

ЛИНИИ СВЯЗИ

УДК 621.315

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЯ СКС КАТЕГОРИИ 6А

О.Г. Патрик, профессор кафедры ФилС СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, к.т.н.; oleg.patric@gmail.com

М.Ю. Сверцова, инженер ОАО «Гипроспецгаз»; mawa.spb.gut@mail.ru

Достижение высокой скорости передачи информации в центрах обработки данных возможно при использовании неэкранированных кабелей СКС категории 6А. Применение оптимизированной конструкции кабеля позволяет снизить расход меди и стоимость кабеля.

Ключевые слова: Центр обработки данных, неэкранированная кабель, оптимизация.

Введение. В небольших центрах обработки данных (ЦОД) наряду с экранированными кабелями категории 7 могут применяться неэкранированные кабели категории 6А, предназначенные для передачи данных со скоростью 10 Гбит/с. Наличие сепаратора в кабельном сердечнике позволяет в значительной мере уменьшить помехи от взаимного влияния, однако при этом изменяются передающие свойства самих цепей.

Конструктивные и электрические характеристики. Существующие стандарты на СКС, в частности международный стандарт ISO/IEC 11801 2011—06 [1], не регламентируют конструктивные размеры сепаратора. Вследствие этого наблюдаются значительные отличия в параметрах в зависимости от фирм-изготовителей, что наглядно демонстрируют данные, приведенные в табл. 1.

Различие в конструктивных размерах существенным образом влияет на изменение параметров передачи. В табл. 2 приведены значения коэффициента затухания и волнового сопротивления для кабелей фирм-изготовителей, указанных в табл. 1. Здесь d_1 — диаметр изолированного проводника, d_0 — диаметр неизолированного проводника.

Коэффициент затухания в диапазоне частот до 1,0 ГГц можно определить по формуле [2]:

$$\alpha = 8,7\chi \frac{R}{2Z_b}, \text{ дБ/км}, \quad (1)$$

где χ — коэффициент спиральности; R — активное сопротивление цепи; Z_b — волновое сопротивление.

Таблица 1

Изготовитель	Ширина сепаратора, мм	Толщина сепаратора, мм	Материал сепаратора	Относительная диэлектрическая проницаемость сепаратора	Диаметр токоведущих жил, мм
Eurolan	5,0	0,83	Полиэтилен	2,3	0,57
Siemon	4,5	0,41	Полиэтилен	2,3	0,57

Таблица 2

Фирма-изготовитель	Частота, МГц	1	4	10	31,25	62,5	100	250	500
Eurolan	Z_b , Ом	98,3	95,5	94,4	93,6	93,3	93,2	92,9	92,8
$d_1/d_0 = 1,75$; $C = 42,95 \text{ нФ/км}$	α , дБ/100м (рассчитанное)	1,84	3,61	5,72	9,57	14,3	18,1	28,6	43,0
	α , дБ/100м (измеренное)	1,9	3,4	5,8	9,6	13,7	17,9	28,6	42,5
Siemon	Z_b , Ом	93,4	90,8	89,7	89,0	88,7	88,5	88,1	88,0
$d_1/d_0 = 1,74$; $C = 46,9 \text{ нФ/км}$	α , дБ/100м (рассчитанное)	1,92	3,80	6,02	10,0	15,0	19,1	30,1	45,9
	α , дБ/100м (измеренное)	2,0	3,8	6,1	10,4	14,6	19,0	31,5	46,2

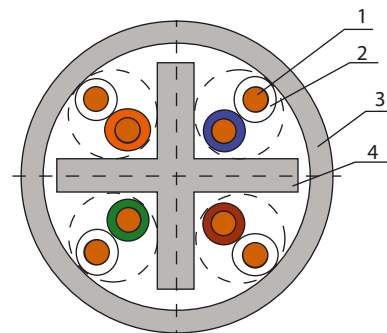
Расчет активного сопротивления не вызывает затруднений и может быть сделан по известной формуле [2] с использованием специальных функций $F(kr)$, $G(kr)$ и $H(kr)$, приведенных в [3].

