



ВСЕ ПРО КАБЕЛЬНЫЕ ЭКВАЛАЙЗЕРЫ

С. Н. Песков, зам. директора по науке компании «Контур-М», к. т. н.,
С. Ю. Колгатин, директор по маркетингу компании «Контур-М»,
Д. Н. Седов, гл. инженер ООО «Макротел»

В статье описываются назначение и принцип работы кабельного линейного эквалайзера. Значительное внимание уделено вопросу частотных зависимостей коаксиальных кабелей и эквалайзеров¹, а также их поведению в диапазоне температур.

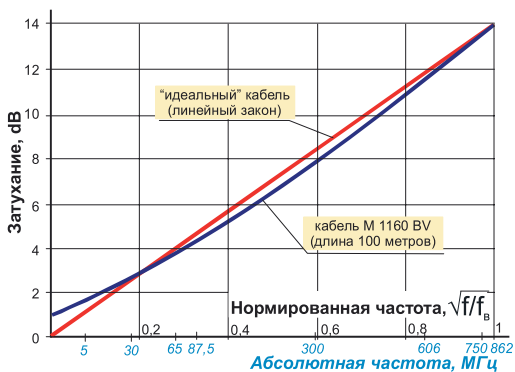
Прежде чем перейти к вопросу построения эквалайзеров и особенностям их эксплуатации, целесообразно рассмотреть особенности затухания коаксиального кабеля в широком диапазоне частот при любом температурном воздействии.

Частотный ход затухания коаксиального кабеля d_k в общем случае изменяется по закону:

$$d_k = a \cdot f + b \cdot \sqrt{f} + c \quad (1)$$

Коэффициенты a , b и c зависят от конкретного типа кабеля (его конструктивного исполнения) и обычно приводятся на погонную длину кабеля 100 м.

Коэффициент a характеризует отклонение частотного затухания кабеля от линейного закона. Чем меньше этот коэффициент, тем ближе данный вид кабеля к идеальному (рис. 1).



Коэффициент b характеризует высокочастотные свойства кабеля, то есть его погонные потери на каждые 100 м длины. Чем меньше этот коэффициент, тем меньшими потерями обладает кабель.

Коэффициент c указывает на величину потерь кабеля по постоянному току (то есть на нулевой частоте f). Данный параметр значим только при использовании дистанционного питания и не оказывает влияния на частотный ход затухания кабеля.

Знание частотных коэффициентов a , b и c позволяет с высокой точностью рассчитать затухание кабеля на произвольной частоте f . Однако в большинстве практических случаев производитель не указывает частотные коэффициенты затухания кабеля. Рассмотрим простой способ определения этих коэффициентов. Для этого достаточно знать значения погонных затуханий кабеля на нижней частоте рабочего диапазона частот f_n (соответствующее затухание α_n) и на верхней частоте f_0 (соответствующее затухание α_0), а также величину петлевого сопротивления кабеля R_k , приведенного на погонную длину 100 м. Эти три параметра могут быть заимствованы через справочные значения или определены экспериментально.

Частотные коэффициенты (приводим без доказательства) рассчитываются по формулам:

$$a = \frac{\sqrt{f_n}(\alpha_0 - c) - \sqrt{f_0}(\alpha_n - c)}{f_0 \sqrt{f_n} - f_n \sqrt{f_0}}; \quad (2)$$

$$b = \frac{f_0(\alpha_n - c) - f_n(\alpha_0 - c)}{f_0 \sqrt{f_n} - f_n \sqrt{f_0}}; \quad (3)$$

$$c = -20 \lg \left[\frac{R_0}{R_k + R_0} \right]. \quad (4)$$

Здесь R_0 — характеристическое сопротивление кабеля. Например, в телевизионной технике принято $R_0 = 75 \text{ Ом}$.

