

Очень хорошим приемом является использование гасящего (демпфирующего) резистора с небольшим значением сопротивления, включаемого параллельно индуктивности, это уменьшает добротность Q возникающего выходного LC контура при использовании емкостной нагрузки, а также снижает перегрузку (максимальное значение амплитуды выброса при неустановившемся переходном процессе) и амплитуду колебаний затухающего переходного процесса («звон»).

Если у усилителя совершенно сознательно закоротить выходной дроссель и приложить емкостную по характеру нагрузку, то, как правило, частота возбуждения будет лежать в диапазоне 100–500 кГц, такой режим, если ему позволить осуществляться, окажется разрушительным для выходных транзисторов. При проведении обычных опытов с емкостной нагрузкой не наблюдается ничего похожего на «звон» в чистом виде. В данном же случае совершенно не наблюдается такого явления, как очевидно выраженный затухающий «звон», так как затухающие колебания на частоте 500 кГц скорее всего означают, что усилитель находится буквально в одном малюсеньком шаге от разрушения, вызванного возбуждением.

Попытки изучить это явление на практике с помощью схемы, приведенной на рис. 7.5, оказались тщетными из-за того, что усилитель оказался достаточно устойчивым к возбуждению, вызываемому емкостной нагрузкой, возможно, потому, что коэффициент общей обратной связи имел сравнительно среднее значение. Кон-

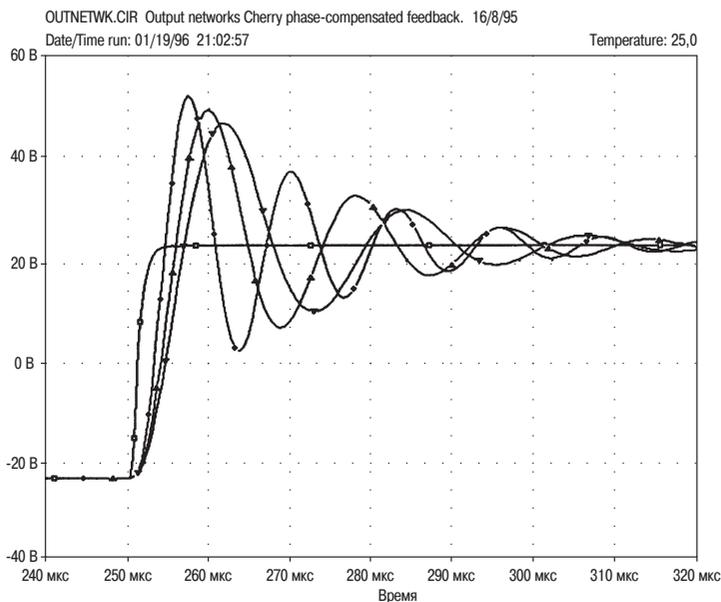


Рис. 7.8. Вид переходной характеристики при изменении величины индуктивности выходного дросселя. Увеличение индуктивности L снижает частоту «звона», не оказывая значительного влияния на амплитуду максимального выброса. Время нарастания входного сигнала составляет 1 мкс

денсатор емкостью 100 нФ, подключаемый непосредственно параллельно выходным клеммам, вызывал затухающие колебания на частоте 420 кГц, тогда как конденсатор с емкостью 470 нФ вызывал «звон» на частоте 30 кГц, а с емкостью 2 мкФ – на частоте 125 кГц.

В то время как опыты с нагрузкой 8 Ом и 2 мкФ, описанные ранее, не позволили выявить никакой информации о переходной характеристике усилителя, в традиции исследователей остается четко запечатленным, и при этом чересчур оптимистичным, что всегда следует ожидать ее совершенно очевидного, явно выраженного проявления, позволяющего без всяких колебаний распознать ее. Снижение уровня выходного «звона» имеет некоторую коммерческую ценность, на него оказывают влияние несколько факторов, при воздействии на которые возможно устранить влияние перегрузки (максимального выброса неустановившегося процесса) и избежать отпугивания потенциальных покупателей:

- Величина индуктивности выходного дросселя. Увеличение индуктивности одновременно с сохранением неизменными значений всех других элементов, уменьшает перегрузку и величину пика на частотной характеристике, однако при этом пик смещается в область более низких частот, поэтому подъем частотной характеристики начинает происходить в акустическом диапазоне. См. рис. 7.8 и 7.9.

