

МОДУЛЬНЫЕ КАНАЛЬНЫЕ ЭКВАЛАЙЗЕРЫ НА ПАВ-ФИЛЬТРАХ



Современное развитие информационных технологий во многом определяется качественным уровнем телевидения, в том числе возможностью многоканального телевизионного приема. В больших городах основная сложность заключается в высокой плотности используемых эфирных каналов и разной мощности телевизионных передатчиков. Вне больших городов телевизионный прием часто производится с разных направлений от источников сигнала, поэтому мощность поля в точках приема различается в сотни раз. В таких условиях обеспечить качественный прием и распределение в коллективной сети 10–15 телевизионных программ можно только при наличии сложной многофункциональной приемной системы – модульного канального эквалайзера на основе ПАВ-канальных усилителей.

Основные функции канального эквалайзера (КЭ): усиление, выравнивание по уровню, фильтрация и суммирование принятых эфирными антеннами сигналов телевизионных программ метрового и дециметрового диапазона для дальнейшей передачи их абонентам сетей коллективного телевизионного приема (СКТП) или отдельной квартиры, загородного дома, коттеджа [1–3].

Модульные канальные эквалайзеры конструктивно включают в себя набор канальных усилителей, суммирующее устройство, оконечный широкополосный усилитель мощности и блок питания [4–5]. Для удобства эксплуатации все модули, входящие в КЭ, имеют унифицированный корпус и располагаются на одном шасси, конструкция которого обеспечивает установку КЭ на вертикальной плоскости. Для обеспечения ремонтпригодности эквалайзеров все элементы регулировок, индикации и коммутации находятся на передней панели корпуса, а конструкция шасси гарантирует возможность оперативной замены модулей.

В качестве основного частотно-избирательного элемента канального усилителя были выбраны фильтры на

О.Машинин*, А.Багдасарян**, д.т.н., В.Львов*,
В.Прапорщиков*, к.т.н., Т.Синицына*, к.т.н.,
С.Багдасарян**, к.т.н.

поверхностных акустических волн (ПАВ). Они обеспечивают высокую стабильность параметров систем, малы по размерам и достаточно рентабельны (определяется групповой технологией их изготовления). Так как ПАВ-фильтры стоят на входе и выходе канального усилителя, они должны иметь уровень вносимого затухания не более 8 дБ. Использование новых конструкций ПАВ-фильтров, технологий и материалов позволило снизить уровень вносимого затухания до 2–6 дБ в зависимости от относительной ширины полосы пропускания фильтра ($\Delta f/f_{\text{ном}}$). Величина неравномерности АЧХ в полосе пропускания определяется классом КЭ, при этом максимально допустимое значение составляет 3 дБ (1,5 дБ на каждый ПАВ-фильтр). Избирательность фильтров по ближайшему несмежному каналу должна быть не менее 20 дБ.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И КОНСТРУКЦИЯ КАНАЛЬНЫХ ЭКВАЛАЙЗЕРОВ НА ОСНОВЕ ПАВ-КАНАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Модульный канальный эквалайзер (рис.1) состоит из набора полосовых маломощных канальных усилителей (КУ), оконечного усилителя мощности (УС), сумматора для объединения всех канальных усилителей по выходу и блока питания (БП). Рассмотрим основные принципы построения канальных усилителей, оконечного широкополосного усилителя и блока питания.

Канальные усилители

Канальные усилители – базовые элементы КЭ – предназначены для усиления ТВ-сигнала одного канала. Применение канальных усилителей позволяет выравнивать уровни ТВ-сигналов различных каналов на выходе КЭ. Структурная схема КУ (рис.2) и, следовательно, конкретные параметры КУ определяются условиями приема ТВ-сигналов, параметрами распределительной сети и классом КЭ.