Для численной иллюстрации в табл. 1 приведены справочные значения петлевых сопротивлений R_k и погонных потерь α_n и α_0 некоторых типов кабелей компании MediaLink, соответствующие трем распространенным классам, на частотах 55 и 870 МГц соответственно. В табл. 2 приведены расчетные значения частотных коэффициентов a , b и c и погонных затуханий этих типов кабелей на частотах, наиболее часто используемых в расчетах сетей кабельного телевидения (СКТ).

Подставляя численные значения в (1) при решении практических задач, можно заметить, что частотный ход затухания слабо зависит от коэффициентов a , b и c . То есть для расчета частотного хода затухания погонных потерь идеального кабеля может быть записано выражение:

$$d_0 = b \cdot \sqrt{f}, \quad (5)$$

которое очень удобно для вычисления затухания кабеля d на произвольной частоте f через известное (или справочное) значение его затухания d_1 на частоте f_1 :

¹ Статья подготовлена с использованием материалов, любезно предоставленных компанией Teleste (Финляндия)

Таблица 1

Класс кабеля	Марка кабеля	Назначение	Сравнительные значения на 100 м (Ом, МГц, дБ)				
			R_k	f_u	α_u	f_a	α_a
QR-540	М 1590 BV	Магистральный	1,85	55	1,81	870	7,54
RG-11	М 1160 BV	Домовой	6,0	55	3,15	870	13,07
RG-6	М 660 BV	Абонентский	12,8	55	5,25	870	20,08

Таблица 2

Марка кабеля	Частотные коэффициенты			Погонное затухание, дБ/100 м, на частотах, МГц							
	a	b	c	5	30	48,5	65	87,5	300	862	2150
М 1590 BV	0,0015	0,2045	0,2117	0,68	1,38	1,68	1,96	2,25	4,20	7,50	12,9
М 1160 BV	0,0039	0,3058	0,6685	1,37	2,46	2,95	3,39	3,87	7,13	13,00	23,21
М 660 BV	0,0050	0,4861	1,3687	2,48	4,18	4,94	5,25	5,61	6,36	11,30	34,72

$$d_o = b \cdot \sqrt{f}, \quad (6)$$

Так, если затухание магистрального кабеля М 1590 BV на частоте 800 МГц составляет 7,2 дБ, то согласно (6) его затухание на частотах 200 и 50 МГц составит соответственно 3,6 и 1,8 дБ (против 1,73 дБ справочного значения). Как видно, погрешность определения погонных потерь даже в столь широком диапазоне частот составила всего 0,07 дБ, что вполне достаточно для инженерной практики.

Очевидно, что затухание кабеля произвольной длины l будет связано с его погонным затуханием d_o (то есть приведенным к длине 100 м) простым соотношением:

$$d_{[дБ]} = l_{[м]} \frac{d_o}{100} \quad (7)$$

Температурные воздействия. Температурная зависимость изменения затухания кабеля определяется зависимостью:

$$d_x = d_{T_o} [1 + K_t (T - T_o)]. \quad (8)$$

Здесь: d_x — затухание кабеля в дБ при рассматриваемой температуре T , отличной от нормальной температуры $T_o = 20^\circ\text{C}$;

d_o — затухание кабеля в дБ при $T = T_o = 20^\circ\text{C}$;

K_t — температурный коэффициент. Для большинства кабелей $K_t \approx 0,002$.

На рис. 2 представлены зависимости изменения погонных потерь кабелей в диапазоне частот в зависимости от температуры окружающей среды.

Кабельный линейный эквалайзер. Что же такое эквалайзер? Эквалайзер — это простейший корректор амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), позволяющий уравнивать амплитуды сигналов в выделенном диапазоне частот (рис. 3) вследствие их изменения за счет частотно-зависимого затухания кабеля. Идеальный эквалайзер обладает нулевым затуханием на верхней ча-

сте рабочего диапазона ω_o (то есть не вносит дополнительных потерь) и требуемым затуханием α (рис. 4) на его нижней частоте ω_n .

