

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университеті

Ж.Н. Ниеталин, Ж.Ж. Ниеталина

БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ

«Радиотехника, электроника және телекоммуникация»
мамандығына арналған оқу құралы

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2012

ЖОК 621.39(075.8)

Н 55

- Н 55** Ниеталин Ж.Н., Ниеталина Ж.Ж. Байланыс жолдарының параметрлері: Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2012. – 131 б.
Сурет 64. Кесте 10. Библиогр. – 40 атау.
ISBN 978–601–228–359–4

Оқу құралында байланыс жүйесіндегі электрбайланысының бағыттаушы жолдарының сигнал тарату параметрлері мен өзара әсер параметрлерін есептеу арқылы анықтау және байланыс тізбектеріндегі бөгеуліктен қорғану шаралары қарастырылған. Сонымен қатар, байланыс жолымен берілетін сигнал сапасын бағалау мақсатында жобалаудың техникалық тапсырмалары берілген, байланыс жолын салу жобасы қарастырылған.

Оқу құралы «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы дайындайтын бакалавриат пен магистр мамандарына арналған.

ЖОК 621.39(075.8)

Пікір жазғандар:

Майлыбаева Л.И., техн. ғыл. канд., доцент, «Ғарыштық техника және технологиялар» институты еншілес ЖШС
Ғылыми хатшысы;

Бахтиярова Е.А., техн. ғыл. канд., доцент, М. Тынышбаев атындағы ҚазККА;

Шайхин А.К., физ.-мат. ғыл. канд., доцент, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2012 жылғы жоспары бойынша басылды.

ISBN 978–601–228–359–4

© Ниеталин Ж.Н.,
Ниеталина Ж.Ж., 2012
© ҚазҰТУ, 2012

КІРІСПЕ

Электр байланысының бағыттаушы жүйесінің жұмыс сапасын анықтайтын көрсеткіштер осы байланыс жолдарының параметрлері болады. Сондықтан осы оқу құралында, қазіргі уақытта елімізде қолданылатын әуе байланыс жолдары, симметриялық кабельді байланыс жолы және оптикалық байланыс жолдарының сигнал таратып жеткізу мен өзара әрекеттестік параметрлері қарастырылған. Сонымен қатар, сол параметрлердің бағыттау жүйесі жолдарының геометриялық шамаларына және берілетін сигналдық жиіліктік ауқымына байланысты есептелу әдістері қарастырылды.

Бағыттаушы байланыс жолдарының сигнал таратып беру параметрлері біріншілік және екіншілік болып қаралады. Біріншілік параметрлер байланыс жолдарының материалдарымен орналасу жағдайына және олармен берілетін сигналдық жиілік ауқымына байланысты есептеледі. Екіншілік параметрлер біріншілік параметрлер арқылы есептеледі.

Байланыс тізбектерінің арасындағы өзара әсерлерде біріншілік және екіншілік параметрлер тізбектер арасындағы электромагниттік толқындардан туындайтын бөгеулік токтардың шамасын көрсетсе, екіншілік параметрлері тізбектердің өзара әсерден қорғанулық шамасын анықтайды.

Оқу құралында өзара әсер параметрлерін есептеу және олардан қорғану әдістері қысқаша берілген. Берілген бағытта оптикалы-талшықтық байланыс магистралын салу жобасын жасау, ондағы сигнал беру жүйесін таңдау, оптикалық кабельді таңдау, олардың параметрлерін есептеу әдістері берілген. Сонымен қатар, магистраль бойындағы бекеттерге арналған байланыс тізбектерін ұйымдастыру қарастырылған.

Осы оқу құралында қаралған мәселелермен тереңірек танысқысы келетіндерге әдебиеттер тізімі келтірілген.

Оқу құралы «Радиотехника, электроника және телекоммуникация» мамандығы бойынша дайындалатын мамандарына арналған.

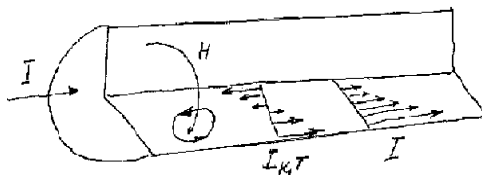
1. БАҒЫТТАУШЫ БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫНЫҢ СИГНАЛ ТАРАТУ ПАРАМЕТРЛЕРІ

1.1. Симметриялы кабель тізбектерінің біріншілік параметрлері

Іс жүзінде кездесетін симметриялы кабель тізбектерінде әр уақытта энергия шығыны болады. Олар кабельдегі басқа сымдармен кабельдің металл қабығын жылытуға бөлінетін энергия шығыны, индуктивтіктің сымның ішіндегі магниттік өріс әсерінен өзгеруі, тізбек кедергісі мен сиымдылығының басқа тізбектердің жақындығының әсерінен өзгеруі, т.б. [9, 14, 24, 25].

Айнымалы электромагнит өрісінің әсерінен сымдардың көлденең қимасындағы электр энергиясының тығыздығы әр түрлі болып өзгереді.

Мысалы, сымның ішіндегі магнит өрісінің (H) әсерінен онда құйынды ток (I_{qm}) пайда болып, ол сымның ішкі жағындағы тоқты азайтып сыртқы жағындағы тоқты көбейтеді (1.1-сурет).

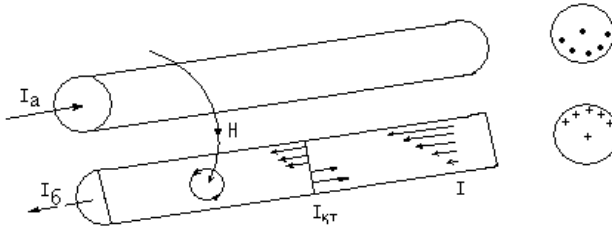


1.1-сурет

Сыммен өтетін токтың жиілігі өскен сайын құйынды ток өсіп, сыммен жүретін ток сымның сырт жағымен ғана өтетін болады. Сондықтан, сымның көлденең қимасы түгел пайдаланылмай, ол сымның кедергісінің өсуіне себеп болады. Оны кедергінің сыртқы тебу әсерінен көбеюі деп атайды.

Екі сымның бірін қоршайтын магнит өрісінің күш сызығы екінші сымды қиып өткенде, екінші сымда құйынды ток пайда болып, сыртқы (қашық) жағындағы тогын азайтады. Соның

салдарынан сымның көлденең қимасы түгел пайдаланылмай, сымның ток жүретін көлденең қимасын азайтып, оның кедергісін көбейтеді.



1.2-сурет

Сыммен жүретін токтың жиілігі өскен сайын тізбек кедергісінің жақындық әсерінен өсуі күшейе түседі.

Ток жүретін сымның сыртындағы магнит өрісінің күш сызықтары сол тізбек маңайындағы басқа сымдармен және тізбек сыртындағы кабельдің металды қабықтарымен қиылысқан жерінде де құйынды ток пайда болып, сол жерде жылу бөледі.

Осы құйынды токтың тізбек маңайындағы басқа сымдармен кабельдің металды қабығын жылытуы негізгі тізбекпен таратылған энергия шығыны болып саналып, ол тізбек кедергісін өсірген болып есептеледі.

Сонымен айналымы ток өтетін тізбек кедергісі

$$R = R_0 + R_{ct} + R_{ж.т} + R_{км}, \quad (1.1)$$

мұнда R_0 – тізбектің тұрақты тоқтағы кедергісі; $R_{с.т.}$ – сыртқа тебу әсері; $R_{ж.т.}$ – жақындық әсері; $R_{км}$ – көрші сымдармен металды қабық әсері.

Цилиндр сымды тізбекте жұтылатын энергия Пойтинг векторымен жазылады:

$$P_r = \int_0^{2\pi} E_z H_\varphi r d\varphi, \quad (1.2)$$

ішкі толық кедергі $\Pi = I^2 z$ болғандықтан

$$z = R + i\omega L_i = \frac{1}{I^2} \int_0^{2\pi} E_r H_\varphi r d\varphi, \quad (1.3)$$

мұнда, R – тізбектің актив кедергісі; L_i – ішкі индуктивтік; E_r пен H -ді табу үшін дифференциалды түрде жағылған Максвелл теңдеуін шешу керек.

$$\frac{\partial^2 E_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E_r}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 E_r}{\partial \varphi^2} = \begin{cases} K_m^2 E_r - \text{металда} \\ K_g^2 E_r - \text{диэлектрикте} \end{cases} \quad (1.4)$$

мұнда $K_m = \sqrt{i\omega\mu\sigma}$ – металдағы шығын коэффициенті; $K_g = i\omega\sqrt{\mu\varepsilon}$ – диэлектриктегі шығын коэффициенті.

Осы теңдеуді және соған сәйкес

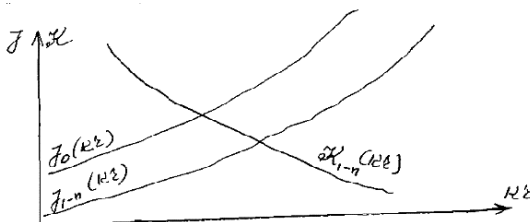
$$H_\varphi = \frac{1}{i\omega\mu} \cdot \frac{\partial E_r}{\partial r}, \quad (1.5)$$

теңдеуді шешкенде металдағысы

$$E_r = [A_n J_n(kr) + B_n K_n(kr)] (C_n \cos n\varphi + D_n \sin n\varphi), \quad (1.6)$$

мұнда J_n , K_n бірінші және екінші түрдегі n – ретті Бесселдің цилиндрлік функциясы; A_n , B_n , C_n , D_n – интегралдау тұрақтысы; k – металдағы шығын коэффициенті.

Бессел функцияларының kr -ге байланысты өзгеруі 1.3-суретте келтірілген



1.3-сурет

kr -дің өсуіне байланысты сымның ішіндегі өрістің өсіп, K_n -нің азаюына байланысты $B=0$ болуы керек. φ -дің есептелінетін

(горизонталь) көлденең осіне сымдардың симметриялы орналасуына байланысты, $\sin n\varphi$ -дің тақ функциясы болмайды. Сондықтан $D_n=0$. Сонымен металл үшін

$$E_r = \sum_{n=0}^{\infty} A_n J_n(\sqrt{ikr}) \cos n\varphi \quad (1.7)$$

сонда

$$H_\varphi = \frac{\sqrt{ikr}}{i\omega\mu} \sum A_n J_n(\sqrt{ikr}) \cos n\varphi. \quad (1.8)$$

A_n -ді табу үшін дифференциалдық теңдеуді сымды қаптайтын диэлектрик үшін жазады

$$\frac{\partial^2 E_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E_r}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 E_r}{\partial \varphi^2} = 0. \quad (1.9)$$

Бұл теңдеуді шешкенде

$$E_r = B_0 \ln r + C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (B_n r^n + C_n r^{-n}) \cos n\varphi, \quad (1.10)$$

$$E_r = \frac{B_0}{i\omega\mu r} + \frac{1}{i\omega\mu} + \sum_{n=1}^{\infty} n (B_n^{n-1} + C_n r^{-n-1}) \cos n\varphi. \quad (1.11)$$

E_r пен H_φ мәндерін (4.11) теңдеуіне қойып шешкенде тізбектің кедергісімен индуктивтігін табады

$$R = 2R_0 \chi \left[1 + F(kr) + \frac{PG(kr) \left(\frac{d}{a} \right)^2}{1 - H(kr) \left(\frac{d}{a} \right)^2} \right], \quad (1.12)$$

$$L_g = Q(kr) \cdot 10^{-4}. \quad (1.13)$$

мұнда $d=2r$ – сымның диаметрі, мм; a – тізбектегі екі сымның арасы, мм, $\chi=(1,02 \div 1,07)$ сымдардың есілу коэффициенті. $P=I$ жұптық есілуде, $P=5$ төрттік (жұлдызша) есілуде, $F(kr)$, $G(kr)$, $H(kr)$, $Q(kr)$ – kr -ге байланысты кестелік функциялар 1.1-кестеде келтірілген [14].

Тізбектің индуктивтігі сымдардың іштеріндегі индуктивтіктер мен екі сым арасындағы индуктивтіктің қосындысынан тұрады

$$L = 2L_e + L_c. \quad (1.14)$$

Сым ішіндегі индуктивтік (1.13) теңдігімен есептеледі. Екі сым арасындағы (сыртқы) индуктивтік сыртқы магнит ағынымен (Φ) токтың (I) қатынасымен есептеледі. Сонда екі сымдық тізбекте

$$\Phi = \int_r^{a-r} 2\mu \frac{I}{2\pi r} \ell dr, \quad L_c = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu}{\pi} \ell n \frac{a-r}{r}.$$

$\mu = \mu_0 \mu_r = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \mu_r$ сонда 1 км қашықтықта

$$L_c = 4\ell n \frac{a-r}{r} 10^{-4}, \quad (1.15)$$

тізбектің индуктивтігі

$$L = \left[4\ell n \frac{a-r}{r} + \mu Q(kr) \right] \cdot 10^{-4}. \quad (1.16)$$

1.1-кесте

Параметрлер сипаттамалары

kr	$F(kr)$	$G(kr)$	$H(kr)$	$Q(kr)$
0	0	$(kr)^4/64$	0,0417	1
0,5	0,000326	0,000975	0,042	0,9998
1,0	0,00519	0,01519	0,053	0,997
1,5	0,0258	0,0691	0,092	0,987
2,0	0,0782	0,1724	0,169	0,961
2,5	0,1756	0,295	0,263	0,913
3,0	0,318	0,405	0,348	0,945
3,5	0,492	0,499	0,416	0,766
4,0	0,678	0,584	0,466	0,686
4,5	0,862	0,669	0,503	0,616
5,0	1,042	0,755	0,530	0,556
7,0	1,743	1,109	0,596	0,400
10,0	2,799	1,641	0,643	0,286

Симметриялы байланыс тізбегінің электр сыйымдылығы электрлік санының (Q) екі сым арасындағы кернеуіне (U) қатынасына тең

$$C = \frac{Q}{U}. \quad (1.17)$$

“ a ” сымының r қашықтығындағы A нүктесіндегі электр өрісінің кернеулігі

$$E^a = \frac{Q}{2\pi r \varepsilon},$$

“ b ” сымының электр өрісінің кернеулігі

$$E^b = \frac{Q}{2\pi (a-r) \varepsilon}.$$

Қорытынды кернеулік

$$E = E^a + E^b = \frac{Q}{2\pi \varepsilon} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{a-r} \right).$$

Екі сым арасындағы кернеу

$$U = \int_r^{a-r} E dr = \frac{Q}{2\pi \varepsilon} \left[\int_r^{a-r} \frac{1}{r} dr + \int_r^{a-r} \frac{1}{a-r} dr \right].$$

Одан

$$U = \frac{Q}{2} \ln \frac{a-r}{r}, \quad (1.18)$$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\pi \varepsilon}{\ln \frac{a-r}{r}},$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r = \frac{1}{36\pi} \varepsilon_r \cdot 10^{-9}.$$

Сонда

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{a-r}{r}}. \quad (1.19)$$

Кабель ішінде орналасқан симметриялы тізбектің 1 км ұзындығындағы электрлік сыйымдылық.

$$C = \frac{\chi \cdot \varepsilon_r \cdot 10^{-6}}{36 \ln \left(\frac{a}{r} \psi \right)}, \quad (1.20)$$

мұнда χ – сымдардың есілу коэффициенті ($1,02 \div 1,07$); ε_r – материалға байланысты диэлектрлік өтімділік, ψ – көрші тізбектермен металдық қабықтарының жақындық әсері ($0,6 \dots 0,7$).

Изоляция өткізгіштігі симметриялы байланыс кабеліндегі сымдарды бөлектегіш изоляция сымдарды қоршаған диэлектрдегі шығынға байланысты болады. Ол

$$G = G_0 + G_f = \frac{1}{R_{из}} + \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad (1.21)$$

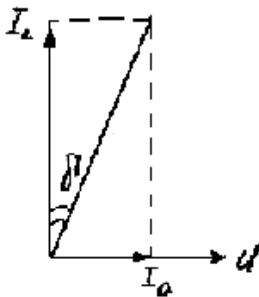
мұнда G_0 – ағып кетуші тұрақты токтың өткізгіштігі;

G_f – диэлектриктік шығындық өткізгіштік.

$I_a = UG$ – диэлектриктегі токтың актив құрамы;

$I_c = i\omega CU$ – реактив құрамы

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c} = \frac{GU}{\omega CU} = \frac{G}{\omega C}.$$



1.4-сурет

Диэлектриктік шығын өткізгіштігі ток жиілігіне, электрлік сыйымдылыққа

және тангенстік шығындық бұрышқа байланысты болады. Тұрақты токта бөлектегіш кедергісі $R_{из} = 2000 \text{ МОм} \cdot \text{км}$ – қалалық кабельде, $R_{из} = 10000 \text{ Мом} \cdot \text{км}$ – магистральдық кабельде.

1.2. Әуе байланыс жолының біріншілік параметрлері

Әуе байланыс жолында $\frac{a}{r} \approx 50$ болғандықтан, онда

жақындық әсері және жақын металдардағы жылуға бөлінетін шығын болмайды. Сондықтан белсенді (актив) кедергі тек қана екі құрамнан тұрады.

$$R=2R_0[l+F(kr)], \quad (1.22)$$

$a-r \approx a$ болғандықтан

$$L=\left[4\ell n\frac{a}{r}+\mu Q(kr)\right]\cdot 10^{-4}. \quad (1.23)$$

Әуе байланыс жолы тізбегінің электрлік сыйымдылығы

$$C=\frac{10^{-6}}{36\ell n\frac{a}{r}}. \quad (1.24)$$

Изоляция өткізгіштігі

$$G=G_0+nf, \quad (1.25)$$

мұнда $G_0=\frac{1}{R_{из}}$ – изоляцияның тұрақты токтағы өткізгіштігі;

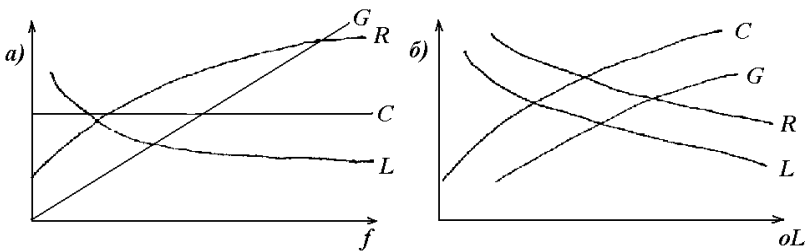
n – айнымалы токта диэлектриктегі шығынды ескеретін коэффициент.