Входная часть КУ состоит из входного высокочастотного канального фильтра на поверхностных акустических волнах и

*Научно-производственное предприятие "БУТИС"

** Институт радиотехники и электроники РАН

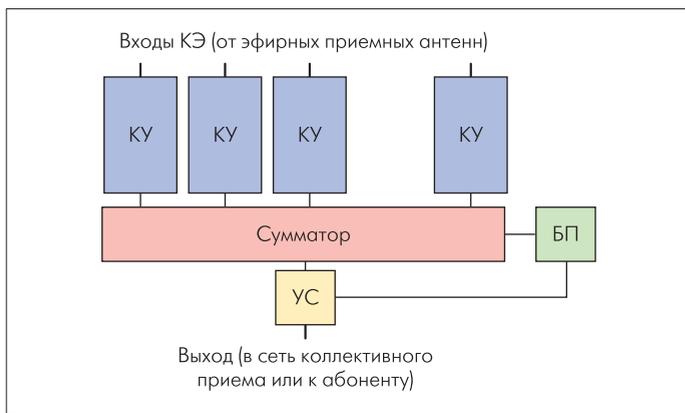


Рис. 1. Структурная схема модульного канального эквалайзера

регулируемого усилителя (РУ). Входной фильтр выделяет сигнал рабочего канала, а с помощью усилителя производится его предварительное усиление. За счет регулировки коэффициента усиления достигается необходимый уровень сигнала на выходе КУ. Выходной высокочастотный ПАВ-фильтр производит дополнительную фильтрацию, обеспечивая лучшую избирательность КУ, а также препятствует проникновению искажений второго порядка, возникающих в РУ, в линейный тракт распределительной системы (РС). Это позволяет увеличивать уровень выходного сигнала. Направленный ответвитель на выходе усилителя служит для последовательного сложения сигналов канальных усилителей. Такая схема обладает высокой частотной избирательностью при относительно низкой стоимости канальных усилителей.

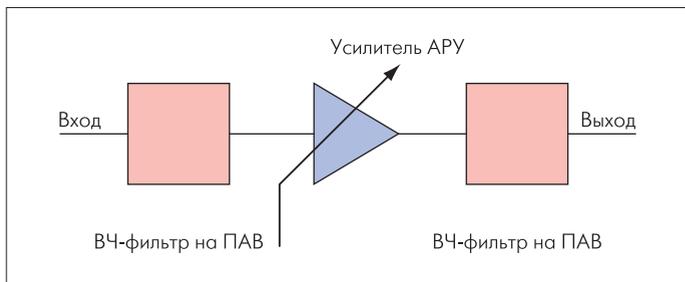


Рис. 2. Структурная схема канального усилителя

Предложенное схемотехническое решение (см. рис.2) позволяет отказаться от двойного преобразования частоты и использовать схему прямого усиления, а также практически полностью исключить взаимные влияния соседних канальных усилителей, что повышает надежность головной станции в целом. Применение фильтров на ПАВ дает возможность избежать настройки каждого канального усилителя, что выгодно с экономической точки зрения.

Кабельная распределительная система предназначена для приема, обработки и передачи ТВ-сигналов абоненту. В процессе прохождения по этой системе ТВ-сигнал подвергается определенным искажениям (линейным и нелинейным) и воздействию помех. Качество и устойчивость работы РС в целом определяются следующими параметрами.

Коэффициент усиления по напряжению K_U , который является функцией входного сигнала $K_U(U_{Вх})$.

Максимально допустимый выходной уровень (МВУ, дБмкВ) сигнала – это такое значение произведения $K_U U_{Вх}$, при котором отношение сигнала к комбинированной помехе не превышает заданного значения для искажений любого порядка.

Максимальный коэффициент усиления (дБ) возможен тогда, когда регулируемый усилитель работает в режиме максимального усиления.

Минимальный уровень входного сигнала (дБмкВ) – это уровень, при котором увеличение коэффициента усиления КУ до максимума обеспечивает паспортное значение МВУ.