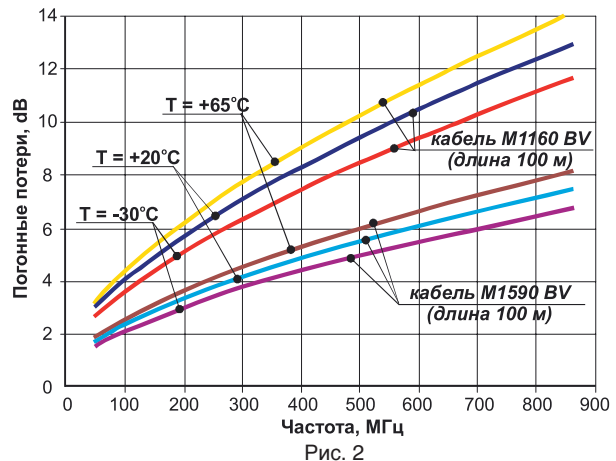


Рис. 2

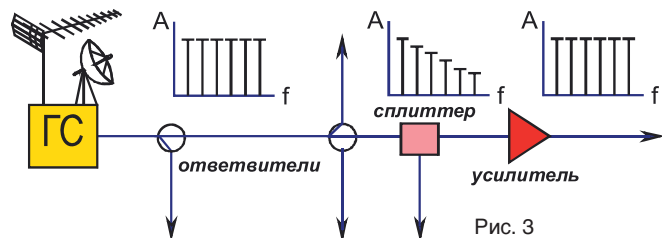


Рис. 3

Термин «линейный» является жаргонным, но часто используется в иностранной литературе. Дело в том, что если по оси X использовать логарифмический масштаб нормированной частоты или нормированное значение, то частотный ход затухания идеального кабеля будет представлять собой прямую

линию (см. рис. 1 и выражение 6). Следовательно, затухание идеального кабельного эквалайзера также будет представлять собой прямую линию (но с противоположным наклоном), так как рабочее затухание эквалайзера в идеальном случае должно представлять собой точное зеркальное отображение амплитудного распределения транслируемых сигналов (рис. 4).

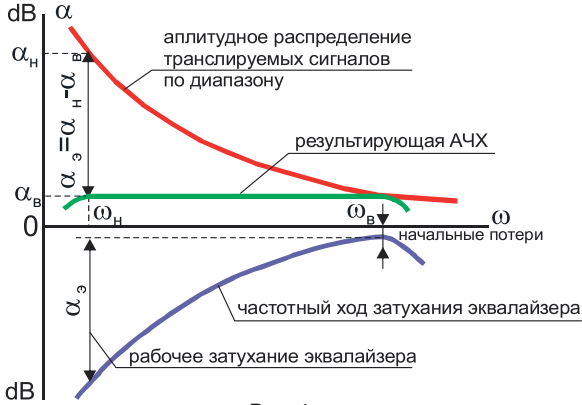


Рис. 4

Схемотехнические особенности эквалайзера. В большинстве случаев кабельный эквалайзер представляет собой Т-образный частотно-зависимый аттенуатор постоянного входного сопротивления R_0 (рис. 5).

Условием постоянства входного эквалайзера (то есть идеальность полного диапазонного согласования вне зависимости от величины вводимого затухания) является равенство [1–4]:

$$\sqrt{Z_1 \cdot Z_2} = R_0 \quad (9)$$

Из физического принципа построения эквалайзера (рис. 5) с учетом равенства (9) следует, что последовательный колебательный контур $L1C1$ и параллельный колебательный контур $L2C2$ настроены на верхнюю рабочую частоту $\omega_в$ и являются дуальными по отношению друг к другу. На верхней частоте $\omega_в$ эквалайзер эквивалентен двухпроводной линии передачи (рис. 6а), а на нулевой частоте ($\omega = 0$) — согласованному Т-образному аттенуатору (рис. 6б), элементы которого находятся через величину требуемого затухания на нулевой частоте α_0 :

$$R_1 = R_0 \frac{\alpha_0 - 1}{\alpha_0 + 1}; \quad R_2 = 2R_0 \frac{\alpha}{\alpha^2 - 1} \quad (10)$$

Здесь α представляет собой коэффициент ослабления по мощности, выраженный в относительных единицах.