Ауа құрғақ болғанда

$$G_0=0,01\cdot 10^{-6}\text{ См}\cdot\text{км}; \quad n=0,05\cdot 10^{-9}; \quad \text{дымқыл ауада}$$

$$G_0=0,05\cdot 10^{-6}\text{ См}\cdot\text{км}; \quad n=0,25\cdot 10^{-9}.$$

Симметриялы тізбектің біріншілік параметрлерінің жиілікке және сым диаметріне байланысты өзгеруі 1.5-суретте көрсетілген.



1.5-сурет

1.3. Симметриялық тізбектердің екіншілік параметрлері

Симметриялық тізбектердің біріншілік параметрлері арқылы есептеліп, сигналдың байланыс жолымен таралуын сипаттайтын параметрлерін екіншілік параметрлері деп атайды. Оларға: өшулік (α), фаза (β) тұратын таралу коэффициенті (γ), толқындық кедергі (z_B) және сигналдың таралу жылдамдығы (V) жатады. Екіншілік параметрлер үшінші тарауда келтірілген (3.51) теңдеуімен есептеледі. Екіншілік параметрлерді тізбектердің геометриялық өлшемімен (a , d) және материал сапасымен де (ε , μ , $tg\delta$) есептеуге болады.

Таралу коэффициенті кешенді (комплексті) шама, оның нақты бөлігін өшулік коэффициенті, ал жорамал бөлігін фазалық коэффициент деп атайды. Сонда

$$\gamma = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)} = \alpha + i\beta. \quad (1.26)$$

Таралу коэффициенті, өшулік және фазалық коэффициенттер тізбекпен берілетін ток жиілігіне байланысты әр түрлі қысқартылған теңдеулермен есептеледі.

1) Жиілік θ -ге тең болғанда $\omega = 0$;

$$\gamma = \sqrt{RG}, \quad \alpha = \sqrt{RG}, \quad \beta = 0;$$

2) $\frac{\omega L}{R} \leq 0,1$ болғанда $\alpha \approx \beta \approx \sqrt{\frac{\omega CR}{2}}$;

3) $\frac{\omega L}{R} > 0,1$ болғанда ($f = 150 \dots 1500 \text{ Гц}$);

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega C}{2}}(R - \omega L), \quad \beta = \sqrt{\frac{\omega C}{2}}(R + \omega L);$$

4) $f = 1,5 \dots 20 \text{ кГц}$ болғанда

$$\gamma = \alpha + i\beta = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)};$$

5) $f > 20 \text{ кГц}$ болғанда

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \beta = \omega \sqrt{LC}.$$

Толқындық кедергі кешенді шама, ол теңдеумен есептеледі

$$z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}} = |z_B| e^{i\varphi_B}. \quad (1.27)$$

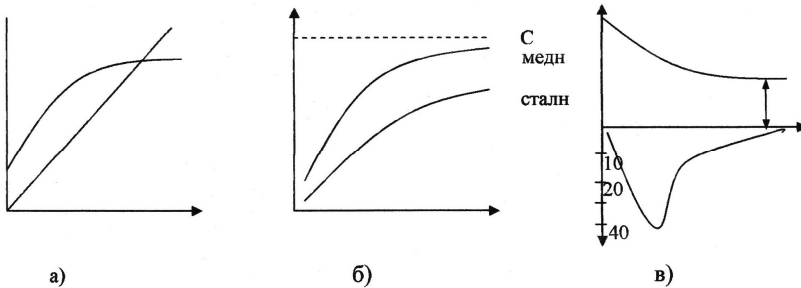
Бір текті байланыс тізбегінде толқындық кедергі тізбектің ұзындығына байланысты болмайды. Бір текті байланыс жолының толқындық кедергісі тізбектің барлық жерінде бірдей болып, ол тек тізбекпен өтетін ток жиілігіне байланысты болады:

- 1) $\omega = 0$ болғанда $z_B = \sqrt{\frac{R}{G}}$;
- 2) ω – орта шамада $z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}$;
- 3) $\omega \gg 0$ болғанда $z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}$.

Сигналдың таралу жылдамдығы тізбектің параметрлеріне және онымен берілетін токтың жиілігіне байланысты болады

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (1.28)$$

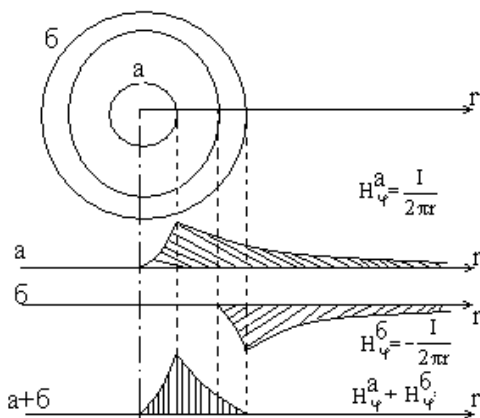
Таралу жылдамдығы тұрақты токта шамамен 10000 км/с болып, одан әрі ток жиілігі өскенде ол да өсіп, жарық жылдамдығына жақындайды. Екіншілік параметрлердің жиілікке байланысты өзгеруі 1.6-суретте көрсетілген.



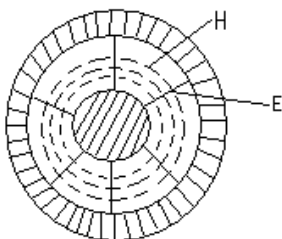
1.6-сурет

1.4. Коаксиал тізбектеріндегі электромагнит өрісі

Коаксиал тізбегімен таратылатын электромагнит өрісінің ерекшелігі – оның тек коаксиал жұбының ішінде болып, сондықтан жоғары жиілік ауқымында көптеген арналар жасауға мүмкіндік туғызуында. Сыртқы және ішкі сымдарының электромагниттік өрістерінің өзара әрекетінен коаксиал жұптың сыртында электромагниттік өріс болмайды. Коаксиал жұптың магниттік өрісі 1.7-суретте көрсетілген.



1.7-сурет

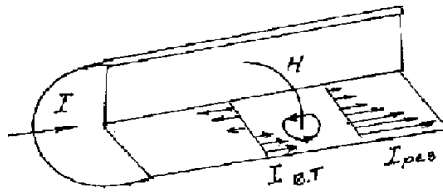


1.8-сурет

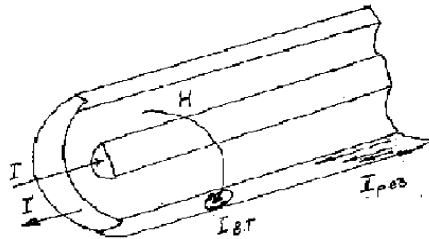
Суретте көрсетілгендей, қорытынды магниттік өріс коаксиал сыртында нөлге тең болып, оның күш сызықтары ішіндегі дөңгелек сызықтармен белгіленуі, электрлік өрісте коаксиал жұптың ішінде, оның күш сызықтары радиал бағытта ішкі сыммен сыртқы түтікшенің арасында болады (1.8-сурет).

Коаксиал тізбегінің сыртында электромагнит өрісінің болмауы, оның басты жетістігіне жатады: оның өзара әсерден қорғанулығы жоғары, сыртқы әсерден жақсы қорғалған және айналасындағы басқа сымдармен металл қабықтарды жылытуға энергия бөлінбейді. Сондықтан, коаксиал тізбектерінің пайдаланылатын жиілік ауқымы жоғары, оларда жасалатын арналардың саны көбейеді.

Коаксиал тізбектеріндегі ток тығыздығының бөлінуі – симметриялы тізбектегі (1.1 және 1.2-суреттер) токтарға ұқсас, 1.9, 1.10, 1.11-суреттерде көрсетілген.

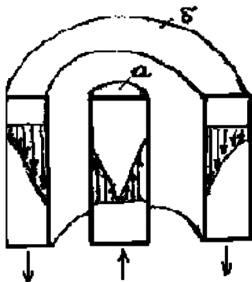


1.9-сурет



1.10-сурет

Бұл суреттерден көрінетіні “сыртқа тебу” (1.9-сурет) және “жақындық” (1.10-сурет) әсерлерінен тізбектегі токтың тығыздығы ішкі сымның сыртқы бетінде және сыртқы сымның ішкі бетінде көбейіп, ішкі сымның ортасында және түтікшенің сыртқы бетінде азаяды. Коаксиал тізбегіндегі токтың жиілігі өскен сайын, бұл әсерлердің күші өсе түседі.



1.11-сурет

Сөйтіп, электромагниттік энергия тек қана коаксиал тізбектің ішінде жинақталып таралады. Тізбектің сымдары осы электромагнитті бағыттаушы міндетін атқарады. Сыртқы бөгеулік әсер сыртқы түтікше сымның сыртқы бетінде ғана пайда болады. Сөйтіп, коаксиал тізбегінің сыртқы түтікше сымы екі міндетті: бірі негізгі тізбектің сымы болса, екіншісі сыртқы бөгеуліктерден қорғайтын экран міндетін атқарады.

Төменгі жиілікті және тұрақты токта коаксиал тізбегінің жетістігі болмайды, қайта симметриялы тізбекке қарағанда, оның кемшіліктері болады. Сол себепті коаксиал тізбектерінің пайдаланылатын жиіліктік ауқымы төменгі жағынан шектеледі. Коаксиал тізбекті төменгі жиілік ауқымында бөгеуліктен сақтау үшін тізбек екі қабат болат лентамен оралып экрандалады.

1.5. Шығынды коаксиал тізбектерінің біріншілік параметрлері

Симметриялы тізбектердегідей коаксиал тізбектерде де сымдарды қыздыруға жұмсалатын энергия

$$P_r = \int_0^{2\pi} E_r H_\phi r d\phi = I^2 z,$$

$$\text{мұнда } z = \frac{1}{I^2} \int_0^{2\pi} E_r H_\phi r d\phi = R + i\omega L.$$

Коаксиал тізбектерінің толық кедергісі ішкі және сыртқы сымдарының толық кедергілерінен тұрады

$$z = z_a + z_\sigma.$$

$$\text{Ішкі сымдікі } z_a = R_a + i\omega L_a; \text{ сыртқы сымдікі } z_\sigma = R_\sigma + i\omega L_\sigma.$$

Ішкі дара сымның жеке өзін қарағанда

$$\frac{\partial E_r}{\partial \varphi} = 0 \quad \text{және} \quad \frac{\partial^2 E_r}{\partial \varphi^2} = 0, \quad (1.29)$$

сонда
$$\frac{\partial^2 E_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_r}{\partial r} = iK^2 E_r. \quad (1.30)$$

Бұл теңдеудің Бессел функциясы арқылы шешілуі:

$$\frac{\partial^2 E_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial E_r}{\partial r} = ik^2 E_r. \quad (1.31)$$

мұнда A мен B – интегралдау тұрақтылары;

J_0 мен K_0 – Бессел функциялары.

Бессел функцияларының kr -ге байланысты өзгеру сипаттамасы 1.3-суретте көрсетілген.

Бұдан бұрын айтылғандай $B=0$ болады, сонда

$$E_r = A_0 \cdot J_0(\sqrt{ik}r).$$

A_0 -ді анықтау үшін

$$\frac{\partial E_r}{\partial r} = i\omega\mu H_\varphi, \quad H_\varphi = \frac{\sqrt{ik}}{i\omega r} A \cdot J_1(\sqrt{ik}r).$$

Толық ток заңы бойынша $H_\varphi = \frac{I}{2\pi r}$, $r = r_a$ болғанда

$$A = \frac{I}{2\pi r_a} \frac{i\omega\mu}{\sqrt{ik}J_1(\sqrt{ik}r_a)}, \quad (1.32.)$$

сонда
$$E_r = \frac{I}{2\pi r_a} \frac{\sqrt{i\omega\mu}}{k} \frac{J_0(\sqrt{ik}r)}{J_1(\sqrt{ik}r)}. \quad (1.33)$$

E_r пен H_φ (4.11) теңдеуіне қойса

$$z_a = R_a + i\omega L_a = \frac{\sqrt{ik}}{\sigma} \frac{I}{2\pi r_a} \frac{\sqrt{i\omega\mu}}{k} \cdot \frac{J_0(\sqrt{ik}r)}{J_1(\sqrt{ik}r)}.$$

R_a мен L_a параметрлерін симметриялы тізбектердегідей есептейді.

$$R_a = R_0 [1 + F(kr)],$$

$$L_a = \frac{1}{2} \mu_r Q(kr) \cdot 10^{-4},$$

$$K = \sqrt{\omega \mu \sigma}.$$

Жоғары жиілік ауқымында коаксиал тізбекте $kr_a > 5$ болғанда

$$z_a = R_a + i\omega L_a = \frac{\sqrt{i}k}{2\pi r_a \sigma} + \frac{1}{4\pi r_a^2 \sigma}.$$

Бұл теңдеудегі екінші құрамы аз болғандықтан, оны ескермейтін десе және теңдеудің нақтылы мен жорамал бөлігін тапса

$$\begin{aligned} \sqrt{i} &= \frac{1}{\sqrt{2}} + i \frac{1}{\sqrt{2}}, \\ R_a &= \frac{\sqrt{2}k}{2\pi r_a \sigma}, \quad L_a = \frac{\sqrt{2}\mu_a}{4\pi r_a k}. \end{aligned} \quad (1.34)$$

Сыртқы сым параметрлерін табу үшін бұдан бұрынғы белгілі теңдеулерді пайдаланады.

$$\begin{aligned} E_r &= A \cdot J_0(\sqrt{i}kr) + B \cdot K_0(\sqrt{i}kr), \\ H_\varphi &= \frac{1}{i\omega\mu} \frac{\partial E_r}{\partial r} = \frac{\sqrt{i}k}{i\omega\mu} \left[A J_1(\sqrt{i}kr) - B K_1(\sqrt{i}kr) \right]. \end{aligned} \quad (1.35)$$

Сыртқы түтікше сымның сыртқы радиусы $r=r_c$ болғанда, ондағы магнитті өріс нөлге тең болады.

$$H_\varphi(r_c) = \frac{\sqrt{i}k}{i\omega\mu} \left[A J_1(\sqrt{i}kr_c) - B K_1(\sqrt{i}kr_c) \right] = 0. \quad (1.36)$$

Сыртқы түтікше сымның ішкі радиусы $r=r_b$ болғанда, магнит өрісі толық ток заңы бойынша

$$H_\varphi(r_b) = \frac{\sqrt{i}k}{i\omega\mu} \left[A J_1(\sqrt{i}kr_b) - B K_1(\sqrt{i}kr_b) \right] = \frac{I}{2\pi r_b}. \quad (1.37)$$

Осы теңдеулерді шешіп, E_r, H_φ мәндерін қойғанда

$$z_{\sigma} = R_{\sigma} + i\omega L_{\sigma} = \frac{\sqrt{ik}}{2\pi r_{\sigma}\sigma} \frac{J_0(\sqrt{ik}r_c)K_1(\sqrt{ik}r_c) + K_1(\sqrt{ik}r_c)}{J_1(\sqrt{ik}r_c)K_1(\sqrt{ik}r_c) - K_1(\sqrt{ik}r_c)},$$

жоғарғы жиілік ауқымында $kr > 5$

$$z_{\sigma} = R_{\sigma} + i\omega L_{\sigma} = \frac{\sqrt{ik}}{2\pi r_{\sigma}\sigma} \left[Cth(\sqrt{ikt}) - \frac{1}{8\sqrt{ik}} \left(\frac{3}{r_c} + \frac{1}{r_{\sigma}} \right) \right], \quad (1.38)$$

мұнда $t = r_c - r_{\sigma}$ – түтікше сым қалыңдығы.

Коаксиал тізбегімен берілетін ток жиілігі 60 кГц-тек артық болғанда (1.38) теңдеуінің нақтылы және жорамал құрамын бөліп жазса

$$R_{\sigma} = \frac{1}{2\pi r_{\sigma}\sigma} \left[\frac{k}{\sqrt{2}} - \frac{4r_{\sigma} + t}{8(r_{\sigma} + t)r_{\sigma}} \right], \quad (1.39)$$

$$L_{\sigma} = \frac{\sqrt{2}\mu}{4\pi r_{\sigma}k}. \quad (1.40)$$

Кедергінің екінші құрамы аз болғандықтан, елемейтіндей деп, және 1 км кабель ұзындығында

$$R_{\sigma} = \frac{4,8\sqrt{f}}{100r_{\sigma}}, \quad (1.41)$$

$$L_{\sigma} = \frac{6,66}{r_{\sigma}\sqrt{f}} \cdot 10^{-3}. \quad (1.42)$$

Екі сым арасындағы индуктивтік L_c

$$L_c = \frac{\mu}{2\pi} \ell n \frac{r_{\sigma}}{r_a},$$

$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ мәнін қойса, 1 км ұзындықты

$$L_c = 2\ell n \frac{r_{\sigma}}{r_a} 10^{-4}. \quad (1.43)$$

Сонымен коаксиал тізбектің актив кедергісі мен индуктивтігі

$$R = R_a + R_{\phi} = \frac{\sqrt{2}k}{4\pi\sigma} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_{\phi}} \right), \quad (1.44)$$

$$L = L_a + L_{\phi} + L_c = \frac{\sqrt{2}\mu}{4\pi k} \left(\frac{3}{r_a} + \frac{1}{r_{\phi}} \right) + 2\ell n \frac{r_{\phi}}{r_a} \cdot 10^{-4}. \quad (1.45)$$

Мыстан жасалған коаксиал тізбегі үшін

$$R = 4,18\sqrt{f} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_{\phi}} \right) \cdot 10^{-2}, \quad (1.46)$$

$$L = \left[2\ell n \frac{r_{\phi}}{r_a} + \frac{6,66}{\sqrt{f}} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_{\phi}} \right) \right] \cdot 10^{-4}.$$

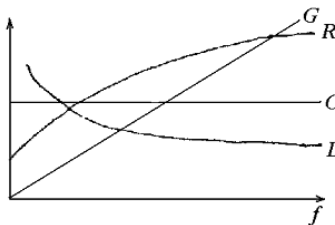
Бұдан бұрын қаралғандай Максвелл теңдеулерін шешкенде

$$C = \frac{2\pi\varepsilon}{\ell n \frac{r_{\phi}}{r_a}} = \frac{\varepsilon_r \cdot 10^{-6}}{18\ell n \frac{r_{\phi}}{r_a}}, \quad (1.47)$$

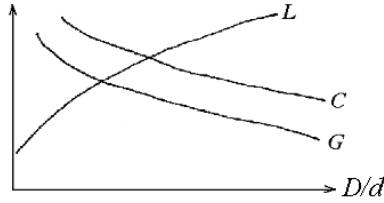
$$G = \frac{2\pi\sigma}{\ell n \frac{r_{\phi}}{r_a}} = G_0 + G_f = \frac{1}{R_{из}} + \omega Ctg\delta, \quad (1.48)$$

жоғары жиілікте $\omega Ctg\delta \gg G_0$.

