

METHODOLOGY FOR CALCULATION OF THE PARAMETERS OF SYMMETRICAL CABLES FOR THE COMMUNICATIONS.

Toshkov Angel, Burgas Free University, angel@bfu.bg

Abstract: This paper proposed a methodology to calculate the primary and secondary parameters of the symmetrical cable constructions for the communications for students, teaching disciplines related with physical media for data transport in communications.

Keywords: Communication cables, symmetrical, calculation, parameters, characteristic impedance, propagation constant, resistance, capacitance, inductance, conductance of the insulation.

МЕТОДИКА ЗА ПРЕСМЯТАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА СИМЕТРИЧНИ КАБЕЛИ

Ангел Тошков, Бургаски свободен университет, angel@bfu.bg

Абстракт: В тази статия е предложена една методика за пресмятане на първичните и вторичните параметри на симетрични кабелни конструкции за комуникациите предназначена за употреба от студенти в процеса на обучение.

Ключови думи: Комуникации, кабели, симетрични, изчисление, параметри, вълново съпротивление, константа на разпространение, съпротивление, капацитет, индуктивност, проводимост на изолацията.

ВЪВЕДЕНИЕ:

Разпространението на електромагнитната енергия по кабелната верига представлява единен процес, обхващащ проводниците и изолацията. Качеството на предаването по една съобщителна линия и нейните електрически свойства напълно се характеризират от **първичните електрически параметри на кабела.**

Това са :

R - активно съпротивление на проводниците - Ohm/km;

L - индуктивност - H/km;

C - капацитет между проводниците - F/km;

G - проводимост на изолацията - S/km.

Тези параметри са независими от количествените показатели на електромагнитната енергия предавана по линията. Те зависят само от конструкцията на кабела, характеристиките на използваните материали и честотата на предаваната електромагнитна енергия. Това е така, до толкова, доколкото количествените показатели на електромагнитната енергия предавана по линията са в граници, непроменящи структурата и параметрите на материалите или конструктивните параметри на изделието.

Вторичните параметри се използват за оценка на експлоатационно-техническите качества на линиите. Те са функция на първичните параметри и честотата. Онези, които са най-често използвани са:

Z_w - вълново съпротивление на линията Ωm ;

γ - константа на разпространение;

v - скорост на разпространение на електромагнитната енергия m/s.

Методологическа основа на решаването на една задача за проектиране и оптимизация се явява теорията на изследването на операциите. Следвайки концепцията на тази теория, може да се направи формално описание на връзките между параметрите на една система в математическа форма. В случая, това описание може да бъде използвано и в процеса на проектиране и оптимизация на съобщителни кабели.

Съпротивлението за кръгли проводници R_0 при постоянен ток, както е известно е функция на ρ и d_0 .

$$R_0 = f(\rho, d_0, \kappa_y, \alpha_{R_0}, t^o) \quad (1)$$

където:

α_{R_0} е табулиран температурен коефициент ≈ 0.004 ;

t^o - температура в градуси по Целзий .

При известни стойности на κ_y , ρ и R_0 диаметърът на кръгло монометалическо плътно жило се пресмята с достатъчна за практически изчисления точност по формулата:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4\kappa_y \rho}{\pi R_0}} \quad \text{където:} \quad (2)$$

ρ - специфичното съпротивление на материала - $\Omega \cdot mm^2/km$;

(ρ обикновено се дава в $\Omega \cdot mm^2/m$ за това тук се преизчислява за km.)

d_0 - диаметър на проводника - mm;

κ_y - обобщен коефициента на усукване на кабела 1,04 – 1,16;

R_0 - съпротивление на шлейфа (за кабелни вериги, това е съпротивлението на веригата, а не на единичния проводник) при постоянен ток - Ω/km ;

За температура, различна от табулираната (обикновено това е $20^\circ C$) активното съпротивление се преизчислява по формулата $R_0 = R_{20}(1 + \alpha(t - 20))$, където α е температурен коефициент на съпротивлението на материала, t е температурата, за която се преизчислява съпротивлението.

