом усиления походит на лампу ECC82 и один с высоким, походит на ECC83. Триод с низким усилением будет использован в нашем случае в секции посылы, а с высоким коэффициентом усиления секции возврата. Поскольку ECC832 по цоколёвке совпадает с ECC83 и подобным лампам, он может быть заменён на ECC81/2/3 в блоке петли эффектов и петля будет работать, хотя и не так оптимально.

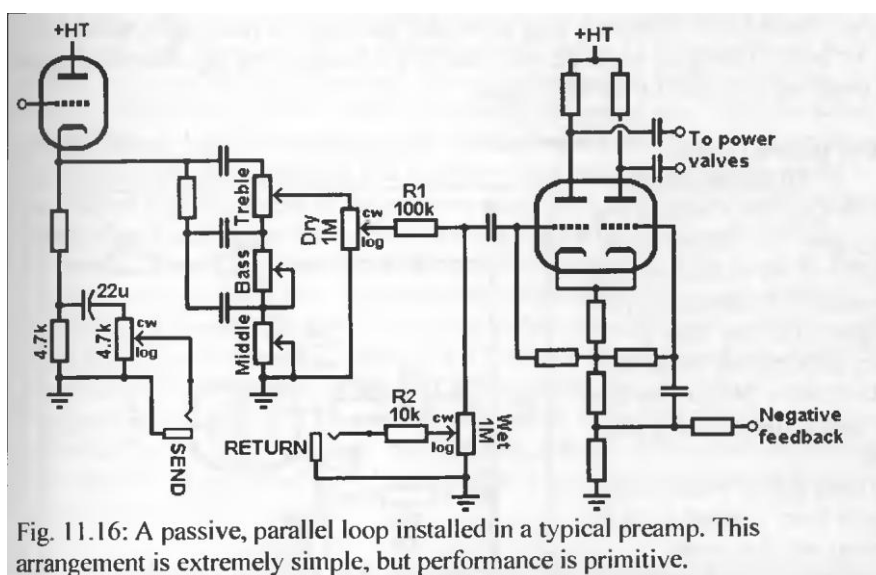
Ещё один вариант это использовать пентод-триод ECF80, триод его сделать катодным повторителем и пентод для усиления возвращённого сигнала.

Параллельные петли эффектов

Последовательные петли эффектов, как это понятно из выше изложенного, требуют тщательного проектирования, чтоб избежать изменений в тональном окрасе звука усилителя, так что они более подходят для новых проектов, где они могут быть разработаны одновременно с основными каскадами. Параллельные петли эффектов, более трепетно относятся к основному (сухому) звуку. Большая трудность заключается только в смешивании сухого и мокрого звука, так чтоб они были в фазе друг с другом, в противном случае они взаимно погасят друг друга (если для смешивания используется дифференциальный усилитель, тогда справедливо обратное). К сожалению, все педали эффектов разные и мы не можем знать наверняка какие преобразования сигнала в них происходят. К счастью, это не такая уж и большая проблема, как это кажется на первый взгляд, так как в большинстве педалей форма сигнала изменяется настолько что становится очень далёкой от формы начального сигнала. Только если мы используем очень мягкий эффект такой как педаль громкости (Volume/swell pedal) или какой либо эквалайзер на относительно чистом гитарном сигнале, тогда вероятнее всего и столкнёмся с этой проблемой. Хотя это и не такая частая проблема, так как подобные эффекты чаще ставятся перед входом в усилитель, а не включаются в разрыв, но так или иначе схема петли с переключением фазы будет представлена в конце этой главы.

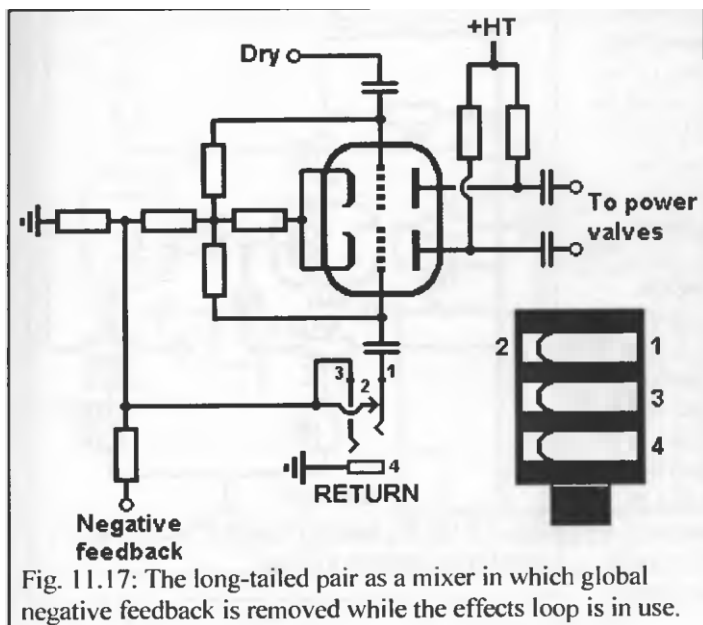
Пассивные параллельные петли эффектов.