Коаксиал тізбектің біріншілік параметрлерінің жиілікке және сымдар диаметрлерінің қатынасына байланысты өзгеруі 1.12, 1.13-суреттерінде көрсетілген



1.12-сурет



1.13-сурет

Тізбектің актив кедергісі оның сымдарының диаметрлерінің қатынасына байланысты өзгермейді, тек ішкі сымның диаметрі мен сыртқы сымның диаметрі мен қалыңдығына байланысты өзгереді.

1.6. Коаксиал тізбектерінің екіншілік параметрлері

Коаксиал тізбектері пайдаланылатын ток жиіліктері 60 кГц-тен жоғары болатындықтан, ондағы $R \ll \omega L$, $G \ll \omega C$. Сонда

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 8,69 \left(\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) \\ \beta &= \omega \sqrt{LC} \\ z_B &= \sqrt{\frac{L}{C}} \\ V &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{aligned} \right\} \quad (1.49)$$

Коаксиал тізбектердің екіншілік параметрлерін тек қана біріншілік параметрлерімен ғана емес, олардың (біріншілік параметрлерінің) орнына сымдар мен диэлектриктерін сипаттайтын мәндерін қойып есептесе де болады. Сонда

$$\alpha = \frac{2,61 \sqrt{f \varepsilon}}{\ell g \frac{D}{d}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \cdot 10^{-3} + 9,08 f \sqrt{\varepsilon} \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-5}, \quad (1.50)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\mu \varepsilon} = \omega \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{C}}, \quad (1.51)$$

$$z_B = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \ln \frac{D}{d}, \quad (1.52)$$

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}} = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}}, \quad (1.53)$$

мұнда C – жарық жылдамдығы 300000 км/с.

Коаксиал тізбектің өшулігі металдағы өшулікпен диэлектриктегі өшуліктен құралады. Диэлектриктегі өшулік металдағы өшуліктің $2 \pm 3\%$ -ы ғана болады. Сондықтан, коаксиал тізбек өшулігі жиілікке байланысты пропорционал қатынаста өседі. Фазалық коэффициент жиілікке тура пропорционал өседі. Коаксиал тізбегінің сигнал тарату жылдамдығы жарық жылдамдығына жақын (285000 км/с) болады. Толқындық кедергі негізінен диэлектриктік өтімділік пен сым тізбектерінің диаметрлерінің қатынасына байланысты болады.

1.7. Коаксиал тізбек сымдары диаметрлерінің тиімді қатынасы

Бұдан бұрын айтылғандай, жоғары жиілік ауқымында пайдаланылатын коаксиал кабель тізбектерінің диэлектриктегі өшулігін елемейтіндей аз деп алса,

$$\alpha = \frac{2,6\sqrt{f\varepsilon}}{\ell g \frac{D}{d}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \cdot 10^{-3}. \quad (1.54)$$

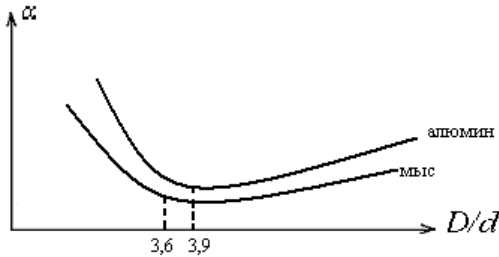
Бұл формуладан көрінетіні коаксиал тізбек өшулігі жиіліктен басқа, тізбектегі сымдардың диаметрлерінің қатынасына байланысты болады. Осы сым диаметрінің қандай қатынасында өшуліктің аз болатынын табу үшін $\frac{D}{d} = x$ деп белгілеп, x -тің өзгеруіне байланысты (D мен d -ның біреуін тұрақты деп алады),

өшуліктің бірінші туындысын тауып, оны нөлге теңеп, содан x -тың мәнін табады.

Сонда $\frac{d\alpha}{dx} = 0$, одан $\ln x = 1 + \frac{1}{x}$, осыдан x мәнін тапса,

$x=3,6$, яғни $\frac{D}{d} = 3,6$.

Коаксиал тізбектің өшулігінің сым диаметрлерінің қатынасына байланыстылығы әр түрлі сыртқы сым материалында 1.14-суретте көрсетілген.



1.14-сурет

1.8. Коаксиал тізбектерінің біртекті болмауының әсері

Коаксиал байланыс кабельдерді жасап шығарғанда, олардың бәрі, оның ішінде коаксиал тізбектері бірдей бола бермейді және де құрылыс жұмыстары кезінде немесе басқа да механикалық әсерлерден майысу, жапырылу, т.б. салдарынан параметрлері өзгереді. Осы параметрлердің өзгеруі, оның сигнал тарату параметрлеріне тигізетін әсері, тізбектің бір текті еместік коэффициентімен анықталады. Ондай біртекті еместік коаксиал тізбектің ұзына бойында және екі құрылыстық ұзындықты жалғаған жерінде болуы мүмкін. Оның соңғысы алдыңғысынан артық болады. Коаксиал тізбектің бір текті болмауы, оның толқындық кедергісін өзгертеді. Коаксиал тізбектің бойындағы толқындық кедергілері өзгерген жерлерде энергия толық қабылданбай, оның бірсыпырасы шағылысып кейін қайтады.

Кейін қайтатын энергияның шамасы шағылысып қайту коэффициентіне байланысты болады. Шағылысып қайту коэффициенті P

$$P = \frac{z'_B - z_B}{z'_B + z_B} = \frac{\Delta z}{2z_B}, \quad (1.55)$$

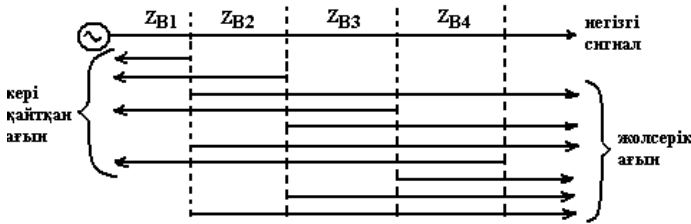
мұнда z_B мен z'_B $\Delta z = 2Pz_B$. Толқындық кедергінің өзгеруі коаксиал тізбектің сыртқы түтікше сымының диаметрінің (ΔD), ішкі сымының диаметрінің (Δd) және диэлектриктің өзгеруінен ($\Delta \varepsilon$) болуы мүмкін. Сонда

$$\Delta z = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \left(\frac{\Delta D}{D} - \frac{\Delta d}{d} - \frac{\Delta \varepsilon}{2\varepsilon} \ln \frac{D}{d} \right). \quad (1.56)$$

Бұлардың ішінде ішкі сымның диаметрінің өзгеруі өте аз болады. Себебі, ол бір тұтас металдан жоғары дәлдікпен жасалады.

Өзгеруі көп болатын сыртқы сымның диаметрінің өзгеруі ($\Delta \varepsilon$) болады. Кабельдегі коаксиал тізбегінің біртекті болмауынан, шағылысып кейін қайтатын энергиялар жиналып, сигналдың өшулігіне балама ретінде болады. Оларды “кері қайтатын ағын” деп атайды. Шағылысып кейін қайтатын энергия жолшыбай басқа біртекті емес жерінде өз ретінде шағылысып, сигнал бағытымен қозғалады. Осы энергиялардың жиналған қосындысын “жол серік ағын” деп атайды. Сонымен “кері қайтатын ағын” сигналдың өшулігін көбейтсе, ілгері жылжитын “жол серік ағын” да негізгі сигналдың бұзылуына себеп болады. Себебі, олардың фазалық коэффициенттері әр түрлі болып, негізгі сигналдық формасын бұзып, сигналды дұрыс қабылдау дәлдігін төмендетеді.

Негізгі сигнал, кері қайтатын ағын, жолсерік ағындар 1.15-суретінде берілген.



1.15-сурет

Коаксиал тізбегімен берілетін сигнал сапасы белгіленген шамадан төмен болмас үшін, оның толқын кедергі ауытқуы $\pm 0,45$ яғни 3%-дан аспауы керек.

Берілген күшейткіш бөлігіндегі коаксиал тізбегінің жолсерік ағыны екі құрамнан тұрады:

Тізбектегі біртекті еместіктен

$$|q_B|^2 = \frac{P^4}{324(\Delta\ell)^2 \alpha^2} \alpha L, \quad (1.57)$$

кабельдерді жалғайтын жердегі біртекті еместігінен

$$|q_c|^2 = \frac{P^4}{324(\Delta\ell)^2 \alpha^2} 2n(1 - \ell^{-4\alpha\ell}), \quad (1.58)$$

екеуінің қорытындысы

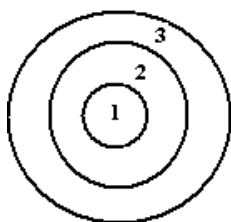
$$|q|^2 = \frac{P^4}{324(\Delta\ell)^2 \alpha^2} [\alpha L + 2n(1 - \ell^{-4\alpha\ell})], \quad (1.59)$$

мұнда Δl – біртекті емес жерлерінің арасы, l – құрылыстық ұзындық, L – күшейткіштер арасы, n – күшейткіштер арасындағы құрылыстық ұзындықтар саны.

Коаксиал байланыс кабельдің біртектілігін жақсарту үшін кабельдерді төсегенде, әр түрлі құрылыстық кабельдерді сұрыптап, оларды жалғағанда көршілес кабельдердегі толқындық кедергілердің айырмашылығы 0,3 Ом.

1.9. Жарықөткізгіш талшықпен электрсигналын тарату

Ақпаратты тек қана электр тогына айналдырып, электромагнит энергиясы арқылы ғана емес, оны жарық сәулесіне айналдырып, сол оптикалық сәулемен беруге де болады. Оптикалық сәулеге айналдырылған сигналды бір жерден екінші жерге жеткізуші немесе бағыттап алып барушы байланыс жолын жарықөткізгіш немесе оптикалық талшық деп атайды. Электромагнит энергиясын бағыттаушы байланыс жолы екі металл сымнан тұрса, оптикалы талшық екі қабат әйнектен жасалған жіңішке талшықтан тұрады. Осы талшықтың сырты пластмассадан жасалған қорғағыш қабықпен қапталады. Оптикалы талшықтың құрылымы 1.16-суретте берілді.



1.16-сурет

Оптикалы талшықтағы екі қабат әйнектен жасалған жіптің ішкі қабатын өзекше деп атайды, диаметрі $d_1 \approx$ мкм.

Екінші қабатын қабықша деп атайды, диаметрі $d_2 \approx$ мкм. Қабықша өзекшемен таралатын жарық сәулесін сыртқа шығармай, сол өзекше бойымен бағыттауға арналған. Екі қабат әйнек жіптің сыртын қаптайтын қорғаушы қабықтарының сыртқы диаметрі $d_3 \approx$ мкм. Ол сыртқы

механикалық әсерлерден қорғау үшін пластмассадан жасалады.

Бұдан бұрын айтылғандай, мыс сымды бағыттаушы жүйелермен ақпарат электр тогымен берілсе, оптикалық талшықпен лазерлік сәулемен беріледі [11, 33, 34, 39].

Лазерлік сәуле оптикалық талшықтың ішкі қабаты – өзекше бойымен таралады (1.17-сурет).



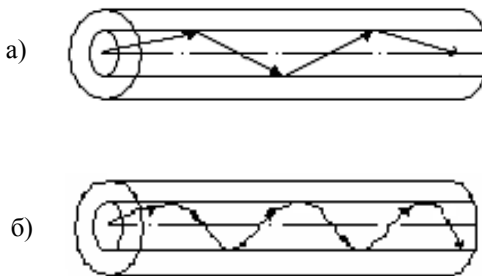
1.17-сурет

Сәуленің тек қана өзекше бойымен таралу себебі – оптикалық талшықтың өзекшесінде және қабықшасының әйнектеріндегі сәуленің сыну коэффициенттері (n_1 , n_2) екі түрлі болғандықтан, өзекшеге түсірілген сәуле әйнек қабаттарының шекарасынан шағылысып кейін қайтады. Сөйтіп, сәуленің таралуының себебі – оның екі әйнек қабатынан көп қайтара шағылысып қайтуынан болатындықтан, мұндағы жиілік ауқымы өте жоғары болады, яғни $\lambda_0 \approx d_1$.

Оптикалық талшықпен таралатын сәуле (0,4...0,75) мкм-ден (1,3; 1,55; 6) мкм-ге дейін болады.

Оптикалық талшықпен берілетін толқын түрлерін “мод” деп атайды. Талшықтағы өзекше диаметрі өскен сайын онымен берілетін “мод” саны да өседі. Егер талшықтың өзекшесінің диаметрі толқын ұзындығындай болса ($d_1 \approx \lambda$), онда бір модалық толқын беріледі. Бір модалық толқынның бұзылуы аз, әрі алысқа таратылады. Егер оптикалық талшықпен толқынның бірнеше түрі берілетін болса, оны көп модалы деп атайды. Көп модалы толқында дисперсиялық бұзылу көп болып, онымен берілетін жиілік ауқымы таралады.

Оптикалы талшықтың екі түрі болады: сатылы (1.18 а-сурет) және градиентті (1.18 б-сурет).

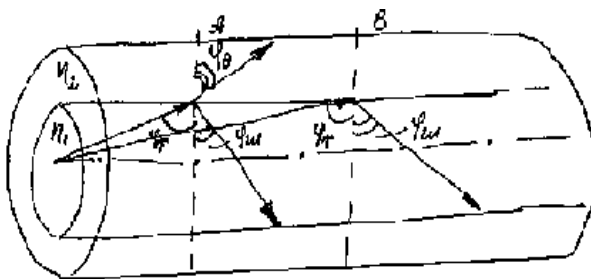


1.18-сурет

Сатылы талшықтағы сәуле сыну коэффициенті n_1 тұрақты болады да, ал градиентті талшықта сәуле сыну коэффициенті n_1 үздіксіз бірқалыпты өзгеріп тұрады.

Физикадан белгілі жарық сәулесі толқындық және корпускулярлық (кванттық) жаратылыста болады. Толқындық теорияда жарық сәулесін электромагнит толқынындай деп қарау керек, (жиілігі $10^{14} \dots 10^{15}$). Толқындық теорияға қарағанда, геометриялық оптикалық заңдылық қарапайымдау түсінуге оңай болады. Сондықтан көп жағдайларда корпускулярлық теория қолданылады.

Оптикалық талшықтағы өзекше – қабықшасындағы сәуле, жалпы алғанда үш сәуле, үш бұрыштан тұрады: түсуші сәуле мен түсу бұрышы (φ_t).



1.19-сурет

Мұнда φ_t – толқын бұрышы, φ_0 – өтуші толқын бұрышы, $\varphi_{ш}$ – шағылысып қайту толқынының бұрышы, n_1 – өзекшенің сәуле сындыру коэффициенті, n_2 – сыртқы қабаттың сәуле сындыру коэффициенті.

n_1 мен n_2 -нің бір белгілі қатынасында және белгілі бір бұрышпен түскен сәуле талшықтағы әйнектердің шекарасынан толығымен кері шағылысып қайтады. Сәуленің шағылысып толық қайтатын $\varphi_t = \theta_B$ бұрышы толық шағылысып қайту бұрышы деп аталады. Ол

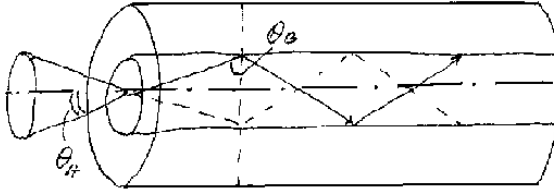
$$\sin \theta_B = \frac{n_2}{n_1}. \quad (1.60)$$

Сәуленің түсу бұрышы $\varphi_t < \theta_B$ -ғанда энергияның бір бөлігі сыртқы қабықшаға өтіп кетеді де, ал $\varphi_t \geq \theta_B$ болғанда энергия екі қабаттың шекарасынан шағылысып толық қайтып, түгелдей жарық өткізгіштің өзекшесінің бойымен таралады.

Сәуленің түсу бұрышы φ_t оптикалы талшықтың кіру бетіне берілетін сәуленің бұрышына байланысты болады.

Жарық өткізгіш барлық денелік бұрыштың θ_A ішінде түскен сәулені өткізеді.

Осы толық шағылысып қайту шарты орындалатын денелік бұрышты Апертура деп атайды (1.20 сурет).



1.20-сурет

Көбінесе сандық апертура шамасы пайдаланылады

$$NA = \sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.61)$$

Толық шағылысып қайту бұрышын есептегенде

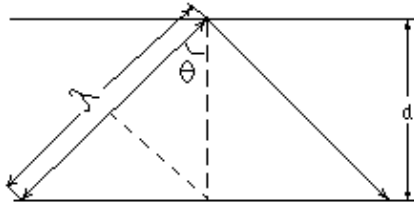
$$\sin \theta_B = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{\mu_2 \varepsilon_2}{\mu_1 \varepsilon_1}}$$

$\mu_2 = \mu_1$ болатынын ескергенде

$$\sin \theta_B = \sqrt{\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} \quad (1.62)$$

θ бұрышы белгілі болғанда, онымен шеткі кризистік жиілікті және толқын ұзындығын табуға болады. Бұларды тапқанда теориялық негізі оптикалық талшықтың диаметрімен

(d_1) оған түсетін толқын ұзындығына (λ) қатынасынан шығады. $d \gg \lambda$ болғанда көптолқынды есепті шығаруға геометриялық оптиканы пайдалану тиімді. Ал $d \approx \lambda$ болғанда есепті Максвелл теңдеулерімен шешеді.



1.21-сурет

Осы суретте $\cos \theta \frac{\lambda}{d}$,

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}, \quad \frac{\lambda_0}{d} = \sqrt{1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2}$$

одан

$$\lambda_0 = \frac{d}{n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (1.63)$$

$$f_0 = \frac{C}{\lambda_0} = \frac{C}{d} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

Бұл теңдеулерден белгілі болатыны өзекше диаметрі d өскен сайын және n_1 мен n_2 -нің айырымы өскен сайын λ_0 өсіп, f_0 төмендей түседі.

1.10. Оптикалы талшықтың параметрлері

Оптикалы талшықтың өшулігі диэлектрикке $\alpha_{жс}$ сіңетін және айналаға шашырайтын энергиядан болатын өшулік. Одан басқа талшықтың майысуынан қосылатын өшулік те болады.