Максимальный уровень входного сигнала (дБмкВ) – это уровень, при котором за счет снижения коэффициента усиления КУ до минимума обеспечивается паспортное значение МВУ.

Разность между максимальным и минимальным уровнями входного сигнала – это глубина регулировки системы АРУ. Для различных типов КУ этот параметр имеет значение 25–40 дБ.

Избирательность (дБ) определяет способность КУ отфильтровывать сигналы соседних каналов. Обычно ее измеряют при отклонении от центральной частоты канала на ± 12 МГц (избирательность по ближайшему несмежному каналу).

Коэффициент шума КУ определяется шумовыми свойствами РУ и потерями во входном фильтре. Коэффициент шума РУ, как правило, не превышает 6 дБ, а потери в фильтре составляют 2,5–3 дБ. Поэтому значение коэффициента шума КУ обычно не превышает 9 дБ. Коэффициент шума КУ определяется для максимального коэффициента усиления, т.е. для минимального уровня входного сигнала.

Параметры канального усилителя

- Максимальный уровень выходного сигнала.....не менее 100 дБмкВ
- Коэффициент усиления.....не менее 25 дБ
- Диапазон регулировки усиления.....не менее 30 дБ
- Коэффициент шума.....не более 6 дБ
- Избирательность при отклонении от центральной частоты канала на ± 12 МГц (избирательность по ближайшему несмежному каналу).....не менее 45 дБ

Принципиальная схема канального усилителя представлена на рис.3.

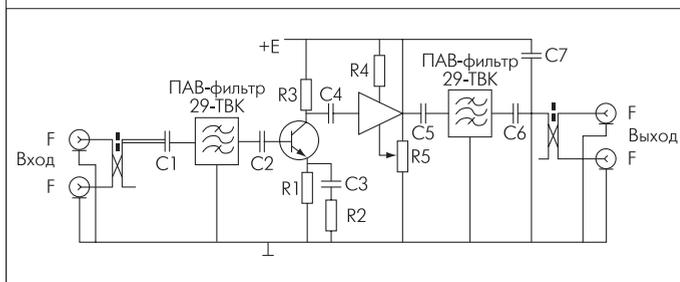


Рис.3. Принципиальная схема канального усилителя для 29-го ТВ-канала

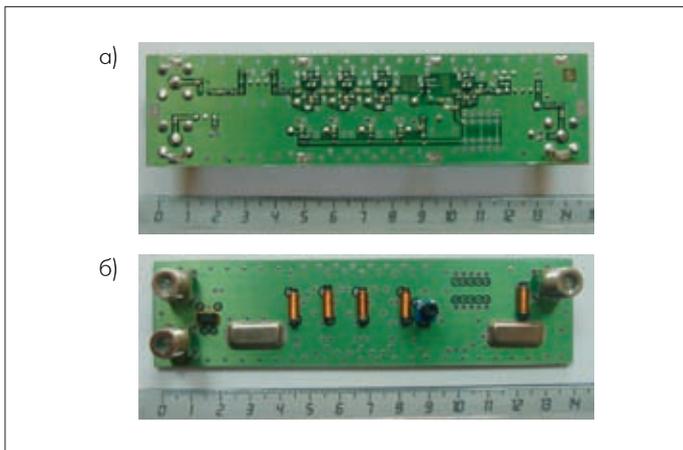


Рис.4. Конструкция разработанного канального усилителя:
а) вид со стороны блока усиления; б) вид со стороны ПАВ-фильтров

Оконечный широкополосный усилитель

Оконечный широкополосный усилитель (ШУ) предназначен для компенсации затухания ТВ-сигнала в линии передачи. Полоса пропускания ШУ должна быть не меньше полосы пропускания РС (в рамках данной работы за основу взята московская сетка ТВ-каналов). Поскольку затухание в кабеле зависит от частоты, то на ШУ обычно лежит задача выравнивания уровней сигналов за счет формирования наклона его АЧХ. Отличительной особенностью ШУ является большой МВУ, который определяется не энергетическими возможностями усилителя, а линейностью его выходных каскадов.