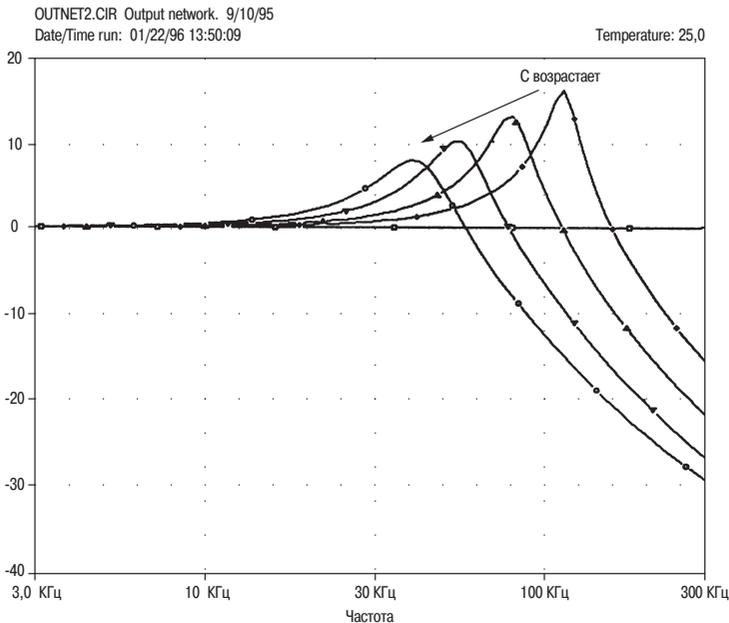


Рис. 7.9. Увеличение выходной индуктивности уменьшает остроту пика и смещает его положение в область более низких частот

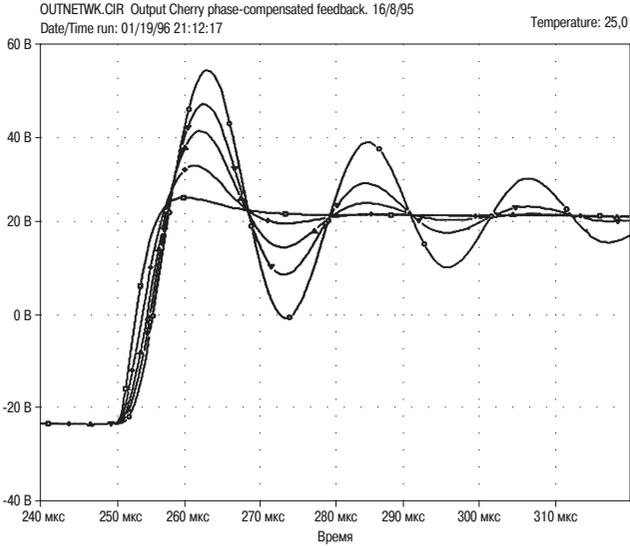


Рис. 7.10. Влияние изменения сопротивления гасящего сопротивления на переходную характеристику. Сопротивление величиной 1 Ом почти полностью устраняет перегрузку (максимальную амплитуду выброса при неустановившемся процессе)