Диэлектрикте жұтылатын энергия оның поляризациялау шығынына байланысты болып, содан $tg\delta$ мен және кешенді $n = n_n - in_{жс}$ мен байланысты болады.

$$\alpha_{жс} = \frac{P_{ш}}{2P}, \quad (1.64)$$

мұнда $P_{ш}$ – шығындық энергия; P – талшықтағы толық энергия.

$$tg\delta = \frac{2n_n \cdot n_{жс}}{(n_n^2 - n_{жс}^2)}, \quad (1.65)$$

мұнда n_n – нақтылы, $n_{жс}$ – жорамал коэффициенттер.

$$\alpha_{жс} = \frac{\omega tg\delta}{2V_1} = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \frac{tg\delta}{V_1} = \frac{\omega}{V_1} \cdot \frac{n_n \cdot n_{жс}}{(n_n^2 - n_{жс}^2)}, \quad (1.66)$$

мұнда V_1 – таралу жылдамдығы.

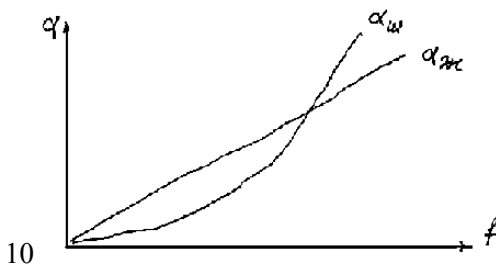
Айналаға шашырайтын энергиядан болатын жарықөткізгіш, оптикалы талшықтың біртекті еместігінен пайда болады. Одан басқа талшықпен берілетін сигналдың қуаты өте жоғары болғанда, қисықтық байланыс пайда болып, ол материалдық параметрлерін өзгертеді. Мұндай қисықтық эффект бір модтық талшықта $P \geq 100$ мВт, ал көп модтықта 2,5 Вт болғанда пайда болады.

$$\alpha_{ш} = \frac{8\pi^2 f^4}{3C^4} (n_{r_1} \varepsilon_{r_1} - 1) P_{\gamma}, \quad (1.67)$$

мұнда, C – жарық жылдамдығы;

P_{γ} – сигнал таратудың сандық коэффициенті;

$\alpha_{жс}$ мен $\alpha_{ш}$ – олардың жиілікке байланысты өзгеруі 1.22-суретте көрсетілген. Оптикалы талшықтың өшулігі жалпы $(\alpha_{жс} + \alpha_{ш})$ шамамен беріледі.



1.22-сурет

Оптикалы талшықтың толқындық кедергісі

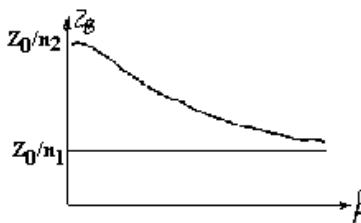
$$z_B = \frac{E_r}{H_\varphi} \text{ немесе } z_B = \frac{E_\varphi}{H_r}, \quad (1.67)$$

толқындық кедергіні анықтау үшін, оның шеткі өзекшедегі z_0/n_1 мәні мен қабықшадағы z_0/n_2 жазық толқындағы мәндерін пайдаланады, мұндағы

$$z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 376,7 \text{ Ом}.$$

материалдық мүлтіксіз жағдайдағы кедергісі. Іс жүзінде шамамен 250...260 Ом.

$$\frac{z_0}{n_1} \leq z_B \leq \frac{z_0}{n_2}.$$



1.23-сурет

Оптикалық талшықтағы сигнал таралуының фазалық жылдамдығы

$$V_\phi = \frac{\omega}{\beta} \text{ немесе } k_2 = \omega \sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}, \quad V_2 = \frac{1}{\sqrt{\mu_2 \varepsilon_2}},$$

$$V_\phi = V_2 \frac{k_2}{\beta}, \quad (1.69)$$

кризистік жиілікте $V_\phi = \frac{V_2}{n_2}$ -ден $V_\phi = \frac{V_1}{n_1}$ дейін өзгереді.

Бұл теңдіктерді кесе көлденеңдік коэффициенттермен алуға болады

$$g_1 = k_0^2 n_1^2 - \beta_2 \leq k_0^2 n_1^2,$$

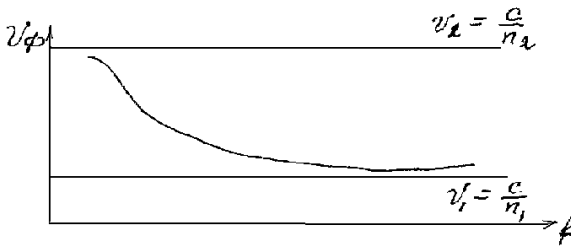
g_1 мен g_2 мәндері нақтылы болғандықтан

$$k_0^2 n_2^2 \leq \beta_2 \leq k_0^2 n_1^2, \quad k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0},$$

$$\frac{\omega}{C} n_2 \leq \frac{\omega}{V_\phi} \leq \frac{\omega}{C} n_1,$$

осыдан

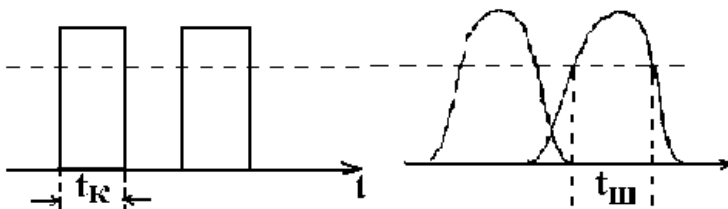
$$\frac{C}{n_1} \leq V_\phi \leq \frac{C}{n_2}. \quad (1.70)$$



1.24-сурет

Оптикалы талшықтың дисперсиясы және жиіліктік өткізу жолағы оның маңызды параметрлері болып саналады. Әр түрлі

спектрлік құрамының жылдамдығының әр түрлі болуына байланысты және сәуленің шағылысып сынуының жиілікке байланысты болатындығынан, оптикалы талшық бойымен таралатын сәуле импульсінің жан-жағы “мүжіліп” жалпайып келеді. Бұл жағдайды дисперсияның әсері дейді (1.25-сурет).



1.25-сурет

Былайша айтқанда, дисперсия оптикалық сигналдың спектрлік құрамының уақытқа байланысты шашырауы деуге болады. Соның салдарынан оптикалық импульс жалпайып, ені өседі. Дисперсия оптикалық импульстің жалпайғандағы кеңдігімен ($t_{ш}$) алғашқы кеңдігінің (t_k) квадраттардың айырымын квадрат түбірден шығарғанға тең

$$\tau = \sqrt{t_{ш}^2 - t_k^2} . \quad (1.71)$$

Оптикалы талшықтың өткізу жолағы, оның дисперсиясына тікелей байланысты болады

$$\Delta F = \frac{1}{\tau} . \quad (1.72)$$

Дисперсия тек қана оптикалы талшықтың өткізу жолағын азайтып қана қоймайды, ол сигнал жеткізіп беру қашықтығын да қысқартады. Себебі, сигнал тарату қашықтығы өскен сайын онымен таралатын оптикалық импульстің жалпаюы да күшейіп, олардың бірін-бірінен ажырату жағдайы қиындайды.

Дисперсия екі себептен пайда болады: біріншісі сәуле шығару көзінің біртекті болмауынан $\Delta\lambda$ толқын

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{\ell_x}{\ell}}, \frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{\ell_x}{\ell}}$$

пайда болуынан болса, екіншісі толқындардың көп “мод”-тың болуынан.

Біріншісі екі түрге бөлінеді: материалдық және мод ішілік. Материалдық сигналдың сәуленің шағылысып сынуының толқын ұзындығына байланыстылығынан пайда болады. Модішілік сәуленің модтық құрылымына байланысты болып, сигналдың таралу коэффициентінің толқын ұзындығына байланыстылығын сипаттайды

$$\gamma = \psi(\lambda). \quad (1.73)$$

Модтық дисперсия әр түрлі модтардың таралу жылдамдықтарының, әр түрлі болатындығынан пайда болады.

Көп модты сатыны жарық өткізгіште модтық дисперсия елеулі орын алып 20...50 нс/км-ге дейін болады.

Сатылы жарық өткізгіш талшықпен берілетін сигнал бір модты болса, онда модтық дисперсия болмайды да модішілік дисперсия мен материалдық дисперсия бірін-бірі азайтып, толқын ұзындығы $\lambda = 1, 2 \dots 1,7$ мкм болғанда дисперсия 1 нс/км-ден аспайды.

Градиентті жарықөткізгіш талшықта әр түрлі модтық сигналдардың таралу уақыты теңестіріліп, ондағы елеулі орын алатыны материалдық болып, ол толқын ұзындығы өскен сайын азайып, 3...5 нс/км шамасында болады.

Сонымен дисперсия жағынан ең жақсысы бір модтық, одан кейін сыну коэффициенті жылжымалы өзгерісті градиентті талшық болады. Дисперсия жағынан тиімсізі көпмодтық сатылы талшық болады.

Градиентті талшықтың өткізетін жиілік жолағы 100...250 Гц · км. Көпмодты талшықтікі – шамамен 50 мГц · км, бірмодтықтікі 0,5...1 ГГц/км.

Сонда көпмодтық талшықта ИКМ-30; 120; 480 жүйелі істейтін болса, градиентті талшықта ИКМ-480; 1920 жүйелері, бір модтық талшықта ИКМ-30...7680 жүйелері істейді.

Оптикалық талшықтардың жиіліктік өткізу жолағымен сигнал жеткізіп беру қашықтығы бірімен-бірі байланысты болады.

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \frac{\ell_x}{\ell}, \quad (1.74)$$

мұнда x -пен ізделініп отырған өткізу жолағы және оған байланысты қашықтық белгіленген, сонда

$$\Delta F_x = \Delta F \frac{\ell}{\ell_x}; \quad \ell_x = \ell \frac{\Delta F}{\Delta F_x}. \quad (1.75)$$

Ұзын байланыс жолдарында (шамамен 8 км-ден артық) квадраттық заңдылығы қолданылады

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{\ell_x}{\ell}}; \quad \Delta F_x = \Delta F \sqrt{\frac{\ell_x}{\ell}}. \quad (1.76)$$

Сөйтіп, кабель ұзындығы көбейгенде оның өткізу жолағы азаяды.

Бақылау сұрақтары:

1. Шығынсыз электр байланыс тізбегі деген қандай тізбек?
2. Шығынды тізбектегі ерекшелік.
3. Электромагнит өрісінің сымдардың көлденең қиылысындағы таралу тығыздығы.
4. Симметриялы тізбектегі сыртқы бет әсері.
5. Симметриялы тізбектердің жақындық әсері.
6. Симметриялы тізбектердің айналасындағы басқа сыммен металл қабықтарды жылытуға кететін шығын.
7. Симметриялы тізбектер жиілікке байланысты қандай заңдылықпен өзгереді?
8. Симметриялы тізбектердің индуктивтерінің құрамы және сипаттамалары.
9. Симметриялы тізбектердің электрлік сыйымдылықтарының сипаттамалары.

10. Симметриялы тізбектердің изоляция өткізгіштігінің құрамы және сипаттамалары.
11. Әуе байланыс және кабельді байланыс тізбектерінің біріншілік параметрлерінің айырмашылықтары.
12. Байланыс тізбектерінің екіншілік параметрлері.
13. Байланыс тізбектеріндегі өшуліктің сипаттамасы.
14. Байланыс тізбектеріндегі фазалық коэффициент сипаттамасы.
15. Байланыс тізбектеріндегі толқындық кедергісінің сипаттамасы.
16. Байланыс тізбектеріндегі таралу жылдамдығының сипаттамасы.
17. Байланыс тізбектерінің біріншілік параметрлерінің тиімді қатынасы.
18. Коаксиал тізбектеріндегі электромагнит өрісінің ерекшеліктері.
19. Коаксиал тізбектеріндегі ішкі және сыртқы сым диаметрлерінің тиімді қатынасы.
20. Коаксиал тізбектерінің біртекті болмауының әсері.
21. Оптикалы талшық параметрлері.
22. Оптикалы талшықтағы сәуленің толық шағылысып қайтуы неге байланысты?
23. Сандық апертура неге тең?
24. Оптикалы талшық өзекшесі диаметрінің онымен таралатын толқын ұзындығына байланыстылығы.
25. Оптикалы талшықтың өшулігінің құрамы және сипаттамасы.
26. Оптикалы талшықтың толқындық кедергісі мен сигнал таралу жылдамдығы.
27. Оптикалы талшықтың дисперсиясы деген не?

2. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ ТІЗБЕКТЕРІНІҢ АРАСЫНДАҒЫ ӨЗАРА ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӘСЕРЛЕР

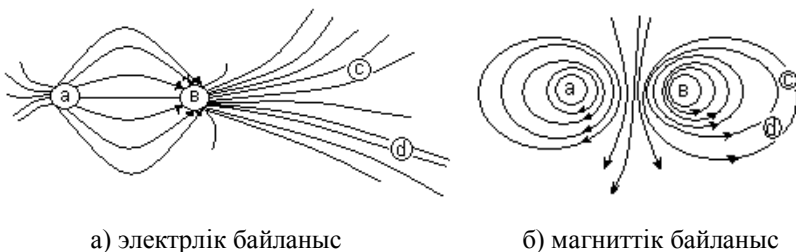
2.1. Байланыс тізбектері арасындағы өзара әсерлердің біріншілік параметрлері

Байланыс жолдарындағы тізбектердің біріне-бірінің әсері немесе сигналдың бір тізбектен екінші тізбекке өтіп кетуі, қазіргі уақытта ең күрделі мәселе болып отыр.

Кабель немесе әуе байланыс жолындағы тізбектермен электр энергиясын таратып бергенде, қатар жүретін тізбектердегі энергияның бір бөлігі екінші тізбекке өтіп кетеді. Егер бұл энергия тікелей түсінікті әңгіме сөз ретінде (түрінде) ауысса, онда сол тізбектермен берілген әңгіменің құпиялығы сақталмайды, әрі келесі тізбектегі байланысқа бөгде сигнал ретінде кедергі жасайды. Егер энергия түсініксіз әңгіме, яғни шуыл түрінде ауысатын болса, онда келесі тізбектегі сигналға бөгеулік жасап, оның түсініктілігін төмендетеді.

Симметриялы тізбектер арасындағы өзара әсер осы тізбектердің электромагниттік өрістерінің өзара әрекеттестіктерінен пайда болады. Оны электрлік және магниттік өрістердің әрекеттерінің қосындысы деп қарауға болады.

2.1-суретте көрсетілгендей, әрқайсысы екі сымнан тұратын симметриялы екі тізбекті алып қарайық.



2.1-сурет

Егер осы тізбектің бірімен (a-b) электромагнит энергиясын таратса, онда келесі тізбектің екі сымында (c-d) электр зарядтары пайда болып, олармен ток жүреді. Олармен (c-d сымдарымен) ток жүрген кезде, сол сымдардың айналасында магнит өрісі пайда болып, айнымалы электромагнит өрісін туғызады.

Осы өрістердің әсерлеріне қарасақ, уақыттың бір мезетінде «a» сымында $+q$ заряды, «b» сымында $-q$ заряды болады. Сонда c мен d сымдары осы зарядтардың электромагнит өрісінде болады. Соның салдарынан c мен d сымдарында электрлік индукция арқылы электр зарядтары пайда болады. Осы сымдардың «a» мен «b» сымдарының арасында потенциалдар айырымы пайда болып, олармен ток жүре бастайды. Мұндай құбылыс электрлік әсер деп аталады. Электрлік әсерден пайда болатын ток пен кернеу бөгеулік (помеха) деп аталады.

Бірінші тізбекпен (a мен b сымдарында) ток жүргенде, оның айналасында магнит өрісі пайда болып, ол өріс «c» мен «d» сымдарын да қамтиды (2.1-сурет). Сонда магниттік индукциядан «c» мен «d» сымдарында электр қозғаушы күш пайда болады. Жалпы алғанда, ол сымдардағы ЭҚК-тері бірдей болмайды. Соның салдарынан «c» мен «d» сымдарымен ток жүреді. Осы пайда болған ЭҚК мен ток екінші тізбекпен берілетін негізгі сигналға бөгде сигнал болып кедергі жасайды. Оны бөгеулік деп атайды. Осы соңғы құбылысты магниттік әсер дейді.

Осы қаралған әсерлер, тізбектегі көлденең электромагниттік өрістен пайда болатын әсерлер. Олардан басқа тізбектердің ұзын бойымен бағытталған (әдетте, олар онша күшті емес) өрісте болады. Олар сымның ішкі индукциясынан және сымдардың өткізгіштіктерінің шектелуінен (тоқтың барлығын тұтас өткізе алмайтындығынан) болады. Олар да өздерінше бөгеулік туғызады. Бірақ олардағы ЭҚК кернеуі, көлденең магниттік өрістің кернеуімен бір бағытта болғандықтан, оны да магниттік әсерге жатқызады.

Әдетте, сигнал тек қана бір тізбекпен («a», «b») емес, басқа тізбектермен де берілетіндіктен, мұндай әсерлер керісінше «a-b» тізбегіне де тиеді. Сондықтан мұндай әсерлерді өзара әсер деп атайды. Ток көзі бар тізбекті әсер етуші тізбек деп, ал бөгде ток

пайда болатын тізбекті әсер ықпалында тұрған немесе әсерленген тізбек деп атауға болады.

Тізбектердің өзара әсерлерін қарағанда, егер бірінші тізбек ток көзі бар әсер етуші тізбек болса, онда екінші тізбекте пайда болған ЭҚК-мен токтың салдарынан екінші тізбек қайтадан бірінші тізбекке әсер етеді. Бірақ оның шамасы алдыңғыға қарағанда (біріншінің екіншіге әсері) әлдеқайда аз болатындықтан, екінші кері әсерді елемеге болады. Тізбектер арасындағы электрлік және магниттік әсерлердің сипаттамаларын электрлік және магниттік байланыс шамаларымен анықтауға болады.

Электрлік байланыс әсер етуші тізбектегі бөгеулік токтың I_{2n} әсер етуші тізбектегі потенциалдар айырымының U_1 қатынасына тең болады.

$$K_{12}(\omega) = \frac{I_{2n}(\omega)}{U_1(\omega)}, \text{ Ом.} \quad (2.1)$$

Магниттік байланыс бөгеулік ЭҚК-нің E_{2n} әсер етуші тізбектегі ток күшінің I_1 қатынасына тең болады.

$$M_{12}(\omega) = -\frac{E_{2n}(\omega)}{I_1(\omega)}, \quad (2.2)$$

Жалпы түрде қарағанда K_{12} мен M_{12} кешенді мәнде жазылуы керек:

$$K_{12}(i\omega) = g_{12} + i\omega k_1, \quad (2.3)$$

$$M_{12}(i\omega) = r_{12} + i\omega m_1, \quad (2.4)$$

мұнда g_{12} мен r_{12} – өткізгіштік пен кедергінің нақтылы құрамдары да, k_1 – сыйымдылық байланыс, m_1 – индуктивтік байланыс.