Определенные затруднения вызывает вычисление емкости цепей в кабельном сердечнике, содержащем сепаратор. В самом общем виде емкость симметричной цепи может быть найдена по формуле [2]:

$$C = \chi \frac{\epsilon_{r_{\text{экв}}} 10^{-6}}{36 \ln \left(\frac{a\Psi}{r} \right)}, \text{ Ф/км}, \quad (2)$$

где $\epsilon_{r_{\text{экв}}}$ — эквивалентное значение относительной диэлектрической проницаемости комбинированного диэлектрика; a — расстояние между центрами токоведущих жил; Ψ — поправочный коэффициент, учитывающий воздействие соседних цепей в кабельном сердечнике.

Эквивалентное значение относительной диэлектрической проницаемости можно определить, если обратиться к рисунку. Кабельный сердечник поделен на четыре части.



1 — медные токоведущие жилы, 2 — изоляция жил, 3 — оболочка кабеля, 4 — сепаратор

Таблица 3

Параметры	Частота, МГц	1	4	10	31,25	100	250	500
$D_c = 5,0$ мм; $d_0 = 0,51$ мм; $\delta_{\text{отт}} = 0,43$ мм, $d_1/d_0 = 2,08$; $C = 39,2$ нФ/км	$Z_{\text{в}}$, Ом	114,2	111,4	110,3	109,4	109,0	108,7	108,3
	α , дБ/100м	1,74	3,29	5,18	9,13	16,3	25,8	36,5
$D_c = 4,5$ мм; $d_0 = 0,48$ мм; $\delta_{\text{отт}} = 0,41$ мм, $d_1/d_0 = 2,08$; $C = 40,5$ нФ/км	$Z_{\text{в}}$, Ом	112,8	109,9	108,7	107,8	107,3	107,1	106,9
	α , дБ/100м	1,82	3,54	5,57	9,78	17,5	27,6	38,9
Международный стандарт ISO/IEC 11801—2011—06	α , дБ/100м	2,1	3,8	6,0	10,8	19,9	33,0	45,3

Площадь, занимаемую полиэтиленом и воздухом в каждом секторе, можно вычислить по формуле:

$$s_{\text{сект.}} = (s_c - s_{\text{сеп}}) / 4, \quad (3)$$

где s_c — площадь сердечника; $s_{\text{сеп}}$ — площадь сепаратора. Тогда

$$s_{\text{сект.}} = \pi D_c^2 - 8\delta D_c + 4\delta^2 / 16; \quad (4)$$

$$s_{\text{пз}} = \pi(d_1^2 - d_0^2) / 2,$$

где δ — толщина сепаратора; $S_{\text{пз}}$ — площадь полиэтилена.

Площадь, занимаемая воздухом, будет равна разности площадей, занимаемых сектором и двумя изолированными токоведущими жилами. С учетом (3) и (4) окончательно получаем:

$$\epsilon_{\text{рвн}} = \frac{\epsilon_{\text{пз}} 8\pi(d_1^2 - d_0^2) + \epsilon_{\text{в}}(D_c^2 - 8d_1^2) - 4\delta(2D_c - \delta)}{8\pi(d_1^2 - d_0^2) + \pi(D_c^2 - 8d_1^2) - 4\delta(2D_c - \delta)}, \quad (5)$$

где $\epsilon_{\text{пз}}$ — относительная диэлектрическая проницаемость полиэтилена.

