

Современный предусилитель-корректор для звукоснимателя с подвижным магнитом

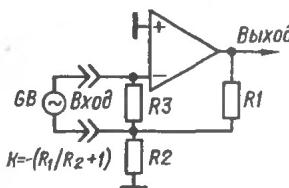
Д.Л.Данюк,
Г.В.Пилько,
г. Киев

Появление компакт-дисков отдалило потребителей от привычной формы грамзаписи, но не подавило интерес к ней. Несомненно электромеханическая грамзапись и технические средства ее реализации сохранятся еще десятки лет, пока огромные объемы накопленных фонограмм в фонотеках не переведут с пластинок на другие носители. Воспроизведение с пластинок сохраняет проблему обеспечения качества фонограмм—это значит, что совершенствование технических средств воспроизведения будет продолжаться. Качество воспроизведения зависит от каждого из узлов воспроизводящей системы, в частности, от предусилителя-корректора (ПК).

Стандарт RIAA задает амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) воспроизведения четырьмя фиксированными постоянными времени [1]. Наряду с этим АЧХ непосредственно канала воспроизведения формируется несколькими колебательными звеньями. На высоких частотах — это механический резонанс звена «эффективная масса подвижной системы, приведенная к концу иглы—упругость материала пластины» и электрический резонанс звена «индуктивность звукоснимателя—эквивалентная входная емкость ПК». На низких частотах это механический резонанс звена «масса подвижной части тонара и статора звукоснимателя—гибкость подвески подвижной части звукоснимателя». Поэтому результирующая АЧХ канала воспроизведения зависит от настройки собственных частот и затуханий колебательных звеньев. Для компенсации нелинейностей АЧХ канала воспроизведения точная АЧХ RIAA ПК при настройке деформируется. Настройка результирующей АЧХ производится по тест-пластинке как за счет юстировки механики, так и изменениями АЧХ ПК. Улучшить качество воспроизведения можно за счет уменьшения в ПК шумов и искажений.

В современных ПК главным средством обеспечения высокого качества является отрицательная обратная связь (ООС). В 60-х годах и до конца 70-х годов преобладали звукосниматели с подвижным магнитом. Схемные решения приведены в работе [1]. Появление звукоснимателей с подвижной катушкой не внесло изменений в конфигурации цепей ООС, а изменило только их входные каскады. Проведенный авторами анализ схем показал, что в 90-х годах все более часто в зарубежных ПК стали использовать многозвенные схемы на операционных усилителях (ОУ) [2]. Это объясняется удешевлением ОУ и расширением их номенклатуры. Многие типы ОУ стали дешевле прецизионных конденсаторов, и построение ПК на нескольких ОУ стало рентабельно. Такие многозвенные ПК превосходят по ряду параметров устройств на дискретных транзисторах. Преимущество ПК этого типа достигается за счет больших резервов величины петлевого коэффициента усиления BK_0 во всем диапазоне звуковых частот (ДЗЧ), где B —коэффициент передачи цепи ООС; K_0 —коэффициент передачи усилителя с разомкнутой ООС.

Однако недостаток, присущий схемам на ОУ, имеют и многозвенные ПК—



это несколько меньшее отношение сигнал/шум, чем у устройств с дискретными транзисторами во входных каскадах. Тем не менее авторы полагают, что среди современных ПК развитие схемотехники двухзвенных устройств заслуживает внимания.

Для правильного использования ОУ в ПК следует учитывать их специфические особенности. Рассмотрим основные положения при выборе схемы ПК и параметров. Нелинейные искажения (НИ) возникают во всех узлах цепи звукоснимателя—ПК—источник питания—нагрузка. ООС эффективно уменьшает НИ ОУ на частотах до единиц килогерц, но неспособна уменьшить их в районе десятков килогерц, где BK_0 мал. Поэтому для линеаризации ПК на ОУ во всем ДЗЧ необходимо применять способы, независимые от величины BK_0 . Выходной каскад ОУ способен генерировать НИ типа ступенька в низкоомной нагрузке. Кроме этого, он нелинеен, поскольку коэффициент передачи тока у интегральных р-р-транзисторов, имеющих в составе выходного каскада, значительно меньше, чем у п-р-п-транзисторов.

Линеаризация выходного каскада достигается включением источника тока (или резистора) между выходом ОУ и отрицательным источником питания. Обычно используется резистор 2,2 кОм, который позволяет увеличить ток покоя выходного каскада примерно на 7 мА, не перегревая ОУ. Такой способ позволяет на порядок уменьшить НИ во всем ДЗЧ при нагрузках больших, чем 300 Ом [3]. Линеарность цепи звукосниматель—ПК полностью определяется схемой их соединения, т.е. способом формирования сигнала ошибки ($U_{\text{вх}} - BU_{\text{вых}}$) в цепи ООС, ($U_{\text{вх}}$ и $U_{\text{вых}}$ —напряжения на входе и выходе ОУ соответственно).

