

- ком // Автоматика и телемеханика. №1, 1996. – С. 92-103.
11. Статкевич С.Э., Матальцкий М.А. Исследование сети массового обслуживания с ненадежными системами в переходном режиме // Вестник Томского ГУ. № 1(18), 2012. – С. 112-125.
 12. Матальцкий М.А. Сети массового обслуживания в стационарном и переходном режимах. Гродно: Изд-во ГрГУ, 2001. – 211 с.
 13. Микадзе И.С., Хочолава В.В., Хуродзе Р.А. Виртуальное время ожидания в однолинейной СМО с ненадежным прибором // Автоматика и телемеханика, №12, 2004. – С. 119-128.
 14. Печинкин А.В., Соколов И.А., Чаплыгин В.В. Многолинейная система массового обслуживания с конечным накопителем и ненадежными приборами // Информатика и ее применения. Т. 1, вып. 1, 2007. – С. 27-39.
 15. Назаров А.Н., Сычев К.И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. Красноярск: Изд-во ООО «Поликом», 2010. – 389 с.
 16. Рыжиков Ю.И. Управление запасами. М.: Наука, 1969. – 344 с.

THE EVALUATION PROCEDURE OF THE QUALITY OF SERVICE OF M/M/N/Q QUEUING SYSTEM WITH UNSAFE CHANNELS AND ITS ANNEX FOR THE ANALYSIS OF MULTI-CHANNEL RADIO COMMUNICATION SYSTEMS IN NOISE EFFECT ENVIRONMENT IS PRESENTED

Makarenko S.I., Sinitsyn I.A.

The rather simple calculation and evolution procedure of the quality of service of $M/M/n/q$ queuing system with unsafe channels is offered. The variants of annex of this procedure for the researching of the functioning of multi-channel communication systems functioning under noises effect are shown.

Keywords: *multi-channel communication system, multi-channel queuing system, electronic countermeasure, noise immunity.*

Макаренко Сергей Иванович, к.т.н., доцент Кафедры сетей и систем связи космических комплексов Военно-космической академии им. А.Ф.Можайского (г. Санкт-Петербург). Тел. 8-981-820-49-90. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Синицын Игорь Аркадьевич, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник «ОКБ Траверз» (г. Москва). Тел. 8-916-496-26-98. E-mail: isinitsyn@yandex.ru

УДК 621.397

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Аббасова Т.С., Артюшенко В.М.

Рассмотрены вопросы, связанные с анализом изменений характеристик высокочастотных кабелей под действием окружающей среды на параметры мультимедийных кабельных сетей. Получены характерные зависимости изменения погонных потерь кабелей в диапазоне рабочих частот от температуры окружающей среды.

Ключевые слова: мультимедийные кабельные сети, высокочастотные кабели, затухание, температура окружающей среды.

Введение

Высокочастотные кабели являются важнейшим пассивным элементом в мультимедийных кабельных сетях (МКС), качество и надежность которых существенно влияют на их основные эксплуатационные показатели [1-3]. Учитывая, что кабель, применяемый в МКС, играет важную роль в ее работе, представляет значительный интерес проанализировать, как повлияет изменение

параметров кабеля на работу МКС в целом. Для этого проведем исследования влияния изменения затухания кабеля на характеристики МКС, вызванные увеличением его рабочей частоты и изменениями параметров кабеля, вызванные перепадами температуры внешней окружающей среды.

Анализ влияния изменений затухания кабеля на характеристики МКС

Проанализируем влияние изменений затухания высокочастотных кабелей на характеристики МКС. В качестве высокочастотного кабеля МКС выберем коаксиальный кабель.

Как известно, зависимость затухания такого кабеля A_k от частоты в общем случае можно описать выражением [4-5]:

$$A_k = aF + bF^{0,5} + c, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где a , b и c – коэффициенты, зависящие от конструктивного исполнения конкретного типа кабеля, как правило, приводимые на погонную длину 100 м.

Коэффициент a характеризует отклонение частотного затухания кабеля от линейного закона, b – характеризует его высокочастотные свойства кабеля, c – указывает на величину потерь кабеля по постоянному току. Чем меньше коэффициент a , тем ближе данный вид кабеля к «идеальному». Чем меньше коэффициент b , тем меньшими потерями обладает данный кабель. На рис. 1 представлена зависимость затухания «идеального» и реального кабеля (марка F1160BV) от приведенной частоты $(F/F_b)^{0,5}$, где $F_b = 862$ МГц [1].