Параметры оконечного усилителя

- Максимальный выходной уровень сигнала.....не менее 115 дБмкВ
- Коэффициент усиления.....не менее 30 дБ
- Диапазон регулировки усиления.....не менее 20 дБ
- Диапазон усиливаемых частот.....48–862 МГц

Окончательный вариант базового широкополосного усилителя состоит из пяти каскадов. Транзистор первого каскада работает в малощумящем режиме, что снижает коэффициент шума всего усилителя. Коэффициент усиления регулируется во

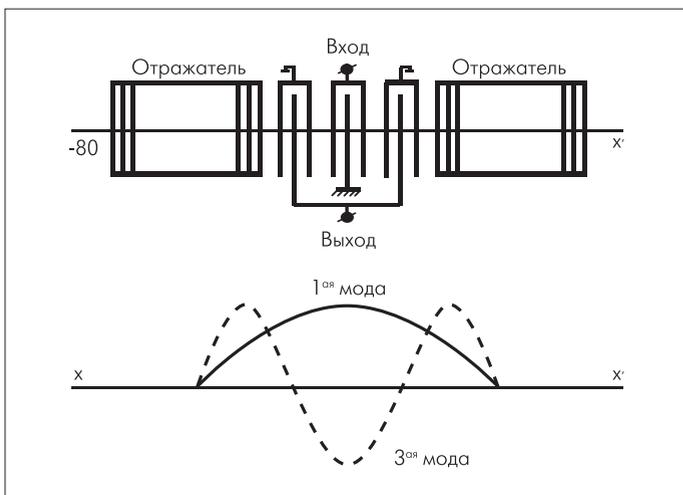


Рис.5. Структурная схема преобразователя ПАВ

втором каскаде, где в качестве активного компонента применена микросхема S594Т, обеспечивающая диапазон регулировки более 40 дБ. Остальные три каскада дают необходимый коэффициент усиления всего КУ. На выходе КУ стоит направленный ответвитель, который позволяет собирать канальные усилители разных телевизионных каналов в одну линейку в составе КЭ.

Блок питания

Блок обеспечивает питание КУ и ШУ постоянным током имеет следующие характеристики: выходное напряжение +12 В; максимальный ток нагрузки 1,5 А. Напряжение питания к усилителю подается по кабелю через инжектор питания.

ПАВ-канальные усилители выполнены на печатной стеклотекстолитовой плате толщиной 1,5 мм, на которой устанавливались входные и выходные разъемы и регулировочный резистор (рис.4). Применение SMD-компонентов и отсутствие подстроечных элементов позволило автоматизировать процесс монтажа платы – сборка проведена групповым методом с помощью робота SMD-монтажа фирмы Philips.

ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ КАНАЛЬНЫЕ ПАВ-ФИЛЬТРЫ

Частотно-избирательные и шумовые характеристики канальных эквалайзеров определяются в основном выходными параметрами канальных усилителей на основе ПАВ-фильтров. В качестве базовой конструкции была выбрана структура на основе продольно-связанных резонаторов, принцип действия которой основан на частичном отражении ПАВ от масс-электрических неоднородностей на поверхности звукопровода [6]. Данный тип структуры позволяет реализовать широкий спектр полос пропускания (от 0,5 до 7%) – в зависимости от используемого пьезоэлектрика и параметров технологического процесса.

Малая величина вносимого затухания в таких структурах достигается за счет исключения потерь, связанных с двунаправленностью излучения ПАВ встречно-штыревым преобразователем (ВШП). Конструктивно это возможно путем применения двустороннего приема (используются два выходных преобразователя, включенных параллельно) и введения дополнительных отражателей по краям структуры (рис.5).