Степень согласования эквалайзера, как и любого другого устройства, характеризуется коэффициентом возвратных потерь R , связанным с коэффициентом отражения Γ , коэффициентом стоячей волны по напряжению ($K_{cm.U}$) и коэффициентом бегущей волны ($K_{бв}$) выражениями:

В табл. 3 приведены сравнительные характеристики различных коэффициентов согласования согласно (11).

$$R_{[dB]} = 20 \lg[\Gamma]^{-1} = 20 \lg \left[\frac{K_{cm.U} + 1}{K_{cm.U} - 1} \right] = 20 \lg \left[\frac{1 - K_{бв}}{1 + K_{бв}} \right] \quad (11)$$

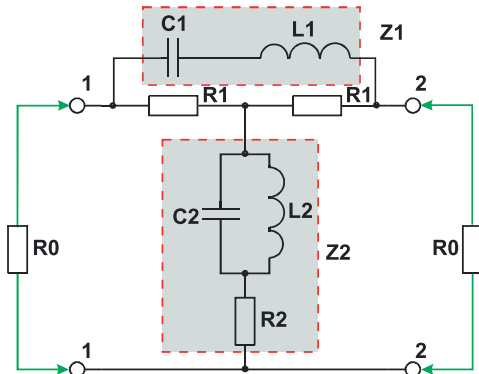


Рис. 5

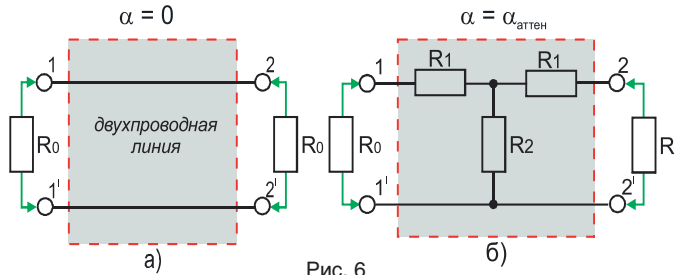


Рис. 6

Частотный ход затухания эквалайзера должен быть согласован под конкретный тип кабеля. Глубина эквалайзирования α легко находится из (7) с учетом (6):

$$\alpha_0 = \frac{d_0 l}{100} \left[1 - \sqrt{\frac{f_n}{f_в}} \right] \quad (12)$$

Частотный ход затухания эквалайзера, предназначенного под конкретный тип кабеля, вычисляется через величину рабочего затухания α по формуле:

$$\alpha = \alpha_0 \frac{b(f_в - f) + c(\sqrt{f_в} - \sqrt{f})}{b(f_в - f) + c(\sqrt{f_в} - \sqrt{f_n})} \quad (13)$$

Согласно (13) затухание линейного эквалайзера (то есть для идеального кабеля) записывается в виде:

$$\alpha = \alpha_0 \frac{\sqrt{f_в} - \sqrt{f}}{\sqrt{f_в} - \sqrt{f_n}} \quad (14)$$

Именно под данный частотный закон изменения затухания всегда стремятся изготовить кабельный эквалайзер.

Таблица 3

R , дБ	6	10	14	18	22	26
$[\Gamma]$, ед.	0,50	0,32	0,20	0,13	0,08	0,05
$K_{cm.U}$, ед.	3,01	1,93	1,50	1,29	1,17	1,11
$K_{бв}$, ед.	0,33	0,52	0,67	0,78	0,85	0,91
α_n , дБ	1,26	0,46	0,18	0,07	0,03	0,01

Эксплуатационные особенности кабельных эквалайзеров. Отметим основные эксплуатационные особенности эквалайзеров, на которые следует обращать внимание при их выборе и эксплуатации.

- Важной особенностью любого эквалайзера является то обстоятельство, что его частотное затухание должно соответствовать частотному затуханию конкретного кабеля, т.к. все кабели имеют разный частотный ход затухания (1), о чем четко указано в [5]. К сожалению, не все производители эквалайзеров заявляют, под какой тип кабеля он рассчитан. Производителями, которые заявляют, под какой тип кабеля выпущен эквалайзер, являются Teleste (Финляндия), PBN (Австралия), Iritek (США) и некоторые другие.