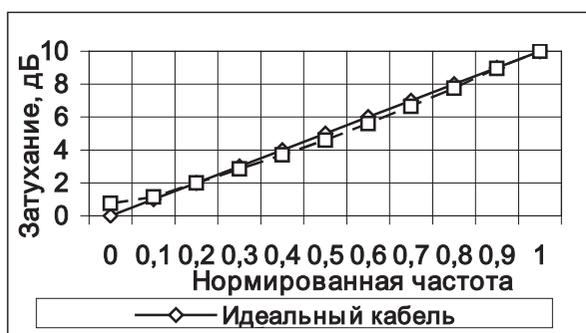


Рис. 1. Сравнительная зависимость затухания реального и «идеального» высокочастотного кабеля от частоты

Знание коэффициентов a , b и c позволяет довольно точно рассчитать величину затухания кабеля на любой рабочей частоте F . Однако, как правило, производитель не указывает значения этих коэффициентов. Для их определения достаточно знать значения погонных затуханий кабеля

A_n и A_b на нижней F_n и верхней F_b частоте рабочего диапазона, а также величину петлевого сопротивления R_k , приведенного на погонную длину 100 м. Эти параметры могут быть либо измерены экспериментально, либо взяты из справочных данных на конкретный тип кабеля.

Частотные коэффициенты можно рассчитать исходя из выражений:

$$a = [F_n^{0,5}(A_b - c) - F_b^{0,5}(A_n - c)][F_b F_n^{0,5} - F_n F_b^{0,5}]^{-1}; \quad (2)$$

$$b = [F_b(A_n - c) - F_n(A_b - c)][F_b F_n^{0,5} - F_n F_b^{0,5}]^{-1}; \quad (3)$$

$$c = -20 \text{Log}[R_o(R_k + R_o)^{-1}], \quad (4)$$

где $R_o = 75$ Ом – характеристическое сопротивление кабеля. В качестве примера в таблицах 1-2 приведены, соответственно, справочные значения R_k , A_n и A_b и расчетные значения коэффициентов a , b , c и погонных затуханий кабелей компании MediaLink на различных частотах [1; 5]. При решении практических задач удобно пользоваться выражением:

$$A_2 = A_1(F_2/F_1)^{0,5}, \quad (5)$$

позволяющим вычислять затухания кабеля A_2 на произвольной частоте F_2 через известное (или справочное) значение его затухания A_1 на частоте F_1 . На рис. 2 в качестве примера представлены зависимости коэффициента затухания кабелей от частоты [5-6]. Затухание кабеля на частоте F произвольной длины будет связано с его погонным затуханием A_o , то есть приведенным к длине 100 м соотношением

$$A_L = L(A_o/100), \text{ дБ}, \quad (6)$$

где $A_o = bF^{0,5}$; L – длина коаксиального кабеля, м.

Анализ влияний температурных воздействий на характеристики распределительной сети МКС

Как известно, наибольшее влияние на характеристики распределительной сети оказывает изменение затухания высокочастотных кабелей под воздействием перепадов температуры внешней среды на высшей частоте диапазона МКС [6-8]. В общем случае температурная зависимость изменения затухания кабеля может быть описана выражением:

$$A_x = A_{T_o}[1 + K_t(T - T_o)], \text{ дБ}, \quad (6)$$

где A_x – затухание кабеля в дБ при рассматриваемой температуре T , отличной от нормальной тем-

Таблица 1. Справочные значения петлевых сопротивлений R_k и погонных потерь A_n и A_b

Класс кабеля	Марка кабеля	Назначение	Сравнительные значения на 100 м (Ом, МГц, дБ)				
			R_k	f_n	A_n	f_b	A_b
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. Расчетные значения частотных коэффициентов a , b и c и погонных затуханий

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
М1590 BV	0,0015	0,2045	0,2117	0,68	1,38	1,68	1,96	2,25	4,20	7,50	12,9
М1160 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

пературы $T_0 = 20^\circ\text{C}$; A_{T_0} – затухание кабеля в дБ при $T_0 = 20^\circ\text{C}$; K_t – температурный коэффициент, как правило $K_t \gg 0,002$.

На рис. 3 представлены зависимости погонного затухания кабеля длиной 100 м от частоты при различных температурах внешней среды, где 1 – кабель марки М1160BV; 2 – РК 75-17-13С. Из приведенных зависимостей видно, что разность изменений затухания в диапазоне температур на одних и тех же частотах может достигать значительных величин, причем с увеличением частоты она возрастает.