Бұл теңдеулерден көрінетіні: электрлік байланыс өткізгіштік өлшемімен, ал магниттік байланыс кедергілік өлшемімен өлшенеді. Екеуін бірге қарайтын жағдайда, оларды бір өлшемге келтіру керек. Ол үшін былай жасайды. Өзара әсер етуші тізбектерді толқынды кедергілеріне жүктейді. Сонда

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_{e2}}, \quad U_1 = I_1 Z_{e1}.$$

Осы теңдіктерді қолданып, электрлік байланыс кедергілік өлшемге немесе магниттік байланысты өткізгіштік өлшемге келтіруге болады.

$$K'_{12}(i\omega) = (g_{12} + i\omega k_1) z_{e1} z_{e2}, \quad (2.5)$$

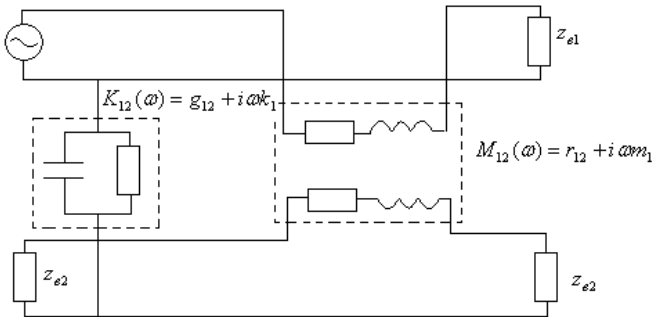
$$M'_{12}(i\omega) = (r_{12} + i\omega k_1) / z_{e1} z_{e2}. \quad (2.6)$$

Кейбір жағдайларда электрлік және магниттік байланыстарды өлшемсіз түрде жазуға тура келеді.

$$K''_{12}(i\omega) = \frac{U_{2П}(\omega)}{U_1(\omega)} = (g_{12} + i\omega k_1) \sqrt{z_{e1} z_{e2}}, \quad (2.7)$$

$$M''_{12}(i\omega) = \frac{E_{2П}(\omega)}{U_1(\omega)} = (r_{12} + i\omega k_1) / \sqrt{z_{e1} z_{e2}}. \quad (2.8)$$

Электрлік және магниттік байланыстарды тізбектер арасында сыйымдылық байланысы k_l , изоляция өткізгіштігі $g_{l2} = 1/R_{l2}$, өзара индуктивтік $m l$ және r_{12} кедергілерді жалғағанда бір тізбектен екінші тізбекке энергия ауыстыруы, өзара әсер етуші тізбектердің электромагниттік әсеріндей деп қарауға болады.



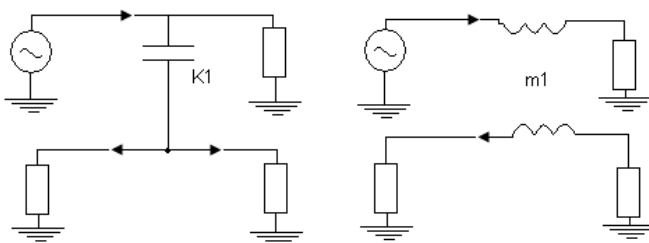
2.2-сурет

Сонымен тізбектердің өзара әсерін төрт параметрмен сипаттауға болады. Оларды біріншілік параметрлері дейді.

Мұндай түсінік тек қана ток күшінің шамасы (бойы) мен фазасы өзгеріп үлгермейтін, электрлік тұрғыдан алғандағы қысқа бөліктерге ғана беріледі. Электрлік тұрғыдан қарағандағы қысқа бөлік деп, байланыс жолының ұзындығы ширек толқын ұзындығынан кем ($l < \frac{\lambda}{4}$) бөлікті айтады. Дыбыстық жиілікте $\lambda \approx 5...25$ км, жоғары жиілікте $\lambda \approx 0,3...2$ км.

2.2. Байланыс тізбектерінің жақын және қашық шеттеріндегі әсерлер

Талдауға жеңіл болуы үшін байланыс тізбектерін бір сымнан тұрады деп алып, екі байланыс тізбектерінің арасындағы электрлік және магниттік әсерлерді қарайық (2.3-сурет).



2.3-сурет

Суреттен көрінетіні, тізбектің жақын шетіне келетін әсерден туған сыйымдылық байланыс тогы мен индуктивтік байланыс токтарының бағыттары бірдей болады да, қорытынды ток олардың қосындысына тең болады. Қашық шетте ол токтардың бағыттары қарама-қарсы болғандықтан, қорытынды ток олардың айырымына тең болады. Байланыс токтары нақтылы және жорамал бөліктерден құралып шамалары кешенді (комплексный) болатындықтан, олардың қосындылары мен айырымдары арифметикалық негізде емес геометриялық негізде болады.

Сонымен, тізбектің жақын шетіндегі электромагниттік байланыс пен қашық шетіндегі электромагниттік байланыс мөлшерсіз (салыстырмалы шама) өлшемде былайша жазылады:

$$N_{12}(i\omega) = (g_{12} + i\omega k) \sqrt{z_{e1} z_{e2}} + (r_n + i\omega m) / \sqrt{z_{e1} z_{e2}}, \quad (2.9)$$

$$F_{12}(i\omega) = (g_{12} + i\omega k) \sqrt{z_{e1} z_{e2}} + (r_n + i\omega m) / \sqrt{z_{e1} z_{e2}}. \quad (2.10)$$

Осы теңдеулермен қатар электромагниттік байланысты кедергілік өлшеммен беретін теңдеулер де кездеседі.

$$N'_{12}(i\omega) = (g_{12} + i\omega k) z_{e1} z_{e2} + (r_n + i\omega m), \quad (2.11)$$

$$F'_{12}(i\omega) = (g_{12} + i\omega k) z_{e1} z_{e2} - (r_n + i\omega m). \quad (2.12)$$

2.3. Байланыс тізбектері арасындағы өзара әсерлердің екіншілік параметрлері

Байланыс жолы тізбектерінің өзара әсерлерінің екіншілік параметрлері – ауысу өшулігі A . Ауысу өшулігі әсер етуші токтың бір тізбектен екінші тізбекке өткендегі өшулігін сипаттайды.

$$A = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right|, \text{ Нп немесе } A = 10 \lg \left| \frac{P_1}{P_2} \right|, \text{ дБ} \quad (2.13)$$

мұнда P_1 – ток көзі қосылған тізбектің басындағы қуат; P_2 – әсерленген тізбектегі бөгеулік болып саналатын қуат.

Байланыс тізбектерінің арасындағы әсерді қарағанда, бір тізбектен екінші тізбекке өткен энергияның бір бөлігі тізбектің ток көзі қосылған жақын жақ шетіне келсе, екінші бөлігі ток көзі қосылған жерден қашық жағындағы шетіне барады. Сөйтіп, әсер жақын жақ шетіндегі және қашық жақ шеттегі болып бөлінеді. Соған сәйкес, жақын шеттегі ауысу өшулік

$$A_0(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{10}(\omega)}{P_{20}(\omega)} \right|, \text{ Нп немесе}$$

$$A_0(\omega) = 10 \lg \left| \frac{P_{10}(\omega)}{P_{20}(\omega)} \right|, \text{ дБ} \quad (2.14)$$

Бұл формуладағы қуатты кернеу арқылы алмастырсак

$$A_0(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{U_{10}^2 2z_{\epsilon 2}(\omega)}{2z_{\epsilon 1}(\omega) U_{20\Gamma}^2} \right| = \ln \left| \frac{U_{10}(\omega)}{U_{20\Gamma}(\omega)} \right| + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{z_{\epsilon 2}(\omega)}{z_{\epsilon 1}(\omega)} \right|, \text{ Нп}$$

немесе $A_0(\omega) = 20 \lg \left| \frac{U_{10}(\omega)}{U_{20\Gamma}(\omega)} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{\epsilon 2}(\omega)}{z_{\epsilon 1}(\omega)} \right|, \text{ дБ} \quad (2.15)$

Қашық шеттегі ауысу өшулігі

$$A_l(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{10}(\omega)}{P_{2\epsilon n}(\omega)} \right|, \text{ Нп немесе}$$

$$A_l(\omega) = 10 \lg \left| \frac{P_{10}(\omega)}{P_{2\epsilon n}(\omega)} \right|, \text{ дБ} \quad (2.16)$$

$$A_l(\omega) = \ln \left| \frac{U_{10}(\omega)}{U_{2\epsilon n}(\omega)} \right| + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{z_{\epsilon 2}(\omega)}{z_{\epsilon 1}(\omega)} \right|, \text{ Нп}$$

$$A_l(\omega) = 20 \lg \left| \frac{U_{10}(\omega)}{U_{2\epsilon n}(\omega)} \right| + 10 \lg \left| \frac{z_{\epsilon 2}(\omega)}{z_{\epsilon 1}(\omega)} \right|, \text{ дБ} \quad (2.17)$$

Ауысу өшуліктерімен қатар байланыс техникасында қорғанулық деп аталатын параметрді де жиі қолданады. Қорғанулық сигнал қуатының сол жердегі бөгеулік қуатына логарифмдік қатынасымен анықталады. Мысалы, тізбектің жақын шетінің қорғанулығы

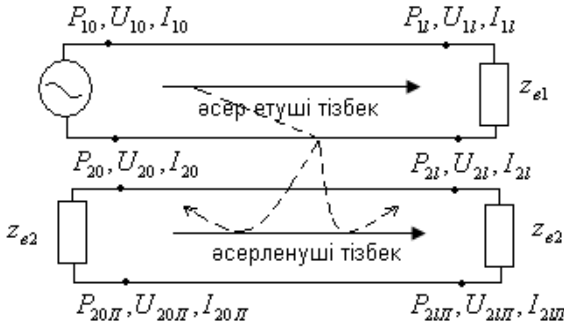
$$A_{ок\frac{1}{2}}(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{20}(\omega)}{P_{20\Gamma}(\omega)} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{20}(\omega)}{P_{10}(\omega)} \right| + A_0(\omega). \quad (2.18)$$

Қашық шеттегі қорғанулық

$$A_{13\frac{1}{2}}(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{2l}(\omega)}{P_{2ll}(\omega)} \right| + A_2(\omega) - \alpha_1 l_1, \text{ Нп} \quad (2.19)$$

$$A_{13\frac{1}{2}}(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{2l}(\omega)}{P_{2ll}(\omega)} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{2l}(\omega)}{P_{1l}(\omega)} \right| + A_l(\omega) - \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{10}(\omega)}{P_{1l}(\omega)} \right|,$$

мұнда A_l – байланыс тізбектерінің өзара өшуліктері.



2.4-сурет

Егер қатар тізбектердегі сигналдар 2.4-суретте келтірілгендей бір бағытта берілмей, қарама-қарсы (2.5-сурет) бағытта берілсе, онда тізбектердің қорғанулықтары басқаша есептеледі.



2.5-сурет

Суретте көрсетілгендей, бірінші тізбекті әсер етуші тізбек деп қарағанда (1)2-бірінші тізбек екінші тізбекке әсер етеді деген белгі), әсер етуші тізбекке ток көзі қосылған тізбек шетін жақын шет деп, ал оған қарсы жақ шетті қашық шет деп алады. Сонда

$$A'_{oz\frac{1}{2}}(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{rl}(\omega)}{P_{20}(\omega)} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{20}(\omega)}{P_{20l}(\omega)} \right| - \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{20}(\omega)}{P_{2l}(\omega)} \right|,$$

$$A_{oz(\frac{1}{2})}(\omega) = A_{oz}(\omega) - \alpha_2 l_2, \quad (2.20)$$

$$A'_{l3(\frac{1}{2})}(\omega) = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{20}(\omega)}{P_{2ln}(\omega)} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{2l}(\omega)}{P_{2ln}(\omega)} \right| + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{20}(\omega)}{P_{2l}(\omega)} \right|,$$

$$A'_{l3(\frac{1}{2})}(\omega) = A_{23}(\omega) + \alpha_2 l_2, \quad (2.21)$$

Сөйтіп, қатар тізбектермен берілетін сигналдар бір бағытта берілмей, қарама-қарсы бағытта берілсе, жақын шеттегі қорғанулық тізбектің өзіндік өшулігіне азайып, ал қашық шеттегі қорғанулық тізбектің өзіндік өшулігіне артады.

2.4. Байланыс тізбектеріндегі өзара әсерлерді азайту әдістері

Байланыс жолы тізбектері мен сигнал берілетін арналардағы өзара әсерлерді азайту үшін мынадай шаралар қолданылады:

1) Өзара әсерлері аз болатын байланыс жолымен сигнал тарату жүйелерінің түрлерін таңдап қолдану. Мысалы, коаксиал кабелі немесе оптикалық кабельді қолдану. Оған қоса, симметриялық кабельдерді жасау технологиясын жақсартып, хабар таратып беру жүйесінің түрлері мен оларды пайдаланылатын тізбектердің түрлерін дұрыс таңдап пайдалану.

2) Симметриялы байланыс жолының әр бөлігіндегі бөгеуліктер, басқа бөлігіндегі бөгеулікке қарама-қарсы болып, бірін-бірі жоятын шараларды қолдану. Мысалы, әуе байланыс жолымен симметриялы кабель тізбектеріндегі сымдардың орындарын ауыстырып отыру. Кабельді жасағанда ондағы тізбектерді есілетін етіп,

ал олардың құрылыстық ұзындықтарын жалғаған кезде, тізбектердің сымдарының орындарын ауыстырып отыру.

3) Өзара әсерлердің шамасын бір жерден (мысалы, күшейткіш бөлігінің шетінде) өлшеп, соны азайтатын шара қолданылады. Күшейткіш орналасқан жерде сол күшейткіш бөлігінің қорытынды әсерін өлшеп, сол әсерге қарсы байланыс контурын қосады.

4) Тізбекті, бірнеше тізбек тобын немесе тұтас кабельді металл қабықшамен экрандау арқылы сол тізбекті, тізбек тобын немесе кабельді өзара әсерден қорғайды. Мұнда, әсер токтар экранда ұсталып әлсіреп азаяды.

5) Көп тізбекті телефон кабелінің ішінен ауысу өшуліктері үлкен (жоғары жиіліктегі норманы қанағаттандыратын) тізбектерді таңдап алып, оларды жоғары жиілік сигналдарын беруге пайдаланады. Бұл әдіс қалалық телефон желісінде қолданылатын көп тізбекті кабельдің кейбір тізбектерін көп каналды жүйеде пайдалану үшін қолданылады.

Бұл әдістердің әрқайсысы өзінің орындалу технологиясы, өзара әсерден қорғанулығының тиімділігі, сенімділігі, қандай жиілік ауқымында пайдаланатындығы, қолданылатын сигнал беру жүйесі, тексеру әдісінің қолайлығымен, т.б. сипатталады. Байланыс жолдарының түрлеріне және олармен сигнал тарату жүйелеріне қарай әр түрлі әдістер қолданылады.

2.5. Әуе байланыс жолы тізбектеріндегі өзара әсерді азайту

Бұдан бұрын айтылғандай, әуе байланыс жолы тізбектерінің арасындағы электрлік және магниттік байланыс коэффициенттері

$$K = \frac{13900}{\ln^2\left(\frac{a}{r}\right)} \ln \left[\frac{a_{13}a_{24}}{a_{14}a_{23}} \right] 10^{-12}, \text{ Ф/км} \quad (2.22)$$

$$m = 200 \ln \left[\frac{a_{13}a_{24}}{a_{14}a_{23}} \right] 10^{-6}, \text{ Гн/км} \quad (2.23)$$

Тізбектегі сымдарының орындары ауыстырылмаған байланыс жолдарының бөліктеріндегі тікелей әсерден пайда болған бөгеулік токтар қосылып, қорытынды ток белгіленген мөлшерден артық болып кетуі мүмкін.

Қатар салынған екі тізбектің біреуінің сымдарының орындарын ауыстырса, онда сол жердің екі жағындағы токтардың бағыттары қарама-қарсы болып, бірін-бірі азайтады. Егер осы көршілес екі бөлік бірдей болса, онда әсер токтары бірін-бірі толық жоюы мүмкін. Сөйтіп, тікелей әсерден тұратын бөгеулік токты азайтуға болады.

Әуе байланыс жолы тізбектерінің арасындағы өзара әсерді талдап қарағанда, бөгеулік ток фазасының өзгеруі сымдардың электрлік орнын алмасуға әкелетіні айтылған болатын. Сонда бөгеулік токтардың таңбалары ауысып, сымдардың орындарын ауыстырғандай нәтиже береді. Сигналдық токтың жиілігі жоғарылаған сайын, бөгеулік токтардың таңбалары ауысатын байланыс тізбегінің ұзындығы азая түседі.

Бөгеулік токтардың таңбаларының өзгертін байланыс жолының ұзындығын, сымдардың орын ауыстыру қадамы немесе орын ауыстыру бөлігі деп атайды.

Сөйтіп, байланыс жолының барлық ұзындығын жұп санды бірдей бөліктерге бөліп, сол жерлерде сымдардың орындарын ауыстырып отырса, көршілес бөліктердегі бөгеулік токтар біріне-бірі қарсы бағытталып, олар бірін-бірі жояды.

Дегенмен, әртүрлі себептермен бөгеулік ток толық жойылмайды. Сымдардың орындары ауыстырылмаған байланыс жолына балама болатындай ұзындықтағы ауысу тогы бар ұзындықты, электрлік теңдестірілмеген ұзындық деп атайды. Егер қатар екі тізбектің екеуінің де сымдарын бір жерде ауыстырса, онда ол ауыстыру орнында токтар 360^0 -қа айналып, сымдардың орын ауыстыру әсері жойылып, токтар бірін-бірі жоймай, қайта қосылып көбейеді. Сөйтіп, тізбектердің сымдары орындарын ауыстырмаған тізбектердей болады. Сонымен, бір тізбектегі сымдардың орындарын ауыстырса, ол жерде екінші тізбектің сымдарының орындарын ауыстырмау керек.

Бірақ іс жүзінде, кейде екінші тізбектегі сымдардың да орындарын ауыстыруға тура келеді. Себебі, ол екі тізбектермен қатар басқа тізбектерде де болады. Сондықтан, біріне-бірі әсерлерін тигізетін барлық тізбектерді бірдей қарап, олардағы сымдардың орындарын ауыстыру сұлбасын құрады.

Барлық тізбектердегі сымдардың орындарын ауыстыруының толық циклі сыятын байланыс жолының бөлігін орын ауыстыру секциясы деп атайды. Әр тізбектің өзінің орын ауыстыру сұлбасы болады.