Пълното съпротивление R на веригата се изчислява по формулата :

$$R = R_0 + R_{ne} + R_{bl} + R_m - \Omega/km, \quad (3)$$

където:

R_{ne} - е допълнително съпротивление за сметка на повърхностния ефект;

R_{bl} - е допълнително съпротивление за сметка на ефекта на близост (загуби в други проводници);

R_m - допълнително съпротивление за сметка на други метални елементи в конструкцията на кабела.

При честота различна от нула (на практика > 5 kHz) е необходимо да се използва пълната формула за пресмятане на съпротивлението на шлейфа :

$$R = \kappa_y R_0 \left(1 + F(x) + \frac{pG(x) \left(\frac{d_0}{a} \right)^2}{1 - H(x) \left(\frac{d_0}{a} \right)^2} \right) + R_M \text{ } \Omega/\text{km} \quad (4)$$

R_M - се пресмята много трудно, поради това, че зависи много силно от конструкцията и параметрите на кабела. Необходим е точен математически модел. Отчитането на това съпротивление става при честоти над 30 KHz и може да се пресметне по приблизителната формула:

$$R_M = \rho \sqrt{f} \text{ } \Omega/\text{km}. \quad (5)$$

Формулата дава резултат с достатъчно добра за практиката точност за дължина един километър за кабели в повивна и снопова конструкция.

ρ - се използва без преизчисляване, както е даден за съответния материал на проводниците - в [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$].

f - е работната честота –в [Hz], а резултатът за R_M е директно в Ω/km .

Индуктивността на веригата се пресмята посредством израза:

$$L = k_y \left(4 \ln \frac{2a - d_0}{d_0} + Q(x) \right) 10^{-4} \text{ } \text{H}/\text{km} \quad (6)$$

$$x = \frac{d_0}{2} k = \frac{d_0}{2} \sqrt{\omega \mu \sigma} = \frac{d_0}{\theta \sqrt{2}} \quad (7)$$

където: d_0 - диаметър на проводника [mm].

$$\theta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \text{ } \text{където:} \quad (8)$$

k [1/m] - коефициент на вихрови токове ;

θ [m] - дълбочина на проникване на вихровите токове ;

$\omega = 2\pi f$ [rad .s⁻¹]- кръгова честота ;

f [KHz] - работна честота;

$\sigma = 1/\rho$ [S.m/mm²] - проводимост на материала за проводниците;

$\mu_r = \mu/\mu_0$ - относителна магнитна проницаемост;

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ [H/m] - магнитна проницаемост на вакуума ;

μ [H/m] - магнитна проницаемост на материала на проводника;

a [mm] – разстояние между центъра на проводниците на веригата;

r [mm] - радиус на проводника;

p - коефициент отчитащ типа усукване–за двойки 1, за четворки–5.

$F(x)$, $G(x)$, $H(x)$ и $Q(x)$ са коефициенти, представляващи специално изчислени значения на беселови функции и техните отношения, като функция на променливата x , където :

$F(x)$ - е коефициент, отчитащ увеличението на съпротивлението за сметка на повърхностния ефект в проводниците на веригата.

$G(x)$ - е коефициент, отчитащ съпротивлението, еквивалентно на загубите от вихрови токове предизвикани от външни магнитни полета в обратния проводник на веригата

$H(x)$ - е коефициент, отчитащ съпротивлението в правия проводник, еквивалентно на загубите от вихровите токове, възбудени от електромагнитното поле създадено от вихровите токове в обратния проводник.

$Q(x)$ - е коефициент, отчитащ честотната зависимост на външната индуктивност. Стойностите на тези коефициенти са пресметнати за най-често срещаните стойности на променливата x от 0 до 50, а извън този обхват са изведени приблизителни формули за пресмятане, широко разпространени в специализираната литература.