Физическая модель данной структуры разработана на основе R-матричного представления каждого частотно-избирательного элемента, входящего в топологию. Анализ однородных структур с произвольным числом электродов на длину волны приведен в монографии [7].

Следует отметить, что структура, показанная на рис.5, имеет уровень режекции в высокочастотном диапазоне вблизи полосы пропускания 10–15 дБ (обусловлено характером передаточной проводимости Y_{21}). Для увеличения уровня режекции применяется каскадное соединение таких структур через боковые преобразователи, включенные в режиме самосогласования (рис.6).

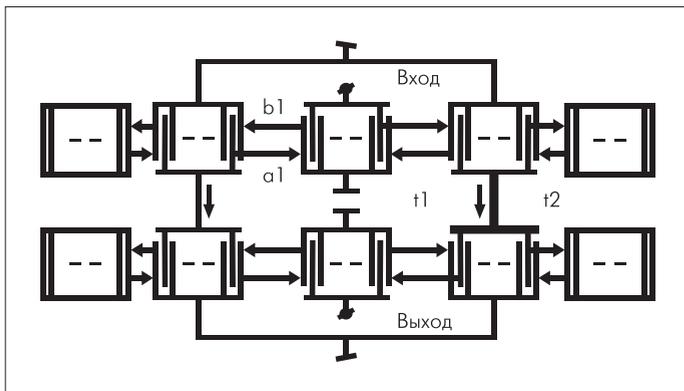


Рис.6. Конструкция каскадного фильтра на основе продольно-связанных структур

Была разработана программа расчета каскадного фильтра на основе продольно-связанной резонаторной структуры. Входные параметры данной программы: параметры материала звукопровода (коэффициент связи, диэлектрическая проницаемость, коэффициент затухания ПАВ при распространении), эффективная скорость и коэффициент отражения в структурах, а также геометрия конструкции (число штырей в преобразователях и отражателях, апертура, коэффициент металлизации и величина зазоров).

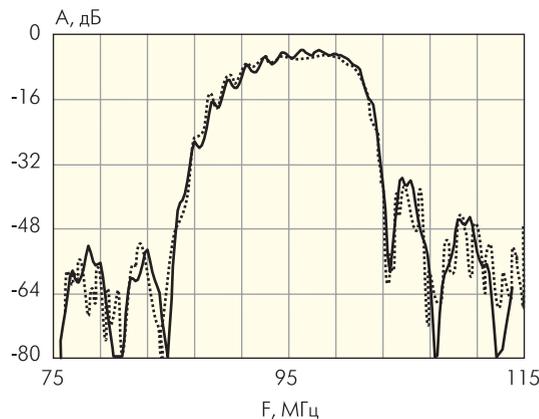


Рис.7. Теоретическая (сплошная линия) и экспериментальная (пунктирная линия) характеристики фильтра ФТКП-5М (95 МГц)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ КАНАЛЬНЫХ ПАВ-ФИЛЬТРОВ В ТВ-СЕТИ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

Разработанную гребенку телевизионных канальных ПАВ-фильтров применили в основной сети московского телевидения и ряде городских студий Подмосковья (гг. Волоколамск, Зарайск, Шатура, Серпухов, Воскресенск, Дмитров, Красногорск, Кашира, Ногинск, Сергиев Посад, Ивантеевка, Дубна, Троицк, Подольск, Коломна, Щелково, Ис-