Затухание кабеля протяженностью L_y , м на частоте F_x МГц при температуре t_y °С может быть найдено исходя из выражения [7]:

$$A_{y,t} = A_0 L_y (F_x F_0^{-1})^{0,5} [1 + 1,5 \cdot 10^{-3} (t_y - t_0)], \text{ дБ}, \quad (7)$$

где A_0 – затухание 1 м кабеля на частоте F_0 , МГц, при температуре $t_0 = 20^\circ\text{C}$.

Если на участке линии устанавливается регенерационный усилитель, имеющий регулятор наклона (РН) амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), то в зависимости от частоты затухание РН АЧХ-усилителя определяется по формуле

$$A_{\text{РНХ}} = A_0 L_y [1 + 1,5 \cdot 10^{-3} (t_p - t_0)] (F_b^{0,5} - F_x^{0,5}) F_0^{-0,5}, \text{ дБ}; \quad (8)$$

где t_p – расчетная температура внешней среды, равная среднему арифметическому между максимальной (t_+) и минимальной (t_-) температурой, $t_p = 0,5(t_+ - t_-)$.

Суммарное затухание высокочастотного кабеля и РН одного участка линии при расчетной температуре t_p не зависит от частоты и определяется по формуле:

$$A_{y,p} = A_{y,x,p} + A_{\text{РН},x} = A_0 L_y [1 + 1,5 \cdot 10^{-3} (t_p - t_0)] (F_b F_0^{-1})^{0,5}, \text{ дБ}. \quad (9)$$

Для рабочего канала, имеющего F_b , максимальное изменение суммарного затухания одного участка линии при изменении температуры от t_p до t может быть найдено как:

$$A_{y,x} = A_0 L_y (F_b F_0^{-1})^{0,5} [1 + 1,5 \cdot 10^{-3} (t_p - t_0)], \text{ дБ}. \quad (10)$$

При t_p затухание участка линии равно усилению A_y регенерационного усилителя, и при t_{\pm} изменение затухания составит:

$$A_{y,\pm} = \pm A_y \times 0,75 \times 10^{-3} (t_{\pm} - t_p), \text{ дБ}. \quad (11)$$

Зависимости изменения затухания участка линии от перепада температур при различных значениях величины усиления усилителя представлены на рис. 4.

Если принять, что при прокладке кабеля в канализации ($t_+ - t_-$) = 20°C , а $A_y = 20$ дБ, то $A_{y,\pm} = \pm 0,3$ дБ. При подвеске кабеля на открытом воздухе ($t_+ - t_-$) = 100°C и $A_{y,\pm} = \pm 1,5$ дБ.

При эксплуатации МКС необходимо учитывать, что в течение срока службы высокочастотных кабелей (15–20 лет) их затухание возрастает в среднем на 0,1 дБ/дБ [9–12].

Изменение уровня сигнала на выходе линии, состоящей из n_m регенерационных участков, составит:

$$\Delta U_M = n_m A_{y\pm} = \pm A_{m,p} \times 0,75 \times 10^{-3} (t_+ - t_-), \text{ дБ}, \quad (12)$$

где $A_{m,p}$ – затухание линии на частоте F_B при температуре t_p .