Таблица за стойностите на $F(x)$, $G(x)$, $H(x)$, $Q(x)$ за стойности на x от 0 до 10

x	$F(x)$	$G(x)$	$H(x)$	$Q(x)$
0	0,0002	$(x^4)/64$	0,0417	1,0000
0,5	0,0003	0,0010	0,0420	0,9998
1	0,0052	0,0152	0,0530	997,0000
1,5	0,0258	0,0591	0,0920	0,9870
2	0,0782	0,1724	0,1690	0,9610
2,5	0,1756	0,2950	0,2630	0,9130
3	0,3180	0,4050	0,3480	0,8450
3,5	0,4920	0,4990	0,4160	0,7660
4	0,6780	0,5840	0,4660	0,6860
4,5	0,8620	0,6690	0,5030	0,6180
5	1,0420	0,7550	0,5300	0,5560
5,5	1,1750	0,8375	0,5478	0,5091
6	1,3500	0,9250	0,5655	0,4667
6,5	1,5250	1,0125	0,5803	0,4308
7	1,7000	1,1000	0,5929	0,4000
7,5	1,8750	1,1875	0,6038	0,3733
8	2,0500	1,2750	0,6132	0,3500
8,5	2,2250	1,3625	0,6215	0,3294
9	2,4000	1,4500	0,6289	0,3111
9,5	2,5750	1,5375	0,6355	0,2947
10	2,7500	1,6250	0,6413	0,2800

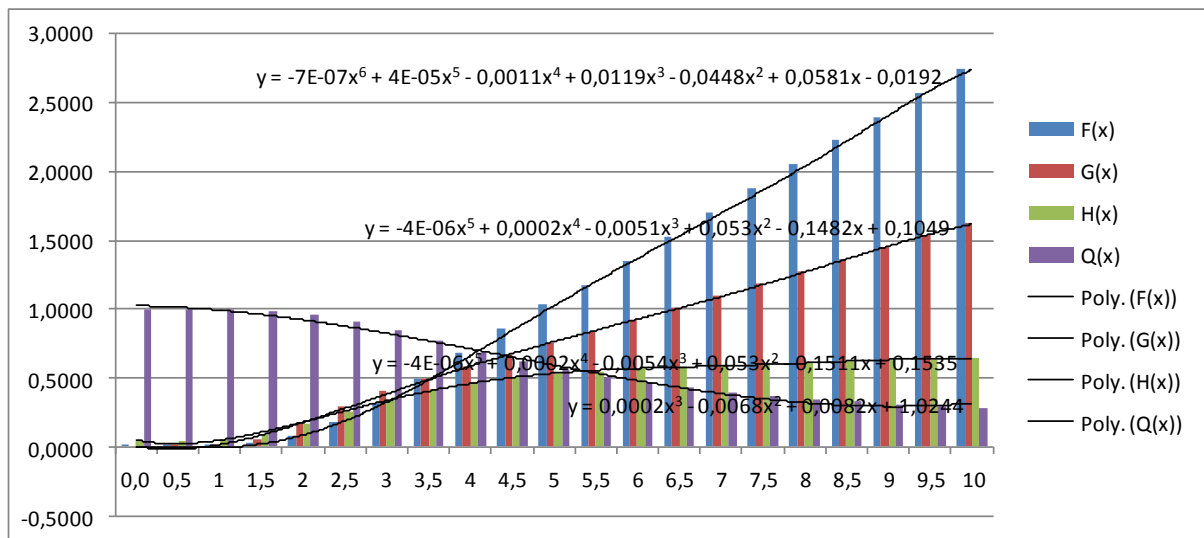
За изчисление на $F(x)$, $G(x)$, $H(x)$, $Q(x)$ в най-често използвания за x диапазон от 0-10 могат да бъдат използвани следните приблизителни формули:

$$F(x) = -0,0000007x^6 + 0,00004x^5 - 0,0011x^4 + 0,0119x^3 - 0,0448x^2 + 0,0581x - 0,0192 \quad (9)$$

$$G(x) = -0,000004x^5 + 0,0002x^4 - 0,0051x^3 + 0,0532x^2 - 0,1488x + 0,1058 \quad (10)$$

$$H(x) = -0,000004x^5 + 0,0002x^4 - 0,0054x^3 + 0,053x^2 - 0,1511x + 0,1535 \quad (11)$$