Таблица 1. ТВ-передатчики московского региона

| Телеканалы МВ (1–12); ДМВ (21–60) | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Номер частотного канала | Несущая видео, МГц | Несущая звука, МГц | Программа | Мощность передатчика видео/звук, кВт | Место установки передатчика |
| 1 | 49,75 | 56,25 | 1ТВ | 50/5 | Останкино |
| 2 | 59,25 | 65,75 | НТВ | Кабельная сеть Москвы | — |
| 3 | 77,25 | 83,75 | ТВЦ/Московия | 50/5 | Останкино |
| 4 | 85,25 | 91,75 | Россия | Кабельная сеть Москвы | — |
| 5 | 93,25 | 99,75 | ТВ-Столица/Районное кабельное ТВ | Кабельная сеть Москвы | — |
| 6 | 175,25 | 181,75 | ТВ Спорт | 1/0,1 | Останкино |
| 7 | 183,25 | 189,75 | Культура/ЕuroNews | Кабельная сеть Москвы | — |
| 11 | 215,25 | 221,75 | Россия | 60/6 | Останкино |
| 23 | 487,25 | 493,75 | ДТВ | 10/1 | Останкино |
| 25 | 503,25 | 509,75 | Евро-Ньюс | 10/1 | Останкино |
| 27 | 519,25 | 525,75 | СТС-Москва | 5/0,5 | Останкино |
| 32 | 559,25 | 565,75 | Цифровое ТВ | 1,3/0,13 | Останкино |
| 46 | 671,25 | 677,75 | ТВ-3 | 5/0,5 | Останкино |
| 49 | 695,25 | 701,75 | РЕН-ТВ | 20/2 | Останкино |
| 60 | 783,25 | 789,75 | 2x2 | 10/1 | Останкино |

тра, Орехово-Зуево, Бронницы, Павловский Посад, Клан, Наро-Фоминск). Полученные результаты показали (табл.1), что плотность информационных каналов при существующих приемопередающих телевизионных системах значительно увеличилась. В табл.1 приведены данные только

Таблица 2. Основные параметры и геометрия телевизионных канальных ПАВ-фильтров

| Номер канала | Частота, МГц | Ширина полосы пропускания, % | Соотношение числа элементов, пар: центральный ВШП/ боковой ВШП/ отражатель | Вносимые потери, дБ |
|--------------|--------------|------------------------------|--|---------------------|
| 6 | 178 | 6,5 | 13/6,5/100 | 1,5 |
| 7 | 186 | 5,9 | 13/6,5/100 | 1,5 |
| 8 | 197 | 5,7 | 13/6,5/100 | 1,8 |
| 9 | 202 | 5,5 | 13/8/100 | 4,2 |
| 10 | 210 | 5,0 | 14/9/100 | 4,2 |
| 29 | 538 | 2,1 | 20/11/100 | 3,2 |
| 33 | 570 | 2,1 | 20/11/100 | 3,0 |
| 46 | 674 | 2,2 | 26/18/100 | 3,0 |
| 49 | 698 | 2,1 | 26/15/100 | 3,8 |

для Москвы и для 15 каналов, хотя характеристики снимались для всех 60 каналов.

Следует отметить, что реализация ПАВ-фильтров с малым вносимым затуханием на 1–5 эфирные телевизионные каналы была связана с рядом трудностей как технологических, так и конструктивных.

Поэтому для этих каналов была разработана новая конструкция на основе многополоскового ответвителя U-образной формы. Характеристика фильтра для 5-го эфирного ТВ-канала приведена на рис.7. Основные параметры фильтра: ширина полосы пропускания по уровню 3 дБ–8 МГц; уровень вносимого затухания в полосе пропускания 4,5 дБ; гарантированное затухание по ближайшему несмежному каналу – более 40 дБ. В настоящее время проводится разработка ПАВ-фильтра на 4-й эфирный телевизионный канал.

Фильтры для метровых каналов (с 6 по 60) имели продольно-связанную структуру. ПАВ-фильтры для 6–8 эфирных телевизионных каналов изготовлены на ниобате лития (41°УХ- и 49°УХ-срезы); для более высокочастотных каналов применялся 64°УХ-срез ниобата лития. В зависимости от ширины полосы пропускания (2,0–6,5%) и номинальной частоты фильтра уровень вносимых потерь составлял 1,5–4,2 дБ.