Тізбектердегі сымдардың орындарын ауыстырғанда секция 2^n бөлікке бөлінеді. Ол бөлікті бөлшек (элемент) деп атайды. Осы сұлбаның бойында әр түрлі 2^n – I орын ауыстыру сұлбасын жасауға болады. Мысалы, секция 8 бөлшектен тұрса, онда $n=3$, $2^3-1=7$. Сөйтіп, әр түрлі 7 орын ауыстыру сұлбасы болады. Сол сияқты $n=5$ болса, онда секция 32 бөлшектен тұрып, $2^5-1=31$ орын ауыстыру сұлбасы болады. Әр түрлі орын ауыстыру сұлбасын көрсету үшін индекс деген түсінік кіргізеді. Индекс орын ауыстыру бөлшегінің реттік санына сәйкес болады. Іс жүзінде пайдаланылатын негізгі индекстер 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 болады. 2.6-суретте қатар салынған 15 тізбектің 16 бөлшектік орын ауыстыру сұлбасы көрсетілген.

Белгілеп қабылданған ереже бойынша ең кіші бөлшек (элемент) ұзындығы 100 м. Секция құрайтын бөлшектер санына қарай, олар: 128, 64, 32, 16, 8 бөлшекті болады. 128 бөлшектен тұратын секцияны негізгі секция деп, ал басқаларын қысқартылған секция деп атайды. Қысқартылған секциялар берілген байланыс жолына негізгі секциялардың бүтін саны сыймағанда қолданылады.

Күнделікті жобалау жұмыстарында қолдану үшін әрбір тізбектің орналасқан орнына қарай белгілі схемалар таблицасы болады. Ол осы таблицадағы сымдардың орын ауыстыру схемасының ең аз болатын түрін қолданғандағы, ауысу өшулігінің ең көп болуын қамтамасыз етеді.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1		x			x	x		x		x			x	x	x
2	2			x		x		x		x		x			x	x
3	4					x				x				x		
4	8								x							
5	1-2		x		x		x		x		x		x		x	x
6	1-4		x	x			x	x		x		x	x		x	x
7	1-8		x		x		x		x		x		x	x	x	x
8	2-4			x							x				x	x
9	2-8			x			x					x				x
10	4-8					x							x			
11	1-2-4		x		x		x		x	x			x	x		x
12	1-2-8		x				x			x	x			x		x
13	1-4-8		x	x			x	x		x		x		x	x	x
14	2-4-8			x				x			x				x	x
15	1-2-4-8		x		x		x		x		x		x	x		x

2.6-сурет

Әуе байланыс жолының екі түрлі профиліне арналған сұлбалар кестесі 2.7-суретте берілген.

<u>2-4</u>	<u>8-16-32-64</u>	<u>2-4</u> 8-16-32-64 (2-4) 16	<u>1-128</u> 16-32 (1-128) 8-64	<u>1/2-1-32</u> 8-16-64 (4-8) 4	<u>1-2-32-64</u> 32-64 (1-2-32-64) 8-16-32
<u>8</u>	<u>4</u>	<u>1-4-16-32</u> 8-16 (1-4-16-32)	16-64	8-32 (1-2-4-16)	<u>2</u> 8-32-64 (2-4-8-64)
<u>1-2-32-64</u>		8-32 (4-8-32)	16-32-64 (1-4)	8-16 (1-2)	16-64 (4-16)

2.7-сурет

Кестедегі бөлшектің үстіндегі индекстер түсті металдан жасалған сым тізбектері үшін, бөлшектің астындағысы дыбыс жиілігіне арналған болат сым үшін, жақшаның ішіндегі жоғары жиілікте (көп арналы) пайдаланылатын болат сым үшін берілген.

2.6. Төменгі жиіліктік кабельдегі өзара әсерді азайту

Бұдан бұрын айтылғандай, дыбыстық жиілік ауқымында пайдаланылатын төменгі жиіліктік кабель тізбектеріндегі өзара әсердің дені сыйымдылықтық (электрлік) әсерден тұрады. Төменгі жиілікте магниттік әсердің аз болуы себепті оны елемеуге болады. Сондықтан кабель ұзындығы қысқа болса (құрылыстық ұзындық), өзара әсерлердің жақын шеттегісімен қашық шеттегісі шамалас болып, оларды азайту үшін кабельді симметриялауды тек қана сыйымдылықтық байланысты азайту әдісімен жүргізуге болады.

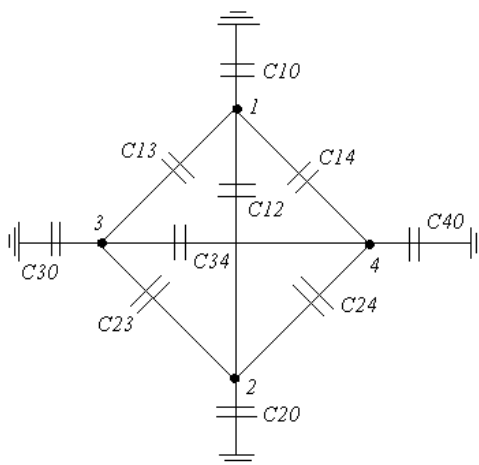
Төменгі жиіліктік кабельді симметриялау ұзындығын симметриялау қадамы деп атайды. Оның ұзындығы 1,7...2 км.

Төменгі жиіліктік кабельді симметриялаудағы негізгі мәселе жұлдызша әдісімен есілген төрттік сымдар тобының ішіндегі өзара әсерді азайту болып табылады. Әр түрлі топтардың арасындағы өзара әсерді азайту үшін қарсы байланыс контурлары қолданылады.

Төменгі жиіліктік кабельдерді симметриялау үш кезеңде орындалады: симметриялау қадамы ішінде, симметрияланған қадамдары бірімен-бірін жалғағанда және күшейту бөлігін құрып болғанда.

Бірінші және екінші кезеңдерде өзара әсерді азайту үшін негізінен сымдардың орындарын ауыстыру әдісі қолданылады. Мұнда сыйымдылықтық байланыс коэффициентімен сыйымдылық асимметрияны азайтуға тырысады.

Жұлдызша әдісімен топталып есілген екі тізбектің сымдарының аралары және сымдар мен жер аралығындағы сыйымдылықтар (2.8-сурет) сыйымдылықтық байланыс коэффициенті мен сыйымдылық асимметрияны анықтайды.



2.8-сурет

Бірінші және екінші негізгі тізбектердің арасындағы байланыс коэффициенті K_1 сол сияқты бірінші негізгі тізбекпен, екі тізбектен жасалған жасанды тізбек арасындағы байланыс коэффициенті K_2 , екінші негізгі және жасанды тізбек арасындағы байланыс коэффициенті K_3 .

$$\begin{aligned} K_1 &= (C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23}); \\ K_2 &= (C_{13} + C_{14}) - (C_{23} + C_{24}); \\ K_3 &= (C_{13} + C_{23}) - (C_{14} + C_{24}). \end{aligned} \quad (2.24)$$

Бірінші тізбекпен жер арасындағы сыйымдылық асимметриясы l_1 , екінші негізгі тізбекпен жер арасындағы сыйымдылық асимметриясы l_2 , жасанды тізбекпен жер арасындағы сыйымдылық асимметриясы l_3 .

$$\begin{aligned} l_1 &= C_{10} - C_{20}; \\ l_2 &= C_{30} - C_{40}; \\ l_3 &= (C_{10} + C_{20}) - (C_{30} + C_{40}). \end{aligned} \quad (2.25)$$

Сыйымдылық байланыс коэффициенттерімен сыйымдылық асимметрияларының теңдеулерінен көрінетіні – олардың таңбалары оң да, теріс те болулары мүмкін.

Сымдардың орындарын ауыстыру арқылы симметриялау, кабельдердің бір бөліміндегі байланысты екінші бөліміндегі байланысқа қарсы қойып, олардың қорытынды байланысын азайтуға болады.

Бір жұлдызша әдісімен есілген топтағы сымдардың орындарын алмастырудың сегіз түрлі сұлбасы болады. Осы схемалардың шартты белгілерін оператор деп атайды. Мысалы, Х·Х операторы бойынша бірінші негізгі тізбек сымдары орын ауыстырады, екінші негізгі тізбек сымдары орын ауыстырмайды, үшінші тізбек сымдары орындарын ауыстырады.

Төрттік сым тобының сымдарының орын ауыстыру сұлбасымен олардағы сыйымдылық байланыс коэффициенттері мен сыйымдылық асимметриялар 2.9-суретте көрсетілген.

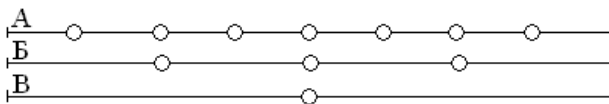
Төрттік сым топтарының аралығындағы өзара байланыстарды азайту үшін, олардың байланыс коэффициенттері шамалас төрттіктерді таңдап алып, одан кейін олардың таңбаларына қарай сегіз сұлбасының бірімен жалғайды, яғни төрттіктерді араластырып жіберуге де болады.

Оператор	•••	Х••	•Х•	ХХ•	••Х	Х•Х	•ХХ	ХХ
Сым жалғау сұлбасы								
K_1	$K_1'+K_1''$	$K_1'-K_1''$	$K_1'-K_1''$	$K_1'+K_1''$	$K_1'+K_1''$	$K_1'-K_1''$	$K_1'-K_1''$	$K_1'+K_1''$
K_2	$K_2'+K_2''$	$K_2'-K_2''$	$K_2'+K_2''$	$K_2'-K_2''$	$K_2'+K_3''$	$K_2'-K_3''$	$K_2'+K_3''$	$K_2'-K_3''$
K_3	$K_3'+K_3''$	$K_3'-K_3''$	$K_3'+K_3''$	$K_3'-K_3''$	$K_3'+K_2''$	$K_3'-K_2''$	$K_3'+K_2''$	$K_3'-K_2''$
I_1	$I_1'+I_1''$	$I_1'-I_1''$	$I_1'+I_1''$	$I_1'-I_1''$	$I_1'+I_2''$	$I_1'-I_2''$	$I_1'+I_2''$	$I_1'-I_2''$
I_2	$I_2'+I_2''$	$I_2'-I_2''$	$I_2'+I_2''$	$I_2'-I_2''$	$I_2'+I_1''$	$I_2'-I_1''$	$I_2'+I_1''$	$I_2'-I_1''$
I_3	$I_3'+I_3''$	$I_3'-I_3''$	$I_3'+I_3''$	$I_3'-I_3''$	$I_3'+I_3''$	$I_3'-I_3''$	$I_3'+I_3''$	$I_3'-I_3''$

2.9-сурет

Сымдардың орын ауыстыру сұлбасын таңдауды ең көп бар төрттіктен бастайды. Ең алдымен жасанды тізбекті және ондағы сымдардың орындарын керек пе, керек емес пе, соны анықтау керек. Ол үшін К' пен І'-ді К'' мен І''-пен салыстырады. Сымдарының орын ауыстыру керектігін К' мен К'' таңбаларына қарап анықтайды.

Сымдардың орындарын ауыстырумен байланыс коэффициентін азайтуды симметриялау секциясында жеті, үш және бір нүктелік сұлбамен жүргізеді.



2.10-сурет

Барлық сым талшықтарын тікелей жалғайтын муфталарды «тікелей муфталар», сымдардың орындарын ауыстыратын муфталарды «симметриялаушы муфталар» деп атайды. Сымдардың орындарын ауыстырудан басқа, оған қоса байланыс коэффициенттерін азайту үшін конденсатор қосатын муфталарды конденсаторлы муфталар дейді. Сөйтіп, бір симметриялау секциясында бір конденсаторлы алты немесе үш симметриялаушы муфталар болады. Конденсаторлы муфтада алдымен тізбектің сымдарының орындарын ауыстыру арқылы симметриялап, одан кейін егер байланыс коэффициенттері азайып нормаға түспесе, одан қалған байланыс коэффициенттерін азайту үшін конденсатор таңдап алып тізбекке қосады.

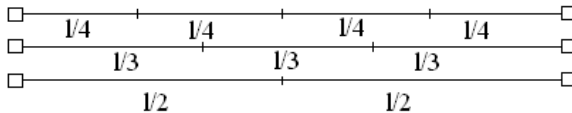
Симметриялаудың екінші кезеңінде симметриялау секцияларын бірімен-бірін жалғағанда тізбектердің араларындағы ауысу өшуліктерін өлшеп, егер аз болса, көбейту үшін сымдардың орындарып ауыстырып симметриялайды. Станцияға жақын он екі секцияны жақын шеттегі ауысу өшулігін өлшеу нәтижесінде сымдардың орнын ауыстырып симметриялайды. Ауысу өшулігін 800 Гц жиілігінде өлшейді.

Үшінші кезеңде, егер күшейткіш бөлігін құрып болғаннан кейін өлшенген ауысу нормадан (65 дБ) төмен болса, онда өзара әсерді азайту үшін қарсы байланыс контурларын қосады.

2.7. Жоғары жиілікті кабельдегі өзара әсерді азайту

Жоғары жиілікте қолданылатын кабельдер негізінен екі кабельді бір жолақты жүйеде пайдаланылады. Жоғары жиіліктік кабельдерді симметриялау үшін, көбінесе үзіліссіз сигналдардың ауысу өшулігін өлшеп, симметриялау нәтижесінде өшулікті қанағаттандырарлық мөлшеріне жеткізеді. Кабель байланыс жолының күшейту бөлігіндегі өзара әсерді азайту үшін мынадай шаралар қолданылады. Байланыс жолының жақын шетіне салынатын кабельдерді ауысу өшуліктері жоғары $A_0(\omega) \geq A_{он}$ құрылыстық ұзындықтарды таңдап салады. Одан кейінгі күшейткіш бөлігінің ортасында шоқталған симметриялау жасайды. Қашық шеттегі ауысу өшулігін өсіру үшін, тізбек сымдарын барлық муфталарда орын алмастыру ($X_{\cdot\cdot}$ операторымен) әдісін, оған қоса шоқталған симметриялауды қолданып, керек болған жағдайда күшейткіш бөлігіндегі өзара әсерлік токты жоятын қарсы байланыс контуры қосылады. Ұдайы ($X_{\cdot\cdot}$ операторымен) орын алмастыру әдісі үшінші тізбек арқылы өтетін әсерлік токты да азайтады.

Сымдардың орын алмастыру схемасын анықтау кабельдердің сапаларына және ондағы қолданылатын хабар тарату жүйесіне қарай күшейту бөлігінің бір, екі және үш жерінде жүргізіледі.

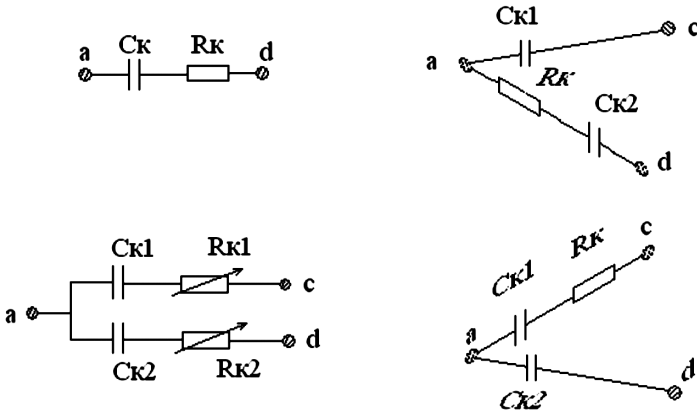


2.11-сурет

Үш жерден симметриялағанда екі түрлі әдіс қолданылады: біреуі – алдымен екі шетіндегісінде, одан кейін ортаңғысында; ал екіншісі – барлық үш нүктеде бірден жүргізіліп, сымдардың орын ауыстыру операторлары бірден тандалып алынады. Бірақ, бұл әдісте $N_0 = 8^n / m$ комбинациялық өлшеу жүргізу керек болады. Мұнда, n – байланыс жолының неше бөліктен тұратыны (мысалы, $n=4$), m – төрттік сым топтарының саны (мысалы, $m=4$), сонда $N_0 = 8^3 \cdot 4 = 2048$.

Егер сымдардың орындарын ауыстыру, барлық түрін қарап шыққанда, барлығында да ауысу өшулік қойылған талапты қанағаттанарлықтан (73,8 дБ) төмен болса, онда қорғаулықтың қамтамасыз етілмейтін себебін анықтау керек. Олардың бірнеше себептері бар. Солардың біреуі – сымдардың орын ауыстыру әдісін дұрыс таңдап алмағандықтан. Мысалы, n аз болғанда қолданылатын схемалар саны жеткіліксіз болуы. Екіншісі, сигнал жиілігі өскен сайын қосалқы әсерлер тікелей әсерден тезірек өсіп, оларды сымдардың орын ауыстыру әдісімен азайтуға мүмкіндік болмауы. Мұндай жағдайда жақын және шеттегі әсерлерді азайту үшін, байланыс жолының күшейту бөлігінің аралығындағы жинақталған симметриялау әдісі қолданылады. Ол үшін күшейту бөлігінің арасында бір немесе екі жерден тізбектер арасына қарсы байланыс контурларын қосады.

Қарсы байланыс контурларындағы ток бөгеулік токты барлық жиілік ауқымында азайтып жоюы керек. Бірақ іс жүзінде ондай толық жою болмай, тек азайтумен ғана қанағаттануға тура келеді. Ондай қарсы байланыс контурларының әр түрлі сұлбалары 2.12-суретте келтірілген.



2.12-сурет

Мұндай сұлбаларды құру үшін, тізбек сымдарының араларына сыйымдылық және кедергілік қораптарын қосып, олардың шамаларын ауысу өшуліктерін өлшеу арқылы таңдап алады.

Қызмет етілетін күшейткіштер арасындағы әсерді азайту әдісі көбінесе қашық шеттегі ауысу өшулігін өсіру үшін қолданылды. Себебі, бұл әдіс екі кабельді бір жолақты жүйеде қолданылады. Бұл әдісте қызмет етілетін күшейткіштер аралығындағы бөгеулік токты жою үшін, қабылдау орнында бөгеулік токқа қарсы ток туғызатын құрылғы қосылады. Бұл әдіспен тек қана тікелей байланыс әсерінен болатын бөгеулік ток емес, қосалқы бөгеулік токтарды да жоюға болады.

Қарсы байланыс токты туғызатын құрылғының қарсы байланыс контурларынан айырмашылығы, ол өте күрделі екі ұштылық немесе төрт ұштылықтардан тұрады. Олар бірнеше буынды болып жасалынады. Құрылғының сыртындағы қорытынды ток әсер етуші бөгеулік токтай, бірақ оған қарсы бағытталған болады.

2.8. Коаксиал тізбектерді өзара әсерден қорғау

Көп коаксиал тізбекті кабельмен хабар сигналын тарату үшін бір кабель бір жолақты жүйемен жүргізіледі.