$$Q(x) = 0,0002x^3 - 0,0068x^2 + 0,0082x + 1,0244 \quad (12)$$



Фиг. Графични стойности на функциите $F(x)$, $G(x)$, $H(x)$, $Q(x)$ за x до 10

В диапазона за x над 10 се използват следните приблизителните формули:

$$F(x) = \frac{1,41x - 3}{4} \quad (13)$$

$$G(x) = \frac{1,41x - 1}{8} \quad (14)$$

$$H(x) = 0,25 \left(\frac{4,24x - 5}{1,41x - 1} - \frac{2,82}{x} \right) \quad (15)$$

$$Q(x) = \frac{2,82}{x} \quad (16)$$

Таблица със стойности за ρ , σ , x , k и θ за някои най-използвани метали.

	ρ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	σ (S.m / mm^2)	$x = kd_0/2$ (d_0 в mm)	k	θ
Сребро	0,01610	62,11	$11,05 \cdot d_0 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$22,1 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$64,1/\sqrt{f}$
Мед	0,01724	58,00	$10,60 \cdot d_0 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$21,2 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$66,7/\sqrt{f}$
Алуминий	0,02826	35,38	$8,20 \cdot d_0 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$16,4 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$86,4/\sqrt{f}$
Стомана	0,13900	7,23	$37,80 \cdot d_0 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$75,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$18,8/\sqrt{f}$
Олово	0,22100	4,52	$2,98 \cdot d_0 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$5,97 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$	$23,7/\sqrt{f}$

Таблица - Средностатистически коефициент на усукване - κ_y , валидни за повечето кабелни симетрични конструкции.

Вид на групата	повивна	снопова	група
Усукване на елементарна група	1,0025	1,0025	1 x 4
Усукване сноп/повив от елементарни групи	1,01	1,0025	5 x 4
Усукване в сноп от елементарни снопове	-	1,01	5 x 5 x 4
Усукване на сноп от съставни снопове	-	1,01	n x 25 x 4
Общ среден коефициент κ_y	1,0125	1,025	

Таблица - Стойности за μ_r на различни материали

Диаманетици	μ_r		μ_r
Злато	0,9999	Живак	0,99997
Сребро	1	Олово	0,999983
Мед	1	Вода	0,999991
Немагнитна среда	μ_r		μ_r
Вакуум	1		
Парамагнетици	μ_r		μ_r
Въздух	1,0000004	Алуминий	1
Паладий	1,0008	Волфрам	1,00008
Титан	1,0002	Платина	1,0003
Феромагнетици	μ_r		μ_r
Никел	600	Силициева стомана	3500
99,8 % чисто желязо	5000	μ -метал (75% Ni, 5% Cu, 2% Cr)	100 000
99,96 % чисто желязо	280 000	Супермалой (79% Ni, 5% Mo)	1 000 000

Пресмятане на капацитет и проводимост на изолацията

Една от най-използваните в практиката формули предложена от Люшен е следната:

$$C = \frac{k_y \epsilon_{rek} 10^{-6}}{36 \ln \frac{\alpha d_{zp}}{d_0}} \quad \text{F/km} \quad \text{където:} \quad (17)$$

d_{zp} е диаметър на групата в *mm* без преизчисляване;

α - коефициент на смачкване, зависещ от вида на усукване на елементарната група (0,94 за двойки, 0,75 за звездни четворки, 0,65 за ДМ-четворки);

κ_y – обобщен коефициент на усукване за кабела;

d_0 - е диаметър на проводника в *mm*.