Разработаны телевизионные канальные фильтры для 21 канала Московской телевизионной сети (6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 26, 27, 28, 29, 31, 33, 35, 38, 46, 48, 49, 51, 60). Основные параметры и геометрия ПАВ-фильтров для некоторых каналов приведены в табл.2.

Следует отметить, что для реализации высокой внеполосной избирательности в ПАВ-фильтрах на 9,10 и 11 эфирные каналы была использована трехканальная конструкция с введением дополнительной емкости между входным и выходными преобразователями структуры. Расчет характеристик проводился с помощью модернизированной программы синтеза на базе стандартного пакета программ MathCad.



Рис.8. Характеристика ПАВ-фильтра 41-го эфирного ТВ-канала (г. Подольск)

На рис.8 приведена частотная характеристика разработанных ПАВ-фильтров на эфирную сетку московского региона.

Параметры канальных эквалайзеров на канальных ПАВ-фильтрах

Минимальное вносимое затухание.....не более 6 дБ
 Ширина полосы пропускания (Δf) по уровню -3 дБ не менее 8 МГц
 Неравномерность АЧХ в полосе пропускания.....не более 1,5 дБ
 Избирательность по ближайшему несмежному каналу в составе КУ.....не менее 40 дБ
 Входное и выходное сопротивление.....75 Ом

Для обеспечения хорошего подавления сигнала по ближайшему несмежному телевизионному каналу (не менее 40 дБ) в канальном эквалайзере использовались два фильтра, включенных через усилитель.

Частотные свойства канальных эквалайзеров определяются параметрами ПАВ-фильтров, входящими в их состав. Такие параметры, как коэффициент усиления, диапазон регулировки усиления и коэффициент шума КЭ, в основном зависят от качественных характеристик канальных усилителей.

На рис.9 приведена частотная характеристика разработанных канальных усилителей для дециметрового диапазона частот.

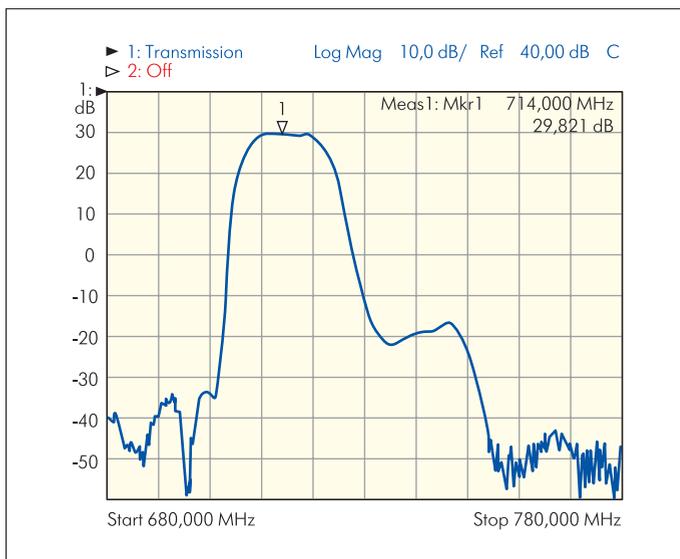


Рис.9. Частотная характеристика канального усилителя 51-го ТВ-канала

Параметры канальных усилителей

| | Норма | Получено |
|--|-------|----------|
| Коэффициент усиления, дБ, не менее | 25 | 30 |
| Диапазон регулировки усиления, дБ, не менее | 30 | 35 |
| Коэффициент шума, дБ, не более | 6 | 6 |
| Избирательность при отклонении от центральной частоты канала на ± 12 МГц, дБ, не менее | 40 | 40 |

На основе разработанных канальных усилителей были изготовлены макетные образцы модульных канальных эквалайзеров. На рис.10 приведена типовая (аналогичная характеристикам других каналов) характеристика КЭ (на базе канального усилителя 10-го эфирного ТВ-канала).