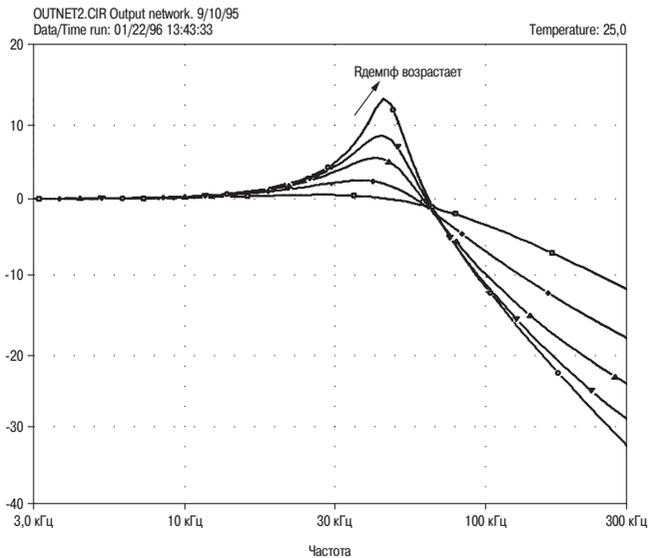


Рис. 7.11. Влияние изменения сопротивления гасящего сопротивления на переходную характеристику. Более низкое значение сопротивления уменьшает величину пика на частоте 40 кГц

- Величина сопротивления гасящего резистора, включаемого параллельно выходному дросселю. Уменьшение его величины уменьшает добротность Q выходного LC резонансного контура, а также уменьшает перегрузку (максимальный выброс в неустановившемся режиме) и «звон». Величина сопротивления составляет, как правило, около 10 Ом, резистор может быть обычным проволочным, его собственная индуктивность не приводит ни к каким осложнениям. Сопротивление 10 Ом снижает амплитуду максимального выброса с 58 % без демпфирования до 48 %, при этом также значительно снижается «звон». Острота величины пиков на частотной характеристике уменьшается, изменение положения по частоте незначительно. См. рис. 7.10 и 7.11. Величина сопротивления гасящего резистора может быть реально уменьшена до такого низкого значения, как 1 Ом, при условии, что устойчивость усилителя в области емкостной нагрузки остается надежной, а это уменьшает максимальный выброс в неустановившемся режиме еще значительно, с 48 % до 19%, и полностью устраняет «звон»; в этом случае наблюдается практически одиночный выброс. Является ли такая наглядная зависимость более привлекательной для потенциального покупателя – вопрос, конечно, интересный.
- Величина емкости нагрузки. Ее увеличение с неизменным значением параллельно включенного резистора, равным 8 Ом, приводит к большей величине перегрузки (амплитуде выброса) и более низкому значению частоты «звона», колебания которого затухают более медленно. Пики на частотной характеристике как более острые, так и расположены ниже по частоте, что не представляет привлекательную комбинацию этих характеристик. Однако этот элемент представляет часть стандартной тестовой нагрузки и поэтому находится вне зоны возможного выбора со стороны конструктора. См. рис. 7.12 и 7.13.
- В действительности же самым важным из всех фактором, влияющим на максимальную амплитуду выброса (перегрузку) и «звон», является время нарастания поступающего на вход сигнала прямоугольной формы. Это иной дополнительный фактор, который, как представляется, остается почти неизученным. На рис. 7.14 показано, что амплитуда максимального выброса в неустановившемся режиме, наблюдаемого в схеме, приведенной на рис. 7.5, составляет 51 % для времени нарастания переднего фронта импульса, равного 1 мкс, но составляет всего 12 % для времени нарастания 20 мкс. Становится ясным, что на результаты измерения переходной характеристики, полученные по данной методике, могут в значительной мере оказывать влияние характеристики как испытательного оборудования, так и скорость нарастания выходного напряжения. Что в конечном счете не исключает вероятность получать экспериментатором в ходе некоторых манипуляций результат, который заранее был бы желателен.