Таблица за стойностите на ϵ_r за някои най-използвани материали

Вещество	ϵ_r	Вещество	ϵ_r
Вакуум	1,0	Въздух	1,00059
Полипропилен (PP) (90 °C)	2,1	Полиетилен (PE) (90 °C)	2,4
Хартия	1–4	Политетрафлуоретилен	2

За намирането на стойността на $\epsilon_{гек}$ има множество приближени формули

$$\epsilon_{ек} = \frac{\sum_{i=1}^m \epsilon_i S_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \text{ F/km} \quad (18)$$

$$\text{tg}\delta_{ек} = \frac{\sum_{i=1}^m \epsilon_i S_i \text{tg} \delta_i}{\sum_{i=1}^m \epsilon_i S_i} \quad (19)$$

S_i - сечение на кабела, падащо се на този диелектрик

ϵ_i - диелектрична проницаемост на съответния диелектрик,

Проводимост на изолацията G

Проводимостта на изолацията може да бъде изчислена на базата коефициента на диелектричните загуби $\text{tg}\delta$, който може да бъде измерен с достатъчна за практиката точност за различни материали при необходимата честота,

В един неидеален кондензатор, какъвто е електрическият кабел, токът, който протича през изолацията има комплексен характер, Той може да се разгледа като съставен от две части $I_a=UG$ – токът, чиято фаза съвпада с фазата на напрежението и се дължи на реалната проводимостта на изолацията и $I_c=j\omega CU$ – реактивната съставка, чиято фаза изпреварва фазата на напрежението с 90 градуса и се дължи на капацитета на този кондензатор,

$$I = \sqrt{I_a^2 + jI_c^2} e^{j\varphi} \quad (20)$$

Ъгълът на диелектричните загуби(δ) – представлява ъгълът, допълващ до 90° фазовия ъгъл φ между тока и напрежението.

$$\varphi = 90-\delta = \arctg \frac{I_c}{I_a} \quad \text{или} \quad \delta = \arctg \frac{I_a}{I_c}$$

Коефициентът на диелектричните загуби се дефинира като отношението на I_a/I_c ,

$$\text{tg}\delta = I_a/I_c = UG/ \omega CU = G/\omega C \quad (21)$$

или

$$G = \omega C \text{tg}\delta \quad \text{S/km}, \quad (22)$$

За постоянен ток $G=1/R_{из}$, където $R_{из}$ е съпротивлението на изолацията(обикновено над $2G\Omega/\text{km}$).

Таблица с примерни стойности на ϵ_{rec} и $tg\delta_{ек}$ за по употребяваните материали за изолации.

Тип на изолацията	ϵ_{rec}	$tg\delta_{ек}, 10^{-4}$ при честота f [Hz]							
		$f=10^4$	$f=10^5$	$f=2,5 \cdot 10^5$	$f=5 \cdot 10^5$	$f=10^6$	$f=10^7$	$f=10^8$	$f=10^9$
Корделно-хартиена	1,35	55	113	160	280	500	1327	4000	12060
Корделно-стирофлрксна	1,25	3	7	12	20	38	117	418	1488
Полиетиленова	2	2	6	8	14	25	84	296	1046
Полиетиленова-пореста	1,5	3	8	12	20	38	123	437	1556
Балонно-полиетиленова	1,25	2	6	8	14	20	84	296	1046

Вълново съпротивление:

$$Z_B = \sqrt{\frac{(R + j\omega L)}{(G + j\omega C)}} \text{ [}\Omega\text{]} \quad (23)$$

Загубите във веригите за предаване се отчитат от **Коефициентна разпространение - γ** , които се явява комплексна величина и може да бъде представен като сума от реалната и имагинерна част:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}; \quad (24)$$

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (25)$$

α - Nep/km

β - Rad/km

Таблица - Изчислителни формули за диаметъра на група при различни типове усукване.

n_2 - брой на двойките n_4 - брой на четворките	Полиетиленова и стирофлексна изолация	Корделно-хартиена изолация
Повивна конструкция		
Двойки	$D_c = 1,8d_1 \sqrt{n_2}$	$D_c = 1,7d_1 \sqrt{n_2}$
Четворки	$D_c = 2,6d_1 \sqrt{n_4}$	$D_c = 2,4d_1 \sqrt{n_4}$
Снопва конструкция		
Двойки	$D_c = 1,85d_1 \sqrt{n_2}$	$D_c = 1,7d_1 \sqrt{n_2}$
Четворки	$D_c = 2,65d_1 \sqrt{n_4}$	$D_c = 2,5d_1 \sqrt{n_4}$

d_1 - диаметър на проводника с изолацията - [mm];

n_2 и n_4 – брой двойки или четворки съответно.