Бір кабельдің ішіндегі коаксиал тізбектер екеуден артық болғанда, ауысу өшулігі мынадай формуламен анықталады:

$$A_0 = 2lg \left| \frac{2z_3 z_6}{z_{12}^2} \gamma_n \right|, \partial B \quad (2.26)$$

$$A_l = 2lg \left| \frac{z_3 z_6}{z_{12}^2} \cdot \frac{n}{l} \right|, \partial B \quad (2.27)$$

мұнда l – байланыс жолының ұзындығы, n – кабельдегі коаксиал тізбектер саны; z_{12} – байланыстық кедергі, z_3 – үшінші тізбектің толық кедергісі.

Әдетте, кабелдің құрылыстық ұзындығы 0,3...0,6 км, яғни $\frac{1}{l} \leq 3,5$, жиілік $f \geq 300$ кГц болғанда $|2\gamma| > 12$. Сондықтан $A_{оку} > A_{е.к.ұ}$. Сол себепті ауысу өшулігін талдап қарағанда, мысал ретінде тек $A_{е.к.ұ}$ қашық шеттегісін ғана қараса болады. Оны өсіру үшін z_3 -ті өсіріп немесе z_{12} – азайту керек.

z_3 -ті өсіру үшін коаксиал тізбекке екі қабат (қалыңдығы 0,15 мм-дей) темір экран орайды. Осындай экран үшінші тізбектің индуктивтігін 1,3 көбейтеді (өйткені $\mu_{ст} \approx 100$).

$$\text{Сонда} \quad L_{3\varnothing} = 4\mu_{cm} \ln \left| \frac{r_{cm} t_{cm}}{r_{cm}} \right| 10^{-4}, \quad (2.28)$$

мұнда r_c – сыртқы сымның сыртқы радиусы, $t_{ст}$ – темір экранның қалыңдығы.

$$z_{12\varnothing} = z_{12} L_z \sqrt{(L_z + L_6)} = \sqrt{\frac{NL_z}{2\pi(L_z + L_6) \sqrt{z_6 z_c}}}, \quad (2.29)$$

N – таблицалық коэффициент, r_b – сыртқы сымның ішкі радиусы.

$$L_z = \mu_{cm} 4\pi r_c \frac{t_{cm}}{h^2} 10^{-4}, \text{ Гн/км} \quad (2.30)$$

Бұл үшінші тізбектің ұзын бойлық индуктивтігі h – экран лентасын орау қадамы.

Үшінші тізбектің ішкі индуктивтігі

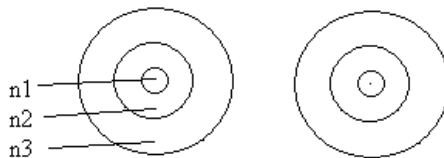
$$L_e = 4\mu_{cm} \ln\left(\frac{r_c + t_{cm}}{r_c}\right) 10^{-4}, \text{ Гн/км} \quad (2.31)$$

Экрандалған коаксиал тізбектің ауысу өшулігі экрандалмаған тізбектігінен 30...50 дБ-дей артық.

2.9. Жарық өткізгіш талшық арналарының өзара әсерден қорғанулығы

Бұдан бұрын айтылғандай, оптикалық кабельдегі жарық өткізгіштер арасындағы өзара әсерлер өте аз және кездейсоқ сипаттамада болады.

Өзара әсерлер оптикалық талшықтардың механикалық қорғаушы қабығының экрандаушы қасиетінен едәуір азайып әлсірейді.



2.13-сурет

Өзара әсердің ең көп болатыны, оптикалық кабельдегі талшықтардың қабат-қабат болып, бір қабатының сыртына келесі қабаты орналасқан құрылысында болады.

Сигнал энергиясының толқыны қорғаушы қабық арқылы өткенде, бірінші талшықтан n_2 және n_5 арқылы өтіп, екінші талшыққа n_3 және n_2 арқылы жетеді.

Қорғаушы қабықта энергия қабықтағы жұтылатын энергия $N_{ж}$ және шағылысып кері тебу энергияларының N_{13} пен N_{32} салдарынан әлсіреп азаяды. Сонда шығындалатын энергия

$$\begin{aligned}
 N &= N_{жс} N_{13} N_{32} N_{13} , \\
 N_{жс} &= 10^{-0,5\alpha_{жс} 2t_{жс}} = 10^{-0,1\alpha_{жс} t_{жс}} , \\
 \alpha_{жс} &= \frac{8,69 K \delta}{2} = \frac{8,69 \pi \delta n_3}{\lambda} , \text{ дБ}
 \end{aligned}
 \tag{2.32}$$

мұнда δ – диэлектриктік қабықтағы бұрыштық диэлектриктік бұрыш, $t_{жс}$ – қорғаушы қабық қалыңдығы; $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ – толқындық сан; λ – толқын ұзындығы; n_3 – қабықтың шағылыс көрсеткіші.

Мысалы, $n_3 = 1,5$; $t_{жс} = 0,5 \text{ мм}$, $\delta = 5 \cdot 10^{-3}$; $\lambda = 1,3 \text{ мкм}$ болғанда $\alpha_{жс} = 157,42 \cdot 10^3$ дБ/м, $N_{жс} \approx 0,2 \cdot 10^{-15}$, сонда $A_{жс} = 2t_{жс} \alpha_{жс} = 157,42$ дБ болады.

Қорғаушы қабықтың қорғаушылығы байланыс сигналын бір бағытта ғана емес, қарама-қарсы бағыттарда бергенде де жеткілікті болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Байланыс тізбектеріндегі өзара электромагниттік әсерлерді азайтудың қандай әдістері бар?
2. Әуе байланыс жолы тізбектеріндегі өзара әсерлер негізінен неге байланысты болады?
3. Әуе байланыс жолы тізбектеріндегі сымдардың орын ауыстыру индексі деп нені айтады? Ол неге байланысты?
4. Әуе байланыс жолы тізбектеріндегі сымдардың орын ауыстыру секциясы деп нені айтады? Оның қандай түрлері болады?
5. Әуе байланыс жолы тізбектеріндегі электрлік және механикалық орын ауыстырулар.
6. Симметриялы кабельдерді жасау кезінде өзара әсерді азайту шаралары.
7. Төменгі жиіліктік кабельдегі өзара әсерлерді азайту әдістері.

8. Сыйымдылық байланыс коэффициентімен сыйымдылық асимметрияларын азайту әдістері.
9. Жоғары жиіліктік кабельдердегі өзара әсерді азайту әдістері.
10. Қарсы байланыс контуры қай жерде, қалай қосылады?
11. Көп коаксиал тізбектерді өзара әсерден қорғау әдістері.
12. Оптикалы талшықтардың арасындағы өзара әсерден қорғанулығы.

3. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫН ЖОБАЛАУДАҒЫ БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕРІ

3.1. Симметриялы байланыс кабелінің параметрлерін есептеу

Берілген симметриялы тізбек материалдары, өлшемі және жиілік ауқымына байланысты симметриялы кабелінің біріншілік және екіншілік параметрлерін есептеп, олардың жиілікке байланысты өзгеру диаграммасын салу.

Әдістемелік көрсеткіш.

1. Симметриялы кабель тізбегінің айнымалы токтағы актив кедергісі

$$R_z = R_0 + R_{c.э} + R_{ж.э} + R_m,$$

мұнда R_0 – симметриялы кабель тізбегінің тұрақты токтағы кедергісі

$$R_0 = 2 \frac{\ell}{S} \rho \text{ Ом/км},$$

мұнда ρ – кабель сымның өзіндік кедергісі,

ℓ – тізбек ұзындығы, S – сымның көлденең қимасы;

$R_{c.э}$ – кабель сымындағы токтың жиілікке байланысты сыртқа тебу әсерінен болатын қосымша кедергі;

$R_{ж.э}$ – кабель сымындағы токтың жиілікке байланысты ішкі жағына ығысу әсерінен болатын қосымша кедергі;

R_m – тізбек маңындағы басқа тізбектерді және металл қабықтарды қыздыруға шығатын энергиядан болатын қосымша кедергі.

Сонда кедергі

$$R_{\sim} = 2R_0\chi \left[1 + F(kr) + \frac{PG(kr)\left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - H(kr)\left(\frac{d}{a}\right)^2} \right] \text{ Ом/км},$$

мұнда χ – есілу коэффициенті (1,01÷1,07);

$F(kr)$, $G(kr)$, $H(kr)$ – сыртқа тебу және жақындық әсерлер коэффициенттері, оларды kr -ге байланысты кестеден алуға болады.

$$K = \sqrt{\omega \mu_r \sigma},$$

мұнда P – маңайдағы тізбектер байланысты жұптық есілеуде 1-ге, жұлдызша есілеуде 5-ке тең болады;

R_m -ді 200 кГц-ке шешіп, кестеден одан жоғарғы жиілікті $\sqrt{f/200000}$ көбейтіп алады.

2. Индуктивтік

$$L = \left[4\ell n \frac{a-r}{r} + \mu_r Q(kr) \right] \cdot 10^{-4},$$

мұндағы $Q(kr)$ сымдардың ішкі индуктивтерінің жиілік өскен сайын азаю әсері, оны kr -ге байланысты кестеден алады.

3. Кабель тізбегінің жұмысты жылулылығы

$$C = \chi \frac{\varepsilon_r}{36\ell n \left(\frac{a-r}{r} \psi \right)} 10^{-6},$$

мұнда ψ – тізбектің көрші тізбектерімен кабель қабығына жақындығынан өзгеру коэффициенті (шамамен 0,65-ке тең).

4. Оқшаулағыш (изоляция) өткізгіштігі

$$G = G_0 + G_{\infty} \text{ Сим/км},$$

мұнда G_0 – кабель тізбегі оқшаулағышының тұрақты тоқтағы өткізгіштігі. Кабель тізбектеріндегі тұрақты тоқтағы өткізгіштігі аз болатындықтан, оны ескермеуге болады. Сонда

$$G = \omega \cdot c \cdot \operatorname{tg} \delta \text{ Сим/км},$$

мұнда $\operatorname{tg} \delta$ – тангенстік шығындық бұрышы, оны оқшаулағыш материалына байланысты таблицадан алады.

5. Симметриялы кабель тізбегінің өшулік коэффициенті (λ) мен фазалық коэффициенті; (β) - төменгі жиілік (20кГц-ке шейін) ауытқышында таралу коэффициентінің теңдеуімен есептеледі

$$\gamma = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)} = \alpha + i\beta.$$

20 кГц-тіктен жоғары жиілікте өшулік коэффициенті мен фазасының коэффициентін қысқартылған теңдеулермен есептеуге болады.

$$\alpha = R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}},$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}.$$

6. Толқындық кедергі

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}} \text{ Ом}.$$

7. Сигналдың таралу жылдамдығы

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ км/с}.$$

3.2. Коаксиалды байланыс кабелінің параметрлерін есептеу

Берілген коаксиал тізбектерімен жиілік ауқымына байланысты коаксиал тізбек параметрлерінің жиілікке байланысты өзгеру диаграммасын тұрғызу.

Әдістемелік көрсеткіш.

Коаксиалды байланыс кабельдері негізінен жоғары жиілікте (60 кГц-тен жоғары) пайдаланатындықтан, оның параметрлерін осы жоғарғы жиілікке байланысты есептейді.

1. Актив кедергі

$$R = R_a + R_b = \frac{\sqrt{2}K}{4\pi\sigma} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} \right) \text{ Ом/км},$$

мұнда R_a – ішкі сым кедергісі, R_b – сыртқы сым кедергісі, r_a – ішкі сым радиусы, r_b – сыртқы сымның ішкі радиусы.

2. Индуктивтік

$$L = L_a + L_{\sigma} + L_{en} = \left[\frac{\sqrt{2}\mu}{4\pi K} \left(\frac{1}{r_a} + \frac{1}{r_b} \right) + 2\ell n \frac{r_a}{r_b} \right] \text{ Гн/км}.$$

3. Электрлік сыйымдылық

$$C = \frac{\varepsilon_r}{18 \lg \frac{r_b}{r_a}} \cdot 10^{-6} \text{ Ф/км}.$$

4. Оқшаулағыш өткізгіштігі

$$G = \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta \text{ Сим/км}.$$

5. Өшулік коэффициенті

$$\alpha = 8,69 \left(\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) \text{ Нп/км}.$$

6. Фазалық коэффициент

$$\beta = \omega \sqrt{LC} \text{ рад/км}.$$

7. Толқындық кедергі

$$Z_B = \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ Ом}.$$

8. Сигнал беру жылдамдығы

$$V = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ км/с}.$$

3.3. Оптикалы-талшықты байланыс кабелінің параметрлерін есептеу

Оптикалы-талшықты байланыс кабелінің негізгі параметрлерін есептеу.

Есептеу үшін берілгендері

n_1, n_2 – өзекше мен қабықшадағы сыну коэффициенттері;

d – талшық өзекшесінің диаметрі;

λ – толқын ұзындығы;

ε, ω – диэлектрлік және магниттік өтімділіктер;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенстік шығындық бұрышы.

Әдістемелік көрсеткіш

1. Нормаланған жиілік

$$v = \left(\frac{2\pi_1}{n_1} \right) \sqrt{n_1^2 + n_2^2} .$$

2. Бір модтық тәртіптегі толқын ұзындығы

$$\lambda_1 = \frac{2d_1}{n_1} \sqrt{n_1^2 + n_2^2} .$$

3. Бос кеңістіктегі толқындық вектор

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} .$$

4. Таралу тұрақтылығының ауқымы

$$n_2 K < \beta < n_1 K .$$

5. Модтар саны

$$N = 0,5v^2 .$$

6. Фазалық жылдамдық

$$\frac{C}{n_1} \leq V_\phi \leq \frac{C}{n_2} .$$

7. Топтық жылдамдық

$$C \frac{1-\Delta}{n_1} \leq V_{ep} \leq \frac{C}{n_1} .$$

8. Сандық апература

$$NA = \sqrt{n_1^2 + n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} .$$

9. Сәуленің түсу бұрышы

$$\theta = \arcsin(NA) .$$

10. Дисперсия

$$\Delta\tau = \frac{\Delta n_1}{C} \ell .$$

11. Сигнал өткізу ауқымы

$$\Delta F = \frac{1}{\Delta\tau} .$$

12. Өшулік

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_n .$$

мұнда α_p – шашырау өшулігі;

α_n – жұтылу өшулігі;

$$\alpha_p = 4,34 \frac{8\pi^3 (n_1^2 - 1)}{3\lambda^4} K \cdot \beta \cdot T \cdot 10^3 ,$$

мұндағы $n_1 = 1,48 \div 1,50$; $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Больцман тұрақтылығы.
 $T = 1500\text{K}$ - әйнектің қабу температурасы $\beta = 8,1 \cdot 10^{-11}$ кварцты сығылу коэффициенті.

$$\alpha_n = \frac{8,69\pi n_1}{\lambda} \text{tg} \delta .$$

3.4. Тізбектердің өзара әсер параметрлерін есептеу

Байланыс тізбектерінің арасындағы электромагниттік байланыстарды және ауысу өшуліктерін есептеу.

Әдістемелік көрсеткіш.

Екі тізбек арасындағы электрлік және магниттік байланыс

$$K_{12} = (g_{12} + i\omega K_1) Z_{B1} \cdot Z_{B2}, \text{ Ом}$$

$$M_{12} = r_{12} + i\omega m_1, \text{ Ом}$$

Тізбектердің жақын және қашық шеттеріндегі ауысу өшуліктері

$$N_{12} = (g_{12} + i\omega K_1) Z_{B1} \cdot Z_{B2} + (r_{12} + i\omega m_1), \text{ Ом}$$

$$F_{12} = (g_{12} + i\omega K_1) Z_{B1} \cdot Z_{B2} - (r_{12} + i\omega m_1), \text{ Ом}$$

Симметриялы тізбектердің арасындағы жақын және қашық шеттердегі ауысу өшуліктері

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{2}{N_{12}} \cdot \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{1 - \ell^{(\gamma_1 + \gamma_2)\ell}} \right|, \text{ дБ}$$

$$A_\ell = 20 \lg \left| \frac{2}{F_{12}} \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{1 - \ell^{(\gamma_1 - \gamma_2)\ell}} \right|, \text{ дБ}$$

Егер тізбектер бірдей болса, онда

$$Z_{B1} = Z_{B2} = Z_B, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma,$$

$$A_0 = 20\ell g \left| \frac{4\gamma}{N_{12}(1 - \ell^{-2\gamma\ell})} \right|,$$

$$A_\ell = 20\ell g \left| \frac{2}{F_{12} \cdot \ell} \right|.$$

Себебі, $\lim_{\gamma_1 - \gamma_2 \rightarrow 0} \left| \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{1 - \ell^{(\gamma_1 - \gamma_2)\ell}} \right| \rightarrow \frac{1}{\ell}.$

Коаксиал тізбектердің арасындағы жақын және қашық шеттеріндегі ауысу өшуліктері

$$A_{0kk} = 20\ell g \left| \frac{4Z_3 Z_B \gamma}{Z_{12}^2 (1 - \ell^{-\gamma\ell})} \right|,$$

$$A_{\ell kk} = 20\ell g \left| \frac{2Z_3 Z_B}{Z_{12}^2 \ell} \right|.$$

Жоғары жиілікте $\alpha\ell > 3$ болғанда

$$\ell^{-2\gamma\ell} \ll 1 \text{ сонда } A_{0kk} = 20\ell g \left| \frac{4Z_3 Z_B \gamma}{Z_{12}^2} \right|,$$

мұнда $z_3 = z_{11} + z_{22}$ – үшінші тізбек кедергісі

$$Z_{12} = \frac{1}{2\pi\sqrt{bc}} \cdot \frac{\sqrt{iK}}{\sigma \operatorname{Sh}(Kt\sqrt{i})},$$

$$K = \sqrt{\omega\mu\sigma}.$$

3.5. Сыртқы электромагниттік қауіпті және бөгеулік әсерлерді есептеу

Байланыс кабель тізбектерінде сыртқы электромагниттік әсерлерден болатын қауіпті және бөгеулік кернеулермен токтардың шамасын есептеу.

Әдістемелік көрсеткіш

Қауіпті әсер көрсететін симметриялы энергия жолынан болатын әсер кернеуін мына теңдеумен есептейді.

$$U_{2n} = KU_1 \sum \frac{b_c}{a_s + b^2 - c^2} \cdot \frac{\ell_{on}}{\ell} S,$$

мұнда b – жоғарғы кернеу жолының биіктігі (жермен арақашықтығы);

C – байланыс жолының орташа арақашықтығы;

K – жоғары кернеу түріне байланысы коэффициент (0,2...0,32);

U_1 – жоғары кернеу жолының кернеуі;

S_n – көршілес байланыс тізбектерінің экрандау коэффициенті ($\sim 0,7$);

ℓ_{on} – n -ші бөлік ұзындығы, ℓ – жалпы жақындасу ұзындығы.