Выходной дроссель должен иметь воздушный сердечник, чтобы исключить возможность возникновения дополнительных искажений, вызванных насыщением магнитного материала сердечника. Дроссели с ферритовыми сердечниками, предназначенные для диапазона очень высоких частот, обеспечивают достаточную ста-

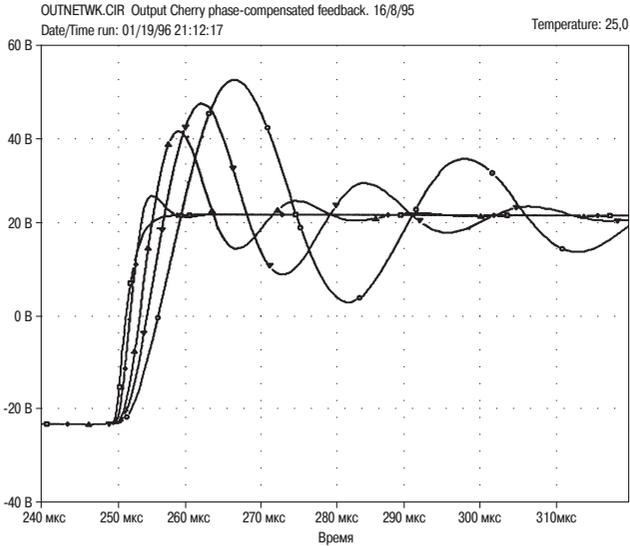


Рис. 7.12. Увеличение емкости конденсатора в нагрузке увеличивает величину максимального выброса неустойчившегося переходного процесса и уменьшает частоту его колебаний

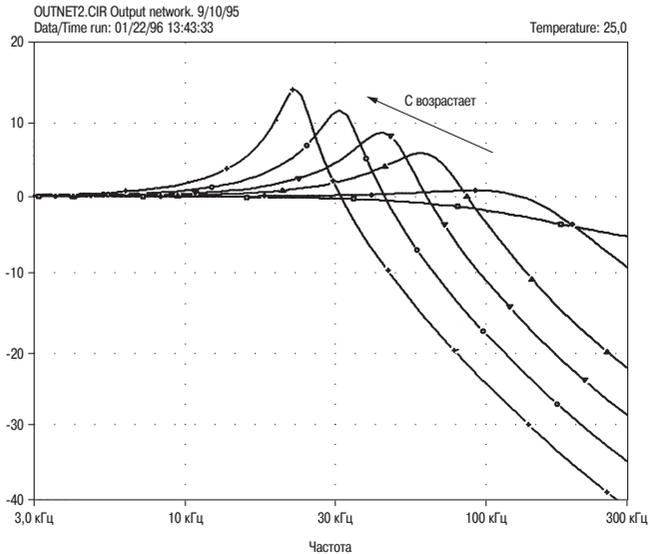


Рис. 7.13. Увеличение емкости конденсатора в нагрузке увеличивает остроту максимального выброса неустойчившегося переходного процесса и смещает его положение в область более низких частот

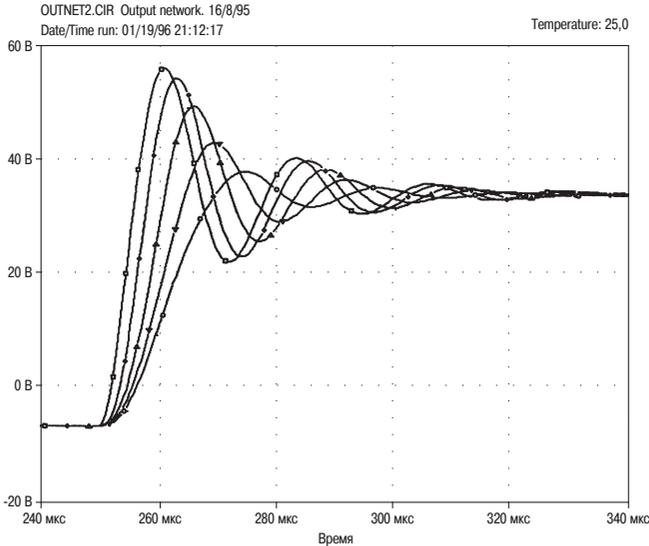


Рис. 7.14. Наиболее важным фактором, оказывающим влияние на переходные характеристики, в действительности является время нарастания входного сигнала прямоугольной формы, особенно это актуально для амплитуды максимального выброса (перегрузки). На частоту затухающих колебаний, «звона», этот фактор не влияет