Добавление пассивной параллельной петли эффектов может быть не простым делом, и хорошо если существующий усилитель имеет удобное место, чтоб принять дополнительный мокрый сигнал без дополнительного этапа восстановления. На рис. 11.16 показан самый простой случай, который может быть применён в большинстве существующих предусилителей. Сигнал «посыла» снимается с части нагрузки катода уже существующего катодного повторителя, как это уже было представлено на рис. 11.6 «send 4», хотя это сигнал может быть получен с любой точки предусилителя. Обратный сигнал смешивается с сухим просто резистором. Уже имеющийся изначально регулятор громкости будет уже регулятором сухого сигнала, поскольку он контролирует его уровень. «Мокрый» сигнал подаётся на свой потенциометр, который расположен противоположно предыдущему. И чтобы этот регулятор не оказывал нагрузку на существующий регулятор громкости ставят резистор R1, который гарантирует что даже если регулятор «сухой» громкости вывернут до упора, «мокрый» сигнал не будет полностью шунтирован на землю, что в противном случае может вызвать перегрузку самих педалей включённых в петлю.



Конечно эта схема примитивна, потому что «мокрый» и «сухой» сигналы вероятнее всего будут не сопоставимы по своей амплитуде, поэту доля «мокрого» сигнала в конечном смешенном звуке

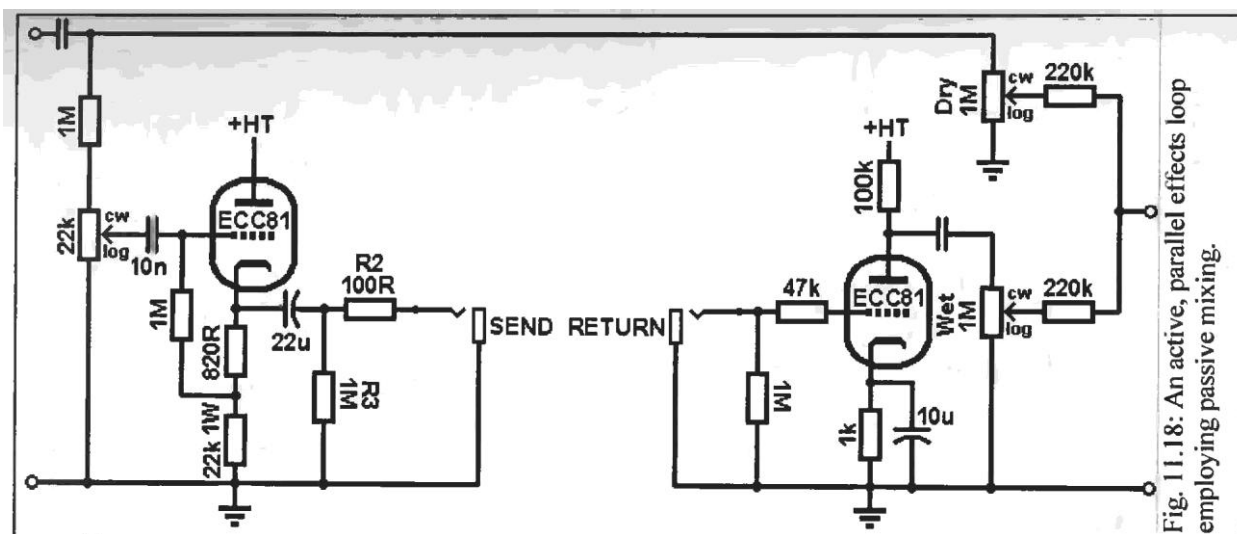
будет мала. Регулятор уровня «мокрого» сигнала имеет высокое сопротивление 1М, чтобы избежать падения уровня базовой громкости предусилителя слишком заметно, но в то же время это очень не удобно, потому что мы получаем очень высокое сопротивление, которое в сумме с



низким сопротивлением возвращённого сигнала даст плохой показатель баланса сигнал/шум. Эта схема может оказаться не достаточно хорошей для большинства пользователей и может рассматриваться разве что как «лучше чем ничего».

Альтернативой может быть применение фазоинвертора в качестве микшера «сухого» и «мокрого» сигнала. Если в усилителе имеется глобальная ООС, то её можно отключать гнездом Return как это показано на рис.11.17, из которого видно, что когда моно штекер вставлен в гнездо, ООС замыкается через корпус штекера, а существующий разделительный конденсатор дублирует функцию конденсатора для «мокрого» сигнала.