При равных условиях инвертирующее включение (ИВ) обеспечивает меньшие НИ, чем неинвертирующее включение (НВ) ОУ [4]. Причина этого—наличие синфазной составляющей между входами ОУ в НВ. При НВ суммирование сигналов происходит на переходе баз-эмиттер входного транзистора, поэтому НИ велики и генерируются преимущественно входным каскадом. При ИВ суммирование происходит посредством вычитания токов в точке суммирования, поэтому интервал изменения напряжения на входной характеристике ОУ равен размаху только сигнала ошибки, т.е. разности входного сигнала и сигнала ООС, вследствие чего малы и НИ. Выигрыш в НИ для ОУ при ИВ может превышать на два порядка для $K=100$ на частоте 1 кГц. Главное преимущество ИВ в том, что НИ уменьшаются почти одинаково во всем ДЗЧ. Это эффективнее, чем ООС. Поэтому при ИВ увеличение BK_0 выгоднее для достижения точности АЧХ, а не для линеаризации.

Удачным компромиссом, сочетающим малые шумы при НВ с малыми НИ при ИВ, является схема с «плавающим» источником входного сигнала (см.рис.). Здесь источник сигнала 6В подключен между точкой суммирования и инвертирующим входом. Схема обеспечивает уменьшение НИ в 40 раз во всем ДЗЧ по

сравнению с обычным неинвертирующим включением. Поскольку неинвертирующий вход заземлен, синфазная составляющая на ее входах отсутствует, не создавая вклада в общие НИ. Схема инвертирует входной сигнал, но имеет нуль на частоте единичного усиления. Совместное использование описанных способов линеаризации дает возможность уменьшить НИ до 0,01 % даже на частоте 20 кГц.

При слуховом восприятии очень заметными являются переходные интермодуляционные искажения (ПИИ) [5]. Склонность схемы к их генерации определяется линейностью, перегрузочными возможностями, способом частотной коррекции ООС. Вмешательство в схему ОУ ограничено, поэтому большинство внутрисхемных методов предотвращения ПИИ к ним неприменимо.

Для уменьшения ПИИ в ОУ применяют следующие меры:

- 1) ограничение спектра входного сигнала со стороны высоких частот входным радиочастотным фильтром;
- 2) уменьшение крутизны усиления входного каскада за счет использования ОУ с полевыми транзисторами на входе;
- 3) уменьшение амплитуды сигнала, действующего на входной каскад ОУ, достигаемое применением ИВ.

Одним из видов ПИИ, хорошо слышимым в программном материале, являются ограничения скорости изменения сигнала [6], которые хорошо слышны как «металлическое» звучание. Лучший способ их предотвращения—уменьшение амплитуд высокочастотных составляющих сигнала непосредственно на входе ОУ за счет применения ИВ или «плавающего» источника входного сигнала. Другой способ—увеличение скоростных возможностей ОУ. Оно достигается уменьшением глубины частотной коррекции на запаздывание по фазе или введением коррекции «связью вперед».

Данные о распределении скоростей изменения напряжения V на выходе звукоснимателя при воспроизведении музыкальных программ с грампластинок [7] показывают, что верхний предел $V \leq 0,1$ В/мкс при $K=100$. Поэтому для базового усилителя в ПК достаточна собственная скорость ОУ $\rho \geq 1...2$ В/мкс.

Как и шумы, так и разнообразные искажения могут возникать и в пассивных компонентах. Конденсаторы способны генерировать НИ вследствие различных физических процессов как на поверхностях обкладок, так и в объеме диэлектрика. Для ДЗЧ наибольшие нелинейные искажения дает явление диэлектрической абсорбции заряда [5]. Она проявляется себя как задержка и замедление процесса изменения напряжения на конденсаторе при перезаряде, порождая ПИИ. Ее действие проявляется в виде искажений тембра на высоких частотах, воспринимаемое как исчезновение высокочастотных нюансов музыкального сигнала. Лучший способ борьбы с искажениями, генерируемыми в конденсаторах,—уменьшение их числа в сигнальных цепях. В частности, отказ от использования электролитических конденсаторов.

Среди отечественных конденсаторов лучшими являются полистирольные (К71), фторопластовые (К72), полиэтилентерефталатные (К73, К74), комбинированные (К75), полипропиленовые (К78).

Резисторы также способны производить НИ. Это свойственно резисторам из гранулированных материалов, например, углеродистые резисторы обладают свойством детектирования и дают НИ до 0,1 % [5]. Лучшими для ПК являются безындуктивные малошумящие резисторы типов С2-29, безындуктивные С2-10, несколько хуже МЛТ и МТ.

(Продолжение следует)