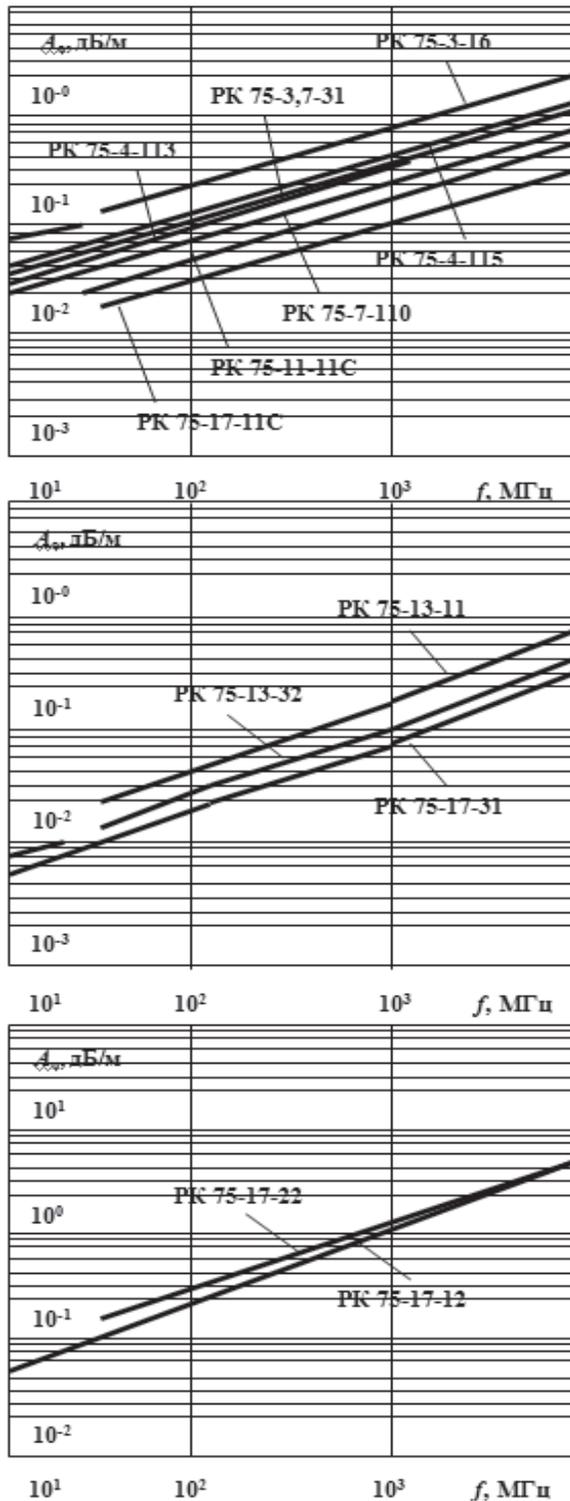


Рис. 2. Зависимость коэффициента затухания от частоты высокочастотных кабелей при температуре 20°C

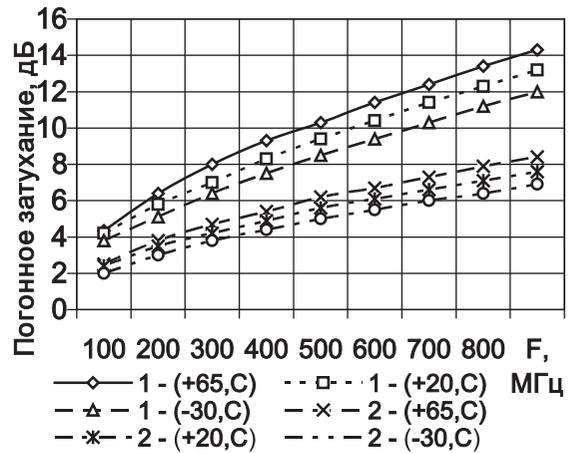


Рис. 3. Зависимость изменения погонных потерь кабелей в диапазоне частот от температуры окружающей среды

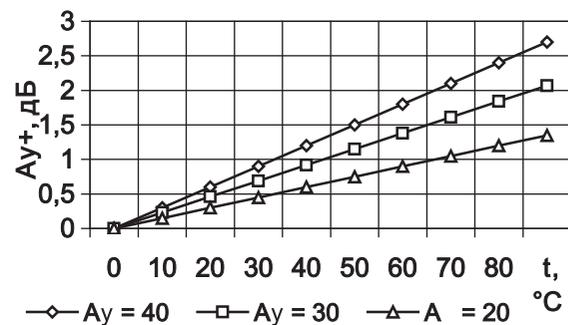


Рис. 4. Зависимость изменения затухания участка линии от перепада температур

На рис. 5 представлены зависимости изменения отношения сигнал/шум (ОСШ) на выходе линии, состоящей из n_m регенерационных участков, при изменении температуры t_{\pm} .