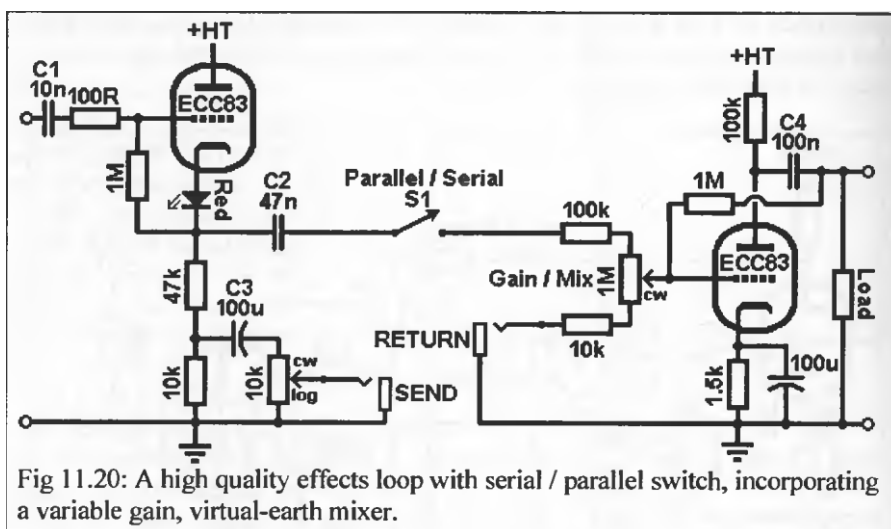
Активная параллельная петля эффектов



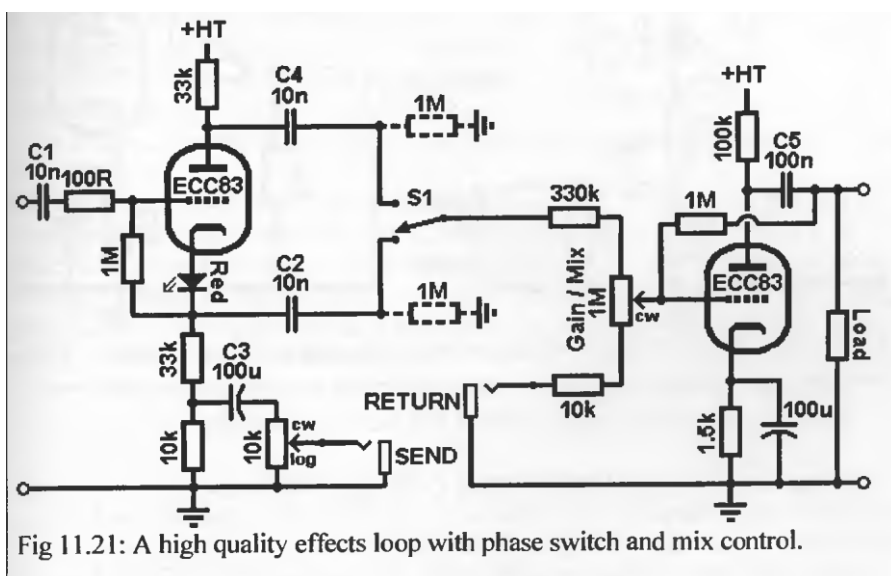
Активная параллельная петля эффектов, является «Святым Граалем» для петель эффектов. Но не смотря на мистицизм они на самом деле довольно легко могут быть разработаны, предлагая конструкторам много возможностей для новых решений и вариаций активных стадий.

Мы должны взять «сухой» и «мокрый» сигналы где то из предусилителя и сделать так, чтоб они смешивались с примерно одинаковой амплитудой, так что один сигнал не завяз в другом, и вероятнее всего будет использовать регуляторы отдельно для каждого сигнала. Это потребует в итоге либо повышение «мокрого» сигнала до уровня «сухого», перед их смешиванием, что может осложнить механизм их смешивания, либо можем понизить уровень «сухого» до уровня «мокрого» до их смешивания, что значительно ухудшит соотношение сигнал/шум, и скорее всего негативно скажется на базовом тоне усилителя.