- Эквалайзеры выпускаются двух типов: фиксированные (встраиваемые) и переменные (регулируемые). Переменные эквалайзеры значительно удобнее в эксплуатации по сравнению с фиксированными. Однако они менее надежны, значительно менее согласованны (в силу сложности выполнения условия (9) при регулировании) и обладают значительно худшей линейностью (сопряженностью с любым кабелем). Действительно, переменный эквалайзер имеет в своем составе регулируемый аттенуатор, конструктивное исполнение которого принципиально не позволяет реализовать качественные параметры регулирования в столь широком диапазоне частот. В лучшем случае переменные эквалайзеры обладают линейностью $\pm 1,0$ дБ. Типовые же значения составляют 1,5...2,0 дБ. Фиксированные эквалайзеры исполняются методом поверхностного монтажа (SMD) с использованием миниатюрных ЧИП-резисторов повышенной точности. Например, фиксированные эквалайзеры серии TFE8xx от Teleste обладают точностью эквалайзирования не хуже $\pm 0,25$ дБ при отклонении от линейного закона не более $\pm 0,2$ дБ.

- Необходимо учитывать и условия эксплуатации эквалайзеров при температурных воздействиях. Эквалайзер предназначен для выравнивания АЧХ изделия (например, магистрального усилителя) только при фиксированной температуре. Для примера на рис. 7 приведены три формы АЧХ идеального усилителя при разных температурных воздействиях, рассчитанных по формулам (1) и (8). Для компенсации амплитудных изменений предназначена автоматическая регулировка усиления (АРУ), а для компенсации наклонов АЧХ — АРУ с регулируемым наклоном (АРУН), работающая по двум пилот-частотам.

Правда, в последнее время появились так называемые пассивные АРУ и даже АРУН, представляющие собой термозависимые аттенуаторы и эквалайзеры. Довольно широкий набор таких пассивных АРУ серии ТТА и ТТЕ стала выпускать компания Teleste. Однако они предназначены только для установки в изделия ее собственного производства (усилители и оптические узлы).

- Начальные потери — это уже менее значимый параметр. В основном зависит от качества согласования эквалайзера (см. строку α в табл. 3) и добротности используемых реактивных элементов. Типовые начальные потери эквалайзеров, как правило, не превышают 1,0...1,5 дБ.

- Неравномерность АЧХ связана прежде всего с типом используемого реактивного столбика (в переменных эквалайзерах). Как уже отмечалось, конструктив-

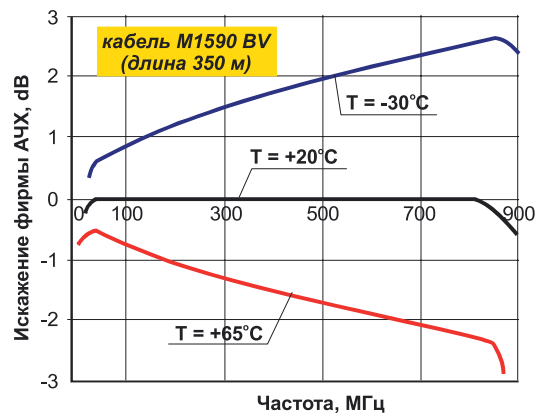


Рис. 7

ные особенности переменного аттенуатора ограничивают его предельно достижимые параметры. Более того, следует отметить такую особенность, как непреднамеренный скачок в эквалайзировании на его начальном участке регулирования. Обычно величина такой «ступеньки» составляет 10 % от максимальной величины эквалайзирования. Такая неприятная особенность также обусловлена конструктивными особенностями переменного аттенуатора.

- Коэффициент возвратных потерь (11) в значительной степени характеризует качество эквалайзера [5]. Например, Teleste, Iritek, Terra, «Макротел» и некоторые другие компании заявляют $R \geq 18$ дБ на фиксированные эквалайзеры. Типовое значение коэффициента возвратных потерь переменных эквалайзеров во всем диапазоне регулирования составляет 10 дБ. А это уже относится к классу D согласно [5].

