

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО ТОКУ И НАПРЯЖЕНИЮ

Колоша И.С..

Научный руководитель Михальцевич Г.А., старший преподаватель

Рассмотрим некоторые основные различия характеристик усилителей с обратной связью по напряжению и с токовой обратной связью [1]. Рассмотрим вначале обратную связь по напряжению, а затем остановиться на преимуществах токовой обратной связи. Такое рассмотрение позволяет понять, почему схемы, использующие эту относительно новую топологию, так важны. Полоса пропускания звукового усилителя со спадом усиления – 3 дБ обычно является одной из важнейшей его характеристикой.

Теоретический анализ схем с обратной связью по напряжению, который часто сопровождается их критикой, хорошо описан во многих работах. Рассмотрим некоторые их недостатки.

Получение необходимой полосы пропускания при постоянном усилении с применением обратной связи по напряжению представляет проблему, если одновременно требуется достаточно большое усиление и широкая полоса пропускания. Некоторые высоковольтные усилители мощности могут требовать высокого усиления, такого как, например, 50, частот в несколько сотен килогерц требует иметь необходимость применения устройств с полосой усиления от 10 до 20 МГц. Это обеспечить нелегко, особенно для высоковольтных схем. Дополнительной проблемой в усилителях с обратной связью по напряжению является их скорость нарастания, которая обычно ограничена каскадом преобразования импедансов, который имеет конечный максимальный выходной ток, предназначенный для заряда корректирующего конденсатора. Он обычно равен разности токов транзисторов входной дифференциальной пары. Высокая скорость нарастания очень желательна в сильносигнальных УМЗЧ, и это вынуждает использовать большой ток входного каскада и маленькое значение емкости корректирующего конденсатора. А это нежелательно, так как для обеспечения устойчивости усилителя уменьшение емкости корректирующего конденсатора требует некоторого ухудшения параметров входного каскада (уменьшения коэффициента передачи), что уменьшает усиление с разорванной петлей обратной связи. А это уменьшает петлевое усиление в аудио диапазоне и вызывает рост коэффициента гармоник. Все это заставляет делать трудный выбор между устойчивостью, усилением с разорванной обратной связью и скоростью нарастания без ухудшения общих характеристик по переменному току и переходной характеристики. Значит, схема с общей обратной связью по напряжению не является оптимальным выбором для высококачественного звукового усилителя мощности и в некоторых случаях она не может удовлетворять всем поставленным требованиям.

Операционные усилители с токовой обратной связью появились благодаря тому, что у них полоса частот не сужалась обратно пропорционально усилению с замкнутой петлей обратной связи, как у усилителей с обратной связью по напряжению. Они показывали небольшое изменение полосы пропускания, когда усиление повышалось более единицы, однако намного меньшее, чем с общей обратной связью по напряжению. Известно, что усилители с токовой обратной связью не ведут себя так, как усилители с обратной связью по напряжению, пока усиление с замкнутой петлей обратной связи не становится слишком большим (~50).

Упрощенная модель усилителя с токовой обратной связью, изображенной на **рисунке 1**, показывает, что она использует входной буфер с единичным усилением,

выходной ток которого подается через двунаправленное токовое зеркало в каскад преобразования импедансов. Напряжение, получаемое здесь, потом буферизуется и подается на выход. Типичное значение  $R_T$  достаточно большое, обычно несколько сотен кОм или даже несколько МОм. Резистор  $R_{INV}$  является выходным сопротивлением входного буфера, а резисторы обратной связи  $R_1$  и  $R_2$  задают усиление по напряжению от входа до выхода, подобно обычным операционным усилителям. Здесь, однако, есть ток ошибки  $I_1$ , который определяет выходное напряжение, и нет напряжения ошибки.

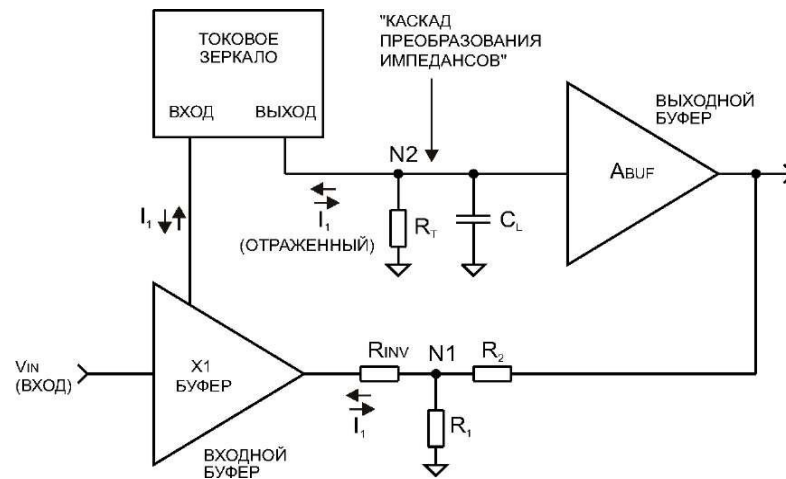


Рисунок 1– Модель усилителя с токовой обратной связью

Оценка полосы пропускания при конечном усилении может быть применена и к усилителям с токовой обратной связью как показатель их качества, хотя она имеет значение только при больших усилениях. Более важным атрибутом этой топологии является величина тока, способного перезаряжать корректирующий конденсатор за время изменения выходного напряжения на величину, пропорциональную разнице между начальным и конечным значением.

Теоретически, скорость нарастания в этой топологии не ограничена, что делает ее очень привлекательной для УМЗЧ. Хотя на практике схемотехника неминуемо накладывает ограничения на максимальную величину тока, который может обеспечить входной каскад усилителя с токовой обратной связью, и это дает ограничение на скорость нарастания. Но все равно, скорости нарастания, достижимые с этим типом схем, часто в 5 (или более) раз выше, чем у своих аналогов с обратной связью по напряжению при данном значении тока потребления. Токковая обратная связь предоставляет большие возможности для выбора элементов усилителя мощности, чем обратная связь по напряжению.

## Литература

1. Mark Alexander, "A Current Feedback Audio Power Amplifier", 88th Convention of the Audio Eng. Soc., reprint #2902, March 1990.