бильность характеристик, однако, их линейность должна рассматриваться как вызывающая определенные сомнения. В 70-х годах двадцатого века было модным использовать один из больших электролитических конденсаторов источника питания в качестве каркаса для намотки катушки индуктивности, что, однако, не может рассматриваться в качестве заслуживающей внимания идеи. Магнитные характеристики электролитического конденсатора, как сердечника для дросселя, просто неизвестны, а линейность может быть снижена просто из-за тепла, рассеиваемого в катушке дросселя при прохождении тока.

Сопrotивления обмотки дросселя с воздушным сердечником и индуктивностью 7 мкГн, изготовленной из 20 витков провода с диаметром 1,5 мм (этого вполне материального компонента схемы, имеющего диаметр 3 см и длину 6 см), оказывается вполне достаточно для того, чтобы вызвать измеряемые приборными методами потери мощности при работе на нагрузку с сопротивлением 4 Ом и доминировать в выходном полном комплексном сопротивлении, как было получено в результатах измерений на выводах усилителя. Следовательно, провод для обмотки дросселя должен иметь настолько большой диаметр, насколько это могут позволить соображения относительно компромисса между ценой и качеством.

Мощность рассеяния для гасящего резистора выбирается из следующих соображений. Для резистивной нагрузки 8 Ом напряжение на выходном дросселе медленно увеличивается с частотой, а величина мощности, рассеиваемой на гасящем

резисторе, достигает значения только 1,2 мВт на частоте 20 кГц для выходного напряжения 1 В среднеквадратического значения. Этот подсчет относится к обычному значению сопротивления гасящего резистора, равного 10 Ом. Если же величина сопротивления снижается до 1 Ом, чтобы исключить «звон» при работе на емкостную нагрузку, как было описано ранее, то рассеиваемая мощность возрастает на порядок, достигая значения 12 мВт.

Гораздо более высокие значения мощности рассеяния возникают в случае использования традиционной нагрузки в виде сопротивления 8 Ом и емкости 2 мкФ. Напряжение на выходном дросселе возрастает из-за резонанса с конденсатором нагрузки, и мощность, рассеиваемая при резонансе в гасящем резисторе с сопротивлением 10 Ом, составляет 0,6 Вт для напряжения 1 В среднеквадратического значения. Это значение, однако, характерно для сверхвысоких частот (порядка 50 кГц с дросселем 7 мкГн) и имеет достаточно резкий пик, поэтому существует весьма небольшая вероятность того, что музыкальный сигнал сможет вызвать большое выделение мощности в резисторе при нормальном режиме работы. Однако, что касается цепи Зобеля, необходимо принять во внимание некоторые допущения при тестировании сигналом синусоидальной формы и потери колебательного процесса, поэтому величина мощности рассеяния для гасящего резистора обычно принимается между 1 и 5 Вт. Обычное проволочное сопротивление работает достаточно хорошо, не вызывая никаких проблем своей собственной индуктивностью.

7.7.5. Величина индуктивности выходного дросселя

Как уже указывалось ранее, выходной дроссель, используемый во всех разработках автором книги, имел 20 витков и величину индуктивности примерно 6 мкГн. При дальнейших исследованиях дроссель был уменьшен вдвое, его параметры после измерений составили: индуктивность равнялась 2,3 мкГн и сопротивление постоянному току – 10,1 мОм. Этот элемент оставался неизменным при всех величинах емкости, однако, не обеспечивал выполнение точного тестирования при использовании реальных громкоговорителей. Сейчас он выглядел гораздо более похожим на «усредненный» дроссель усилителя, чем на своего увеличенного собрата.