будет варьироваться для сухого сигнала от 0,9 до 8 и для мокрого от 0,9 до 28. Это сочетание является идеальным для того чтоб добиться равномерного смешивания этих сигналов, без значительных перекрёстных связей между каналами, а также позволяет сухому сигналу достигать своего полного уровня, что помогает сохранить нормальное отношение сигнал/шум. Резистор помеченный на рисунке как Load символизирует входное сопротивление последующей нагрузки на микшер, которое формирует путь утечки сетки микшера для виртуальной земли. Дополнительный переключатель S1 перекрывает путь сухому сигналу, превращая петли из параллельной в последовательную. Следует отметить однако, если выключатель разомкнут и петля не используется, то получится что все пути для сигнала перекрыты и усилитель будет молчать. Это может запутать некоторых пользователей, и по поэтому лучше использовать сдвоенный переключатель, одна группа контактов которого будет переключать режим работы петли, а вторая для световой индикации последовательного режима работы или на оборот. C1, C2 и C4 должны быть рассчитаны на полное анодное напряжение, а C3 можно взять на 63V или больше.



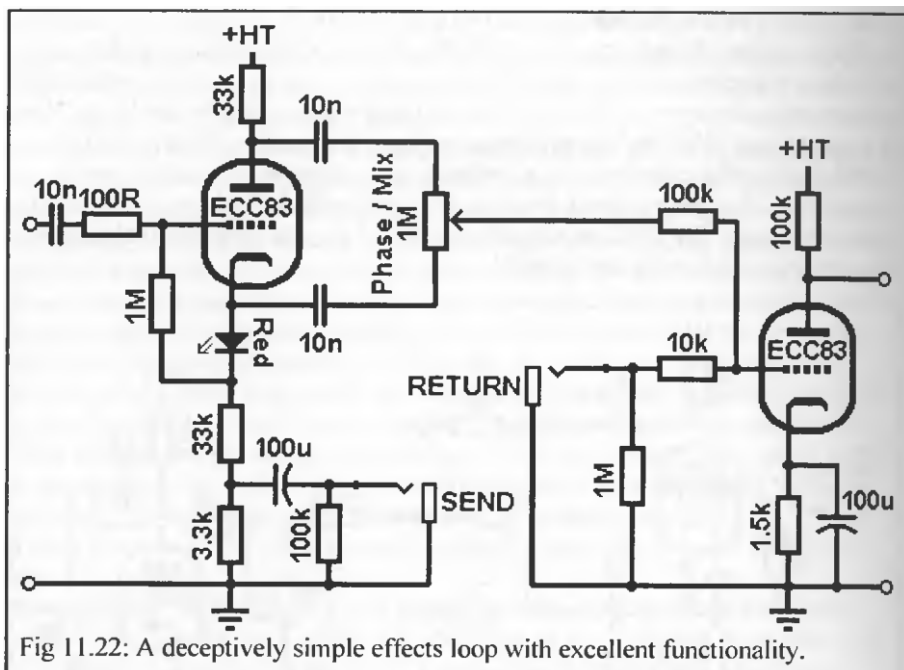
Эта схема может быть добавлена к уже существующему усилителю с довольно не значительным воздействием на его основной тон, кроме того что будет доступен дополнительный регулятор Gain/Mix. Такие лампы как ECC81 или ECC83 будут идеальны для этой схемы.



Если опасаться проблемы совпадения фаз сигнала, тогда более актуальна схема, изображённая на рис. 11.21, которая является модификацией схемы с рис.11.20. Первый триод работает по

принципы фазоинвертора с разделённой нагрузкой (см. главу 6). Переключатель S1, позволяет выбирать либо фазу либо противофазу сигнала, переключая между выходом с анода либо с катода триода, для того что сухой сигнал идеально соответствовал мокрому. Резистор ограничивающий сухой сигнал был увеличен до 330K, чтоб избежать перегрузки катодного повторителя. Это ограничивает усиление микшера с виртуальной землёй с 0,7 до 2 для сухого сигнала, что также вполне достаточно для нормального смешивания, учитывая низкий уровень мокрого сигнала. Резистор 1M показанный пунктиром включен для уменьшения щелчков от переключения S1.

Если пространство на передней панели ограничено, то схему тепли с изменением фазу сухого сигнала можно упростить, как это показано на рис.11.22. Где буфер возврата снова простой каскад на триоде, а мокрый и сухой сигналы смешиваются пассивно.



Две противоположно направленные фазы сухого сигнала подводятся в крайним выводам потенциометра Phase/Mix , так что можно варьировать поворотом фазы от 0 до 180 градусов. Однако, когда движок потенциометра стоит по центру фазы взаимно гасят друг друга и сухой сигнал будет полностью отсутствовать в звуке, фактически превращая параллельную петлю в последовательную. Поворот движка относительно этой точки постепенно повышает уровень сухого сигнала с нулевого до почти его полного. Таким образом смешивание и выбор фазы осуществляется одним единственным потенциометром! Эта схема наглядно показывает широкий спектр возможностей, который можно получить с достаточно простых ламповых схем применив немного фантазии.