Таблица: Приблизителни формули за пресмятане на вторичните параметри при различни честоти

Съотношение $R/\omega L$	α [Np/km]	β [Rad/km]	Z_B [Ω]	f - Честота
$\omega C = 0; \omega L = 0$	\sqrt{RG}	0	$\sqrt{\frac{R}{G}}$	$f = 0$ Hz
$\frac{R}{\omega L} > 5$	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}}$	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}}$	$\sqrt{\frac{R}{\omega C}} e^{-j45}$	$f = 800$ Hz
$\frac{R}{\omega L} > 50$	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}} (R - \omega L)$	$\sqrt{\frac{\omega RC}{2}}$	$\sqrt{\frac{R}{\omega C}} e^{-j45}$	
$\frac{\omega L}{R} > 3.5$	$\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$	$\omega \sqrt{LC}$	$\sqrt{\frac{L}{C}}$	$f > 20$ kHz
$0.3 < \frac{\omega L}{R} < 5$	$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$		$\sqrt{\frac{(R + j\omega L)}{(G + j\omega C)}}$	$f > 20$ MHz

РЕЗУЛТАТИ

Тази методика лесно може да бъде използвана за автоматизиране на проектирането посредством създаване на елементарен програмен код за извършване на изчисленията. За целта може да бъде използван дори Excel, от офис пакета на Microsoft, който е подходящ и за лесна графична визуализация на резултатите.

За пример ще бъдат показани два базови модела на конвенционални комуникационни кабели за които са снети представителни данни за тези параметри. Първият популярен тип е за 24 Gauge PIC телефонен кабел при 21 ° C (70 ° F). Данните за сравнение могат да бъдат взети от http://en.wikipedia.org/wiki/Skin_effect или [http://en.wikipedia.org/wiki/Telegrapher's equations](http://en.wikipedia.org/wiki/Telegrapher's_equations). При този кабел размерът 24 Gauge по американски стандарт отговаря на диаметър на проводника около 0,511 mm. Резултатите от измерванията на първичните параметри на един такъв кабел дават следните резултати:

Таблица 1. Измерени и изчислени параметри за 24 Gauge PIC телефонен кабел.

Честота Hz	R (Ω /km)		L (mH/km)		G (μ S/km)		C (nF/km)	
	Измерен а	Изчислен а	Измерен а	Изчислен а	Измерен а	Изчислен а	Измерен а	Изчислен а
1	172,24	184,65	0,61	0,55	0,00	0,00	51,57	51,19
1k	172,28	185,18	0,61	0,55	0,07	0,03	51,57	51,19
10k	172,70	186,47	0,61	0,55	0,53	0,32	51,57	51,19
100k	191,63	198,09	0,58	0,55	3,33	3,22	51,57	51,19
1M	463,59	457,80	0,51	0,50	29,11	32,16	51,57	51,19
2M	643,14	632,22	0,49	0,48	53,21	64,32	51,57	51,19
5M	999,41	978,43	0,47	0,47	118,07	160,80	51,57	51,19

Таблица 2. Основни входни и изходни параметри за 24 Gauge PIC телефонен кабел изчислени за 100000 Hz работна честота.

Усукване 1-сноп/2-повив	2	$R_o (R_{шл})$	87,9218	Ω/km
Група	4	$R (R_{шл})$	198	$[\Omega/\text{km}]$
d_o	0,51	L	0,55	$[\text{mH}/\text{km}]$
$d_{из}$	0,26	C	51,19	$[\text{nF}/\text{km}]$
$d_{гр}$	1,4495	G	3,22	$[\mu\text{S}/\text{km}]$
$\epsilon_{гек}$	1,8500	$ Z_w $	111	$[\Omega]$
$\text{tg}\delta_{ек}$	1,0000	φ_z	-14,95	$[\text{Deg}]$
κ_y	1,0500	α	8,01	$[\text{dB}/\text{km}]$
α	0,7500	β	3,45	$[\text{Rad}/\text{km}]$
f	100000	ν	181823	$[\text{km}/\text{s}]$
ω	628300	x	1,72	
ρ	0,01724	$F(x)$	0	
a	1,02800	$G(x)$	0,175340483	
θ	0,21092	$H(x)$	-0,01292	
k	6,70	$Q(x)$	1,0000	

Подобни резултати се получават и могат да бъдат приведени и за други типове конвенционални симетрични кабелни конструкции за комуникациите произведени от различни производители и по различни стандарти .