Для расчета коэффициента ψ в кабелях, содержащих сепаратор, предлагается учитывать не толщину изоляции токоведущих жил, а толщину сепаратора δ . Тогда, формула для расчета коэффициента ψ будет выглядеть как

$$\psi = \frac{(2d_1 + \delta)^2 - d_1^2}{(2d_1 + \delta)^2 + d_1^2}. \quad (6)$$

Емкости, рассчитанные по (2) с учетом формул (5) и (6), для рассматриваемых кабелей заметно отличаются друг от друга. Так, у кабеля Eurolan емкость составляет 42,8 нФ/км, а у кабеля Siemon — 47,8 нФ/км. Это, разумеется, приводит к различию по затуханию, что хорошо видно из данных, представленных в табл. 2.

Оптимизация по критерию минимального затухания.

Оценим насколько оптимальны геометрические размеры сепаратора у рассмотренных кабелей. Увеличение толщины сепаратора при неизменном диаметре кабельного сердечника приводит к уменьшению объема воздуха и, следовательно, к возрастанию эквивалентной диэлектрической проницаемости, емкости, а в конечном счете — затухания.

Но, с другой стороны, при увеличении толщины сепаратора уменьшается воздействие соседних пар, значение поправочного коэффициента ψ возрастает, а емкости и коэффициент затухания снижаются.

Оценим, при каком соотношении $\delta / D_c = x$ значение емкости, а следовательно и коэффициента затухания до-

стигают своего минимального значения. С учетом сделанного обозначения выражение для емкости будет выглядеть следующим образом:

$$C = \chi \frac{\epsilon_{\text{пз}} 8\pi(d_1^2 - d_0^2) + \pi(D_c^2 - 8d_1^2) - 4\delta(2D_c - \delta)}{8\pi(d_1^2 - d_0^2) + \pi(D_c^2 - 8d_1^2) - 4\delta(2D_c - \delta)} \times$$

$$\times \frac{10^{-6}}{36 \ln(2d_1 + D_c a^2 - d_1^2) / [(2d_1 + D_c x)^2 + d_1^2]}.$$

Вычисления, сделанные с помощью метода дихотомии, показали, что для кабеля Eurolan $x = 0,124$ и $\delta_{\text{отт}} = 0,62$ мм, а для кабеля Siemon $x = 0,107$ и $\delta_{\text{отт}} = 0,48$ мм. Нетрудно видеть, что реальные значения толщины сепаратора у рассматриваемых типов кабелей заметно отличаются от оптимальных.

Кроме того, коэффициент затухания в значительной мере зависит от соотношения d_1/d_0 . С учетом оптимизированных размеров сепаратора это соотношение должно быть равно 2,08.

В табл. 3 представлены значения волнового сопротивления и коэффициента затухания оптимизированных конструкций кабелей с номинальными значениями диаметров кабельного сердечника (5,0 и 4,5 мм), но с уменьшенным диаметром токоведущих жил (0,51 и 0,48 мм соответственно).

Как видно из результатов расчета, коэффициенты затухания не только не увеличились, а стали даже несколько меньше. Это вполне объяснимо, так как с уменьшением диаметра токоведущих жил снижаются потери, связанные с поверхностным эффектом и эффектом близости.

Вывод. В оптимизированных конструкциях кабелей СКС категории 6А за счет уменьшения диаметров токоведущих жил при неизменном диаметре кабельного сердечника можно заметно снизить расход меди. При замене диаметра 0,57 мм на диаметр 0,51 мм расход меди снижается на 20%, а при замене на диаметр 0,48 мм — на 29%. И в том и в другом случае параметры передачи (волновое сопротивление и коэффициент затухания) удовлетворяют международному стандарту ISO/IEC 11801-2011-06.

ЛИТЕРАТУРА

1. International standard ISO/IEC 11801—2011—06. Information technology-Generaic cabling for customer premisses.
2. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы электросвязи. Том 1. Теория передачи и влияния. — М.: Горячая линия-Телеком, 2009.
3. Брискер А.С., Руга А.Д., Шарле Д.Л. Городские телефонные кабели: Справочник. — М.: Радио и связь, 1991.

Получено 16.05.14