- Глубина эквалайзирования зависит от диапазона регулирования используемого переменного аттенуатора (резистивного столбика). Традиционно выпускаемые резистивные столбики (в подавляющем большинстве китайского производства) имеют ряд 10, 15 и 20 дБ. Следовательно, гарантированный диапазон регулирования всегда будет меньше за счет неиспользуемого низкочастотного диапазона регулирования (например, 5–47 МГц) и начальных потерь. Да и сам регулируемый аттенуатор имеет технологический разброс ± 2 дБ. Поэтому некоторые производители оборудования несколько лукавят, заявляя диапазон регулирования эквалайзера точно таким же, как и аттенуатора.

- Отклонение от линейного закона эквалайзирования является, пожалуй, самым значимым параметром. Как уже отмечалось, часто этот параметр не регламентируют совсем. А испытания, проведенные измерительной лабораторией ООО «Макротел», показали, что у многих эквалайзеров разных фирм такое отклонение может достигать 2 дБ. Фактически это означает, что неравномерность АЧХ при каскадировании изделий (например, усилителей) будет накапливаться. Вследствие предельного значения неравномерности АЧХ, регламентируемого типом системы, число каскадно устанавливаемых изделий резко ограничивается и обычно не превышает 3–4 шт.

К эксплуатационным параметрам также относятся надежность и стабильность параметров. Вполне очевидно, что и в этом смысле переменные эквалайзеры существенно уступают фиксированным.

Таким образом, проведенный обзор особенностей построения и эксплуатации кабельных эквалайзеров позволит читателю правильно подойти к выбору их типа или изделия в целом, в состав которого входит кабельный эквалайзер.

Авторы с удовольствием ответят на все вопросы и практические замечания по данной статье по **E-mail: info@konturm.ru** или по **тел.: (095) 782-12-17**.

ЛИТЕРАТУРА

1. Собенин А.А., Кобызева Н.Н. Расчет амплитудных выравнивателей. — М.: Связь, 1970. — 77с.

2. Песков С.Н. Кабельные эквалайзеры// Радиоаматор. — 2000. — № 8.
 3. Иванча Н.Н. Инженерный расчет частотных кабельных эквалайзеров. —1999. — № 2.
 4. Постников Г.И., Шемчак В.П. Влияние кабельных выравнивателей (эквалайзеров) на амплитудно-частотную характеристику коэффициента передачи магистральных сетей кабельного телевидения. «Телеспутник»: Справочник «Кабельное телевидение», 2001. — С. 50,51.
 5. CENELEC EN 50083-6. Cable Networks for television signals, sound signals and interactive services.



Телефонные и мульти-сервисные коммутационные системы для различных ведомств

→ **Интеллектуальная телекоммуникационная платформа «Протон-ССС»**

- АТС различных типов
- Емкость от 50 до 30 000 портов
- Оборудование доступа к IP-сетям (шлюз IP-телефонии)
- Система связи с функциями Call-центра
- Поддержка SIP
- Концентратор абонентской нагрузки
- Конвертор сигнализации и кросс-коммутатор





ОАО «УПП «ВЕКТОР»
 620078, Россия,
 г. Екатеринбург, ул. Гагарина, 28
 Тел.: (343) 375-4360
 Тел./факс: (343) 349-5066
 E-mail: market@vektor.ru
 http://www.vektor.ru



Нужна Сеть!

Качество и надежность



ИНТЕРНЕТ demos

- Комплексные решения для холдингов (call-центры, связь офисов)
- Системы информационной безопасности, дизайн защищенных сетей (Wi-Fi, VPN)
- Решения для малого бизнеса ("виртуальный офис")
- Телефония и Интернет по цифровым каналам (до 100 Мбит/с)
- Круглосуточная техническая поддержка
- Система СКИДОК на услуги связи

www.demos.ru
+7(095) 727-06-07