ИЗВОДИ

Основните изводи, които могат да бъдат направени от получените резултати по тази методика са няколко.

1. За правилното изчисление на първичните и вторичните електрически параметри на конвенционални симетрични кабелни конструкции е важно да се знаят параметрите на входящите материали. Диелектрична проницаемост, магнитна проницаемост, специфично съпротивление и др.
2. Необходимо е да се познава честотната зависимост на някои честотно-зависими параметри. Например, от изключителна важност е да бъде предварително известна честотната зависимост на коефициента на диелектричните загуби $\text{tg}\delta$ от честотата. Едно от достоинства на съвременните материали за изолиране на проводниците в комуникационните кабели е ниската стойност и слабата зависимост на този параметър от честотата.
3. Важно е да се отчете, че при изчисленията трябва правилно да се пресмятат еквивалентните стойности на някои от параметрите на материалите $\text{tg}\delta_{ек}$, $\epsilon_{ек}$ и др.
4. При сравнението на изчислените и измерените параметри на определени кабелни конструкции произведени от различни производители могат да се получат разлики при някои от параметрите. В този случай е необходимо да се анализират параметрите на материалите и конструкцията на изделието. В някои случаи се налага да се извършат корекции на някои от коефициентите отчитащи усукването, коефициента на смачкване, наличието на екран, метална броня или

други коефициенти. Тези корекции трябва да отчетат характеристиките на технологичния процес, инструменталната екипировка и технологичните режими при които различни производители произвеждат своите изделия.

5. Показанията в статията модел може да бъде прилаган успешно при обучението на студенти и ученици, както и за получаването на ориентировъчни резултати при професионални изчисления. За прецизни професионални изчисления се налага да се използва значително по-сложен математически модел на кабелните изделия.
6. Възлагането на самостоятелни задачи за изпълнение на студентите при проектиране на различни кабелни конструкции и последващо сравнение и анализ на получените резултати с тези на реално произведени образци обогатява техните познания.
7. Методиката дава пълна информация за създаване на елементарен програмен алгоритъм. Използването на графични зависимости при сравняването на получените резултати позволява лесно визуално възприемане на тенденциите и зависимостите на изходните (първичните и вторичните параметри) от входните (конструктивни, технологични и параметри на материалите).

REFERENCES

- [1] Македонски Димитър В., Тошков Ангел З.; Измерване в електрониката и електротехниката, учебник, Бургас, Бургаски свободен университет, 2004г., 255 стр., ISBN-957-9370-09-7, Печат „Форос солна офсет”.
- [2] Тошков Ангел З., М. Чобанова, Системният подход при провеждане на анализи на развитието на кабелното производство, НТК с международно участие "ЕЛИЗОТ - КАБЕЛ' 88", Дружба -Варна, 1988
- [3] Христов. Р. Т, Ангел З. Тошков, Относно описването на кабелните изделия посредством последователност от технологични операции, НТК с международно участие "ЕЛИЗОТ - КАБЕЛ' 88", Дружба -Варна, 1988
- [4] Христов Р. Т., Ангел З. Тошков, Автоматизирано създаване и поддържане на нормативно-справочната база на система за управление на многономенклатурно производство, Четвърта национална младежка школа с международно участие. Системи за автоматизация на инженерния труд и научните изследвания, Албена,01-06 октомври, 1990
- [5] И. Ефимов, Р. Лакерник, М. Климов, Д. Шарле, Конструктивне и електрическите характеристики кабелей связи, Связиздат, Москва, 1959,
- [6] И. И. Гроднев, Кабелей связи, Энергия, Москва, 1976, Г 30308-474-284-76