Разработка корпуса модульного канального эквалайзера проводилась на основе условий унификации, удобства эксплуатации и ремонтпригодности данной конструкции.

Конструкция платы (рис.11) позволяет производить ее монтаж и настройку до установки в корпус. Семиканальная головная станция на базе канальных эквалайзеров представлена на рис.12.

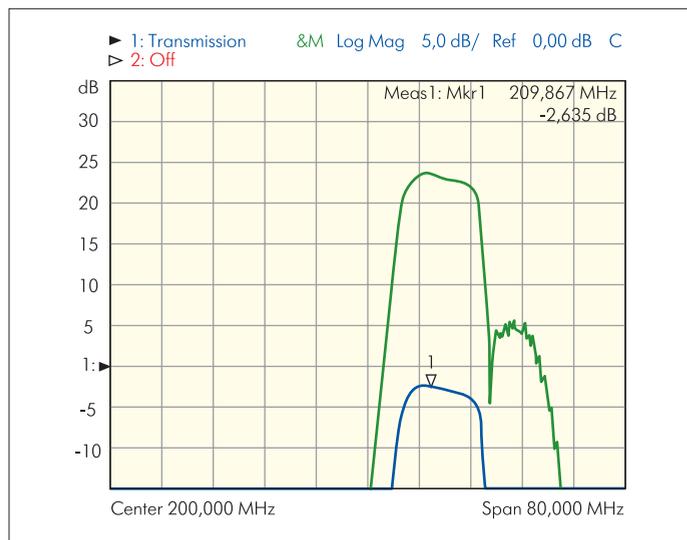


Рис.10. Типовая характеристика разработанного КЭ (на базе канального усилителя 10-го эфирного ТВ-канала)

В заключение подчеркнем, что разработаны принципиальные схемы и конструкции телевизионных модульных канальных эквалайзеров на основе ПАВ-канальных усилителей.

Определены основные параметры и элементная база модулей, входящих в состав канальных эквалайзеров (канального усилителя на основе высокочастотных ПАВ-фильтров с малыми потерями, оконечного широкополосного усилителя и блока питания).

На модульную телевизионную головную станцию получен патент на полезную модель [8].



Рис.11. Плата с установленной передней панелью



Рис.12. Семиканальная головная станция на основе канальных эквалайзеров

Авторы выражают благодарность академику Ю.В. Гуляеву за ценные замечания, сотрудникам фирмы "БУТИС" Р.В. Егорову, Б.Н. Муранову, М.М. Орлову, О.В. Савиной, Е.К. Сингуру и П.В. Цветкову за помощь в настоящей работе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Проект № 07-02-13649-офи_ц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Д. Отраженные телевизионные сигналы в городских условиях. – Электросвязь, 1975, №4, с.1–7.
2. Воробьев М.С., Кудрин Л.П. и др. Приемные распределительные системы телевидения, Челябинск, 2002. – 238 с.
3. Песков С., Таценко В., Шишов А. Критерии выбора головного оборудования при проектировании кабельных сетей коллективного приема телевидения. – Телеспутник, 1999, №3–4.
4. Иванча Н.Н. Инженерный расчет кабельных эквалайзеров. – Техника кино и телевидения, 1999, №2, с.45–48.
5. Песков С., Таценко В., Шишов А. Выбор усилительного оборудования при проектировании кабельных сетей коллективного приема телевидения. – Телеспутник, 1999, №6, №7.
6. Сеницына Т.В., Багдасарян А.С., Егоров М.М. ПАВ-фильтры на основе продольно-связанных структур. – Электронная промышленность, 2004, №1, с.14–19.
7. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В. Селективные акустоэлектронные приборы на основе однонаправленных структур поверхностных акустических волн. – М.: 2004. – 103 с.
8. Патент на полезную модель № 53089 от 29.09.05. Модульная телевизионная головная станция. / Львов В.Ф., Машинин О.В., Сеницына Т.В., Прапорщиков В.В.