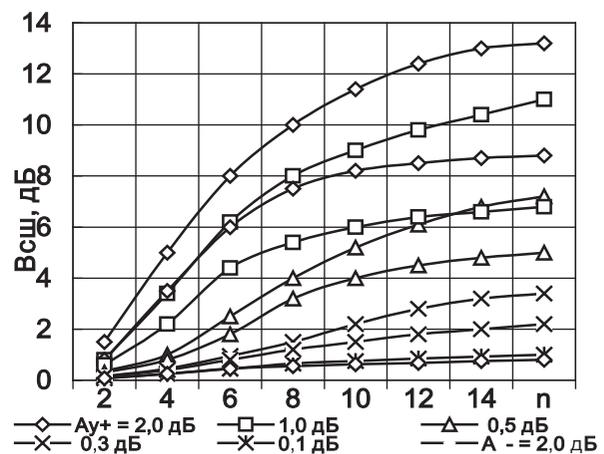


Рис. 5. Зависимости изменения ОСШ на выходе линии, состоящей из n регенерационных участков

Из представленных зависимостей видно, что при определенных условиях эти изменения могут носить существенный характер. Поэтому для нормальной работы МКС необходимо компенсировать эти потери путем включения необходимого количества регенерационных усилителей.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ влияния изменения затухания высокочастотных кабелей на характеристики МКС показал, что при прокладке кабеля в кабельной канализации изменение затухания на одном участке линии может составлять $\pm 0,3$ дБ, при подвеске кабеля на открытом воздухе – $\pm 1,5$ дБ.

Показано, что для оптимальной работы МКС через определенное количество участков линии должны включаться регенерационные усилители, компенсирующие накапливающиеся на этих участках изменения уровней рабочего сигнала.

Литература

1. Песков С.Н., Колгатин С.Ю., Седов Д.Н. Все про кабельные эквалайзеры. // Телеспутник. №7, 2005. – Ч.1; Ч.2.
2. Семенов А.Б. Переходные помехи и их разновидности // Журнал сетевых решений LAN. – 2010. – № 06. – С. 42-48.
3. Артюшенко В.М., Гуреев А.К., Абраменков В.В., Енютин К.А. Мультимедийные гибридные сети. М.: Изд. МГУС, 2007. – 82 с.
4. Артюшенко В.М., Сотников И.А. Расчет и оптимизация уровней напряжений сигналов в распределительных сетях системы кабельного телевидения // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Т.2, №2, 2006. – С.3-7.
5. Артюшенко В.М., Беянина Н.В. Расчет и оптимизация уровней сигналов в распределительной сети системы кабельного телевидения. М.: Изд-во СГУ, 2011. – 159 с.
6. Артюшенко В.М., Беянина Н.В. Повышение эффективности работы оборудования интерактивной сети системы кабельного телевидения. М.: Изд-во СГУ, 2012. – 164 с.
7. Артюшенко В.М., Беянина Н.В. Проектирование интерактивной сети системы кабельного телевидения. М.: Изд-во СГУ, 2013. – 283 с.
8. Артюшенко В.М., Соленов В.И. Интермодуляционные помехи в многоканальных системах кабельного телевидения // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. №4, 1996. – С. 62-74.
9. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Методы инсталляции и проектирования электрических кабельных линий в 10-гигабитных системах связи // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Т. 5, №2, 2009. – С. 8-16.
10. Аббасова Т.С., Артюшенко В.М. Электромагнитная совместимость электропроводных кабелей и коммутационного оборудования высокоскоростных структурированных кабельных систем // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Т.4, №4, 2008. – С. 22-29.
11. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С. Расчет и проектирование структурированных мультисервисных кабельных систем в условиях мешающих электромагнитных воздействий. Королев МО: Изд. ФТА, 2012. – 264 с.
12. Аббасова Т.С., Умудумов О.Ф. Технические средства для сервисного обслуживания высокоскоростных электрических трактов СКС // Вестник МГУС. №1(4), 2008. – С. 77-85.

IMPACT ANALYSIS PARAMETERS HIGH FREQUENCY CABLE FOR DATA MULTIMEDIA CABLE NETWORKS

Abbasova T. S., Artushenko V. M.

Problems associated with the analysis of changes in the characteristics-vysokochas-frequency cables under the influence of the environment on the multimedia cable networks. , Characteristic linear dependence of the change in loss cables dia-ranges by the operating frequency of the ambient temperature.

Keywords: *multimedia cable network RF cables, attenuation, ambient temperature.*

Аббасова Татьяна Сергеевна, к.т.н., доцент Кафедры информационных технологий и управляющих систем (ИТУС) Финансово-технологической академии (ФТА), г. Королев Московской обл. Тел. 8-906-716-20-82. E-mail: abbasova_univer@mail.ru

Артюшенко Владимир Михайлович, д.т.н., профессор Кафедры ИТУС ФТА. Тел. 8-915-174-03-73. E-mail: artuschenko@mail.ru