Альтернативным методом достижения устойчивости является использование вместо дросселя последовательно включенного резистора. Даже при нагрузке 100 нФ выходной проволочный резистор с сопротивлением 0,1 Ом устраняет «звон» на выходе усилителя. Этот метод дешевле, но гораздо менее эффективен по сравнению с дросселем, так как вместо сопротивления 10 мОм, имеющегося в дросселе с индуктивностью 2,3 мкГн, в схему вводится дополнительное сопротивление 100 мОм. Коэффициент ослабления при использовании резистора 0,1 Ом не может превышать значения 80. Более серьезное возражение заключается в том, что выходная мощность на сопротивлении 4 Ом будет значительно уменьшена: усилитель с выходной мощностью 200 Вт и нагрузкой 4 Ом будет низведен к усилителю с выходной мощностью 190 Вт, что не представляется достаточно приемлемым результатом при тщательном рассмотрении, хотя снижение в различаемом (органами слуха) уровне мощности и оказывается незначительным.

7.7.6. Эффект соединительных кабелей

Если рассматривать систему, состоящую из усилителя, соединительных кабелей и акустической системы, в качестве единой, то общее полное комплексное сопротивление соединительных кабелей с нагрузкой 8 Ом оказывает следующее влияние:

- Постоянное уменьшение амплитуды сигнала, вызванное сопротивлением соединительного кабеля, которое образует делитель напряжения совместно с нагрузкой 8 Ом. Резистивная составляющая выхода усилителя обычно является незначительной.
- Спад характеристики на высокой частоте из-за индуктивности соединительных кабелей, образующей совместно с нагрузкой 8 Ом LR фильтр нижних частот. Выходная индуктивность усилителя (необходимая, чтобы обеспечить устойчивость при работе с емкостной нагрузкой) добавляется непосредственно к указанной, увеличивая общее последовательное сопротивление. Величина шунтирующей емкости любого нормального соединительного кабеля громкоговорителя, как правило, очень мала и не может оказать значительного влияния на частотную характеристику или еще что-нибудь.

Основными критериями при выборе соединительных кабелей громкоговорителей являются, следовательно, величины последовательного сопротивления и индуктивности. Если значения этих параметров лежат ниже значений 100 мОм и 3 мкГн, то любые эффекты будут незначительными. Этим требованиям может удовлетворять силовой кабель, рассчитанный на номинальный ток 13 А, особенно в том случае, если используются все три жилы.

Если усилитель подключается к обычному громкоговорителю проводом, который обладает не только чисто резистивным сопротивлением, то будут проявляться следующие эффекты:

- На частотной зависимости напряжения на выводах громкоговорителя проявляются небольшие максимумы и провалы по мере того, как неравномерное полное комплексное сопротивление громкоговорителя нагружает комбинацию из последовательно включенных сопротивлений из полного комплексного сопротивления усилителя и сопротивления соединительного кабеля.
- Переменное по величине сопротивление нагрузки оказывает влияние на характеристики искажений усилителя. ВЧ искажения пересечения нулевого уровня уменьшаются, если сопротивление нагрузки возрастает выше значения 8 Ом, не изменяющаяся по величине нагрузка 68 Ом увеличивает ВЧ искажения выше уровня, характерного для ненагруженного усилителя. Для более высокой по сравнению со значением 8 Ом нагрузки, искажения пересечения нулевого уровня могут продолжать возрастать, но обычно этот процесс маскируется наступлением нелинейности сильного сигнала [16].
- Провалы большой интенсивности в зависимости от полного комплексного сопротивления могут неожиданно привести к срабатыванию схемы защиты от перегрузки. Амплитуды сигнала больше в области НЧ, поэтому провалы полного комплексного сопротивления в этой области потенциально более вероятны, чтобы вызвать протекание значительного по величине тока и привести в действие систему защиты.