Симметриялы емес тізбектерден болатын ЭКҚ (электр қозғаушы күші)

$$E_{2n} = \omega I_1 \sum_{i=1}^n M_i \ell_{pi} S_k S_T,$$

мұнда I_1 – әсер етуші ток;

ℓ_{pi} – жақындасатын бөлім ұзындығы;

S_k – кабельдің экрандау коэффициенті;

S_m – трос, рельстердің экрандау коэффициенті.

$$M_i = \left[\ell_n \frac{2}{1,75K \cdot a} + 1 \right] \cdot 10^{-4},$$

$$K = \sqrt{\omega \mu \rho}.$$

Бөгеулік әсерді 800 Гц-ке келтірілген шамасын есептейді.

$$E_{800} = K_{\Pi} \sum_{u=1}^m \omega M_{800i} I_{экв},$$

мұнда K_{Π} – жоғары кернеу жолына байланысты коэффициент.

3.6. Байланыс жолдарының өміршеңдік пен сенімділік параметрлерін есептеу

Берілген байланыс жолында берілген уақытта болған зақымдану түрлері мен олардың үзіліс уақыттарына байланысты сенімділік параметрлерін есептеу.

Әдістемелік көрсеткіш.

Зақымдану тығыздығы бір жылдағы 100 км жерде болатын зақымдану санын көрсетеді

$$m = \frac{n}{L} 100 .$$

мұнда n – бір жылдағы байланыс жолындағы зақымдану саны, L – байланыс жолы ұзындығы.

Байланыстың тоқталу уақыты

$$K = \sum_{i=1}^{n'} \tau_i a_i ,$$

мұнда τ_i – i -ші байланыс тоқталу уақытының ұзақтығы;

a_i – істен шыққан арналар саны.

Байланыс жолының істен шығуының тығыздылығы

$$\lambda = \frac{\Delta N_i}{(N_0 - N_i) \Delta t_i} ,$$

мұнда $\Delta N_i - \Delta t_i$ уақытта істен шығып тұрған бөліктердің саны;

N_0 – сынаққа қойылған бөлшектердің бастапқы саны;

N_i – қаралатын уақыттың басында істен шыққан бөлшектер саны.

Істен шықпай жұмыс істеу ықтималдылығы

$$P(t) = \frac{N_0 - N(t)}{N_0} ,$$

мұнда $N(t)$ – сыналатын t -уақытта істен шыққан бөлшектер саны.

Жұмыс істеуге дайын тұру коэффициенті

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{орт.оң}}} ,$$

мұнда T_0 – байланыс жолдарының орташа үзіліссіз жұмыс істеу уақыты;

$t_{opt.оң.}$ – орташа оңдалу уақыты.

$$t_{оң.у.} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{i оң.у.}}{n},$$

мұнда $t_{i оң.у.}$ – i -ші оңдану уақыты;

n – істен шығу саны.

Кабельді байланыс жолының істен шықпай жұмыс істеуінің ортастатистикалық уақыты

$$T_0 = \frac{8760 - mt_{opt.}}{m},$$

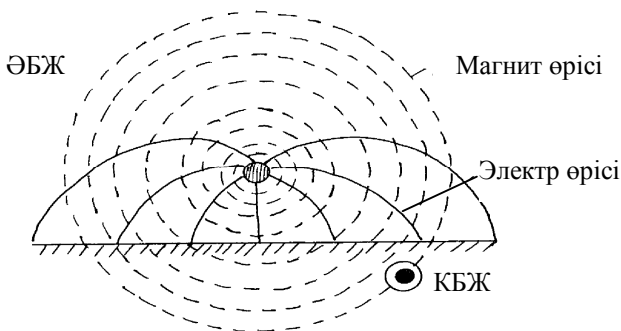
мұнда 8760 – бір жылдағы сағат саны;

$t_{opt.}$ – істен шыққан уақыттың орташа ұзақтығы; m – істен шығу тығыздығы.

4. БАЙЛАНЫС ТІЗБЕКТЕРІНДЕГІ ӨЗАРА ӘСЕРЛЕРДІ АЗАЙТУ

4.1. Сыртқы электромагниттік әсерлерден қорғау шаралары

Қазіргі электр энергиясының көздері электр тізбектерінде бейнесі мен бағыты әр түрлі ток пен кернеу туғызады. Осы ток пен кернеулер сол тізбектердің айналасында электр және магнит өрісін туғызады.



4.1-сурет

Осы электр және магнит өрістері байланыс жолы тізбектерінде (ӨБЖ, КБЖ) ток пен кернеу туғызады. Электр энергиясы жолының маңайына орналасқан байланыс жолдарының гальваникалық байланыстарында ток пен кернеу пайда болады.

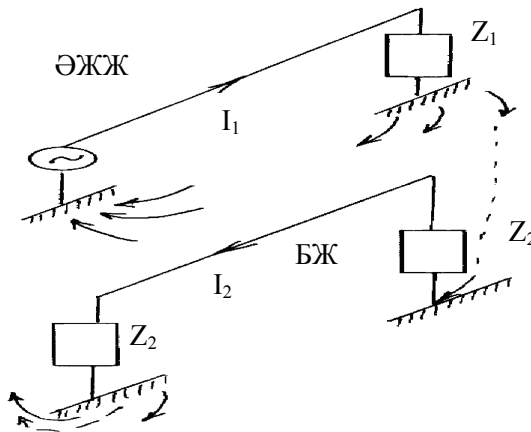
Гальваникалық ток сымдардың жермен жалғасқан жерінен өтіп, екінші сымның орнына жерді пайдаланғанда, жер арқылы қайтып келе жатқан токтың бір бөлігі байланыс жолына өтеді (I_2). Сөйтіп, байланыс жолдарында сыртқы электр энергиясы жолдарының әсерінен ток пен кернеу пайда болады. Өздерінің мөлшеріне қарай, олар қауіпті немесе бөгеулік ток пен кернеу болып бөлінеді.

Сыртқы әсер етушілерге жататындар: электр энергиясын тарататын жолдар; электрленген темір жолдар; атмосфералық

(найзағай) әсерлер; радио станциялар; электр қуатымен істейтін өндірістік тұрмыстық қондырғылар, т.б.

Әуе байланыс жолына (ӘБЖ) сыртқы электрлік және магниттік әсер етілсе, жер астына салынған немесе металл қабығы бар кабель байланыс жолына тек қана магниттік әсер етіледі. Өйткені, электр өрісінің күш сызықтары жерге немесе кабельдің металл қабығына тіреліп (экрандалып) өте алмайды.

Кейбір жағдайларда сыртқы әсерден байланыс жолдарында пайда болған токтар мен кернеулердің шамаларының үлкен болуы соншалық, олар қызмет етуші адам өміріне және сол байланыс жолына қосылған, құрал қондырғыларына қауіп туғызуы мүмкін. Мұндай әсерлерді қауіпті әсер дейді. Сыртқы әсерден байланыс жолында пайда болған ток пен кернеу шамалары қауіп туғызарлықтай үлкен болмай, бірақ сигнал таратып жеткізуге бөгеулік жасайтындай болса, оны бөгеулік әсері дейді.



4.2-сурет

Электр энергиясын тарататын жолдар мен найзағай қауіпті әсер, басқалары бөгеулік әсер туғызады. Байланыс кабелі салынған жердегі қыздырылса, токтар кабель қабығын тотықтырып бұзылуына себеп болады. Байланыс жолдарын сыртқы

электромагниттік әсерден қорғау шаралары әсер тигізетін электромагниттік көздерінде де, жолдарында да жүргізіледі.

Жоғары кернеу жолдарында:

- Қысқа тұйықталған токтың шамасын және оның өтетін уақытын азайту үшін автоматты ажыратқыштар қосып, энергия тарату жүйесінің орбиталық нүктесінің жермен қосылған түйіспесін ажыратады (0,15...0,6 секундта).

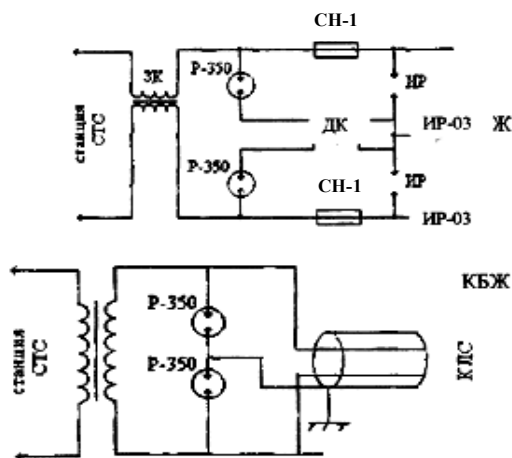
- Симметриясыз режимінде жұмыс істеу уақытын мейлінше азайтады.

- Бейтарап нүктесі жерге қосылған энергия тарату жолындағы нөлдік ток тізбегін азайтады.

- Жоғары кернеу жолдарына тегістегіш құрылғылар қосылады.

Электрленген темір жолдардың байланыс жолдарына әсерін азайту үшін, темір жолмен оны электрлендіретін сым арасына сорып алушы трансформаторлармен жұмсартқыш контурлар пайдаланылады.

Қауіпті ток пен кернеу әсерінен қорғану үшін байланыс жолдарында разрядтағыштар, балқығыш қорғағыштар және әр түрлі катушкалар қолданылады. Кабель байланыс жолының күшейткішке кірер жеріндегі қорғану әдісі төменгі суретте көрсетілген.



4.3-сурет

ЗК – жауып тастаушы (запирающая) катушка екі разрядник бірден істемеген кездегі акустикалық соққыдан қорғауға арналған; ДК – дренаж катушкасы, екі разрядтаушы да ашылған кезде дыбыстық токқа үлкен кедергісімен тізбекті қысқа тұйықталуына жол бермеу үшін; Р-350 – кернеу 350 вольттан артық болғанда станцияға жібермеу үшін; СН-1,0 – қорғағыш ток 1 амперден артық болғанда сымды үзу үшін; ТК – термикалық қорғағыш 0,25 амперге арналған; ИР-0,3 – искралық разрядтаушы 1000 вольттік кернеуден қорғау үшін.

4.2. Төмен жиіліктік кабельдегі өзара әсерлерді азайту

Кез келген симметриялы кабель тізбегімен электр тогы өткенде, оның сымдарында зарядтар пайда болатыны белгілі. Осы зарядтар электр өрісін туғызып, ол электр өрісінің күш сызықтары көрші сымдармен қиылысқанда, бөгеулік деп аталатын электрлік сипаттағы әсері пайда болады. Сонымен қатар сымдардың айналасындағы магнит өрісінің күш сызықтары көрші сымдарда ток туғызып, магниттік сипаттағы бөгеулік әсер пайда болады.

Сөйтіп, бір тізбектен екінші тізбекке электромагниттік өзара әсер салдарынан энергия ауысады. Оны электрлік және магниттік өрістердің қосынды әсерлері деп қарауға болады. Электрлік өрістің салдарынан пайда болатын әсерді электрлік әсер, ал магниттік өрістің салдарынан пайда болатын әсерді магниттік әсер деп атайды.

Электрлік және магниттік әсерлерді электрлік K_{12} және магниттік M_{12} байланыстарымен сипаттауға болады.

$$K_{12} = g_{12} + i\omega R_{12}C\mu; M_{12} = r_{12} + i\omega m_{12}OM, \quad (6.1)$$

мұнда g_{12} – электр байланысының актив /белсенді/ бөлігі;

k_{12} – сыйымдылық байланысы;

R_{12} – магнит байланысының актив бөлігі;

M_{12} – индуктивтілік байланыс.

Тізбектер арасында пайда болатын әсер байланыс тізбегінің басындағы (жақын жақ шетіндегі) және аяғындағы (қашық жақ шетіндегі) болып екіге бөлінеді.

Бір тізбектің екінші тізбекке тікелей әсерінде жақын шеттегі әсері электрлік және магниттік байланыстардың қосындысымен, ал қашық шеттегі әсер олардың айырымымен анықталады. Сөйтіп, жақын шеттегі электромагниттік әсердің коэффициенті N_{12} , ал қашық шеттегі электромагниттік әсердің коэффициенті F_{12} мына формуламен есептеледі:

$$N_{12} = K_{12} + M_{12} / Z_b^2, M_{12} = K_{12} - M_{12} / Z_e^2. \quad (6.2)$$

Тізбектердің арасындағы өзара әсердің түпкілікті мәні ауысу өшулігімен A_0 және тізбектердің қорғанулық өшулігімен сипатталады.

Төмен жиілікте симметриялы кабель тізбектердің өзара әсері негізінен сыйымдылық байланысымен сипатталады. Сондықтан, төмен жиіліктегі симметриялы кабель тізбектерінің өзара әсерін есептеу үшін, сол тізбек сымдарының араларындағы сыйымдылық байланыс коэффициенті мен сыйымдылық асимметриясын анықтау керек.

Сыйымдылық байланысының коэффициенті:

$$K_{12} = (C_{13} + C_{24}) - (C_{14} + C_{23}); \quad (6.3)$$

мұнда K_{12} – екі негізгі тізбектердің арасындағы сыйымдылық байланысының коэффициенті;

C_{ij} – i және j сымдарының арасындағы сыйымдылық.

Бірінші негізгі тізбек пен екі тізбектен жасалған жасанды тізбектің арасындағы сыйымдылық байланысының коэффициенті:

$$K_2 = (C_{13} + C_{24}) - (C_{23} + C_{24}). \quad (6.4)$$

Екінші негізгі тізбек пен жасанды тізбектің арасындағы сыйымдылық байланысының коэффициенті:

$$K_3 = (C_{13} + C_{23}) - (C_{14} + C_{24}). \quad (6.5)$$

Тізбектермен жердің-кабельдің металл қабығының арасындағы сыйымдылық асимметриясының коэффициенттері төмендегі тендіктермен анықталады:

- бірінші негізгі тізбекпен ``жер`` арасында $l_1 = C_{10} - c_{20}$;
- екінші негізгі тізбекпен ``жер`` арасында $l_2 = C_{30} - C_{40}$;
- жасанды тізбекпен ``жер`` арасында $l_3 = (C_{10} + C_{20}) - (C_{30} + C_{40})$;

мұндағы $C_{ij} - i$ сыммен ``жер`` арасының сыйымдылығы.

Төмен жиілікте пайдаланылатын кабель тізбектерін симметриялағанда негізінен электрлік әсерді азайтады. Симметриялау көбіне төрттік сымның ішіндегі тізбектердің өзара әсерін төмендетумен шектеледі. Бірақ сол әсерді азайту үшін кей уақыттарда тізбектерді орындарынан ауыстыруға тура келеді.

Симметриялау алдымен сымдардың орындарын алмастырумен басталып, егер ол қанағаттандырмаса, онда қосымша сыйымдылық конденсаторларды жалғау әдісі қолданылады.

Симметриялау үш кезеңнен тұрады: бірінші кезеңде симметриялау қадамның ішінде, екінші кезеңде симметриялау қадамдарын біріне-біріне қосқанда, үшіншісі күшейткіштер арасындағы кабельдерді жалғап болғаннан кейін жүргізіледі. Бірінші және екінші кезеңдерде тізбектер арасындағы өзара әсер сыйымдылық байланыс коэффициенттерімен C_{1-3} сыйымдылық асимметрия коэффициенттері L_{1-3} қалдықтарынан (болғаннан кейінгі) мәндерімен анықталса, үшінші кезеңде ауысу өшулігімен A_0 қорғанулық өшулігімен A_3 анықталады.

Кабель тізбектерін симметриялау үшін, алдымен әрбір құрылыстың ұзындықтағы кабель тізбектеріндегі сыйымдылық байланыспен сыйымдылық асимметриясының шамаларын өлшеп, олардың алдындағы таңбаларын анықтайды. Содан кейінгі қай тізбекті немесе тізбектегі сымдардың орындарын ауыстыру қажеттігін шешеді. Егер көрші екі сымдардың орындарын ауыстырып (4.4-сурет), ал егер әр түрлі болса, онда тікелей қосады. Қорытынды коэффициент мәні алгебралық әдіспен қосу арқылы есептеледі.

Төмен жиіліктегі кабель тізбектерінің арасындағы өзара әсер коэффициенттерімен танысу мақсатымен, кабель тізбектерін симметриялау әдістерін оқып біліп, симметриялауда пайдаланылатын кестелерін дайындап алу керек. Оң және сол жақтан келетін кабель тізбектерінің арасындағы байланыс коэффициенттері.

А		Б	
0	0	0	0
I			
0	0	0	0
0	0	0	0
II			
0	0	0	0
0	0	0	0
III			
0	0	0	0

А^I		Б^I	
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0

4.4-сурет

Байланыс коэффициенттерін өлшейтін аспап-құралдармен танысып, оны пайдалану нұсқауларын оқып, солар арқылы аспапты жұмысқа дайындау керек.

Оң (А) және сол (Б) жақтан келетін кабель тізбектерінің арасындағы байланыс коэффициенттерін өлшеу керек. Егер байланыс коэффициенттерін тікелей өлшейтін аспап болмаса, онда сымдардың араларындағы сыйымдылықтарын өлшеп, одан байланыс коэффициенттерімен сыйымдылық асимметрияларын есептеп шығарады.

Зауытта жасалған кабельдердің құрылыстық ұзындығында (425м) және симметриялау қадамындағы әсерлік параметрлердің шаралары 4.1-кестеде берілген.

4.1-кесте

Әсерлік мән параметрлер	Рұқсат етілген шамасы ПФ			
	Құрылыстық ұзындық		Симметриялау қадамы	
	Орташа мән	Ең көп мән	Орташа мән	Ең көп мән
K1	55	280	10	20

4.1-кестенің жалғасы

Әсерлік мән параметрлер	Рұқсат етілген шамасы ПФ			
	Құрылыстық ұзындық		Симметриялау қадамы	
	Орташа мән	Ең көп мән	Орташа мән	Ең көп мән
К2, К3	130	700	10	200
	275	1100	100	300
	255	2200	130	400

Кабель тізбектерінің байланыс коэффициенттерімен сыйымдылық асимметрияларын 4.2-кестеге түсіру керек.

4.2-кесте

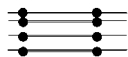
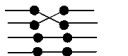
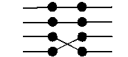
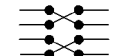
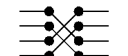
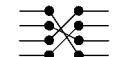
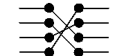
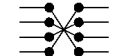
					Тізбек нөмірі	Есептелген	Өлшенген
Тізбектер нөмірі	1	K ₁	сұлба	K ₁	1	K ₂	K ₂
	2	K ₂		K ₂	2	K ₁	K ₁
	3	K ₃		K ₃	3	K ₃	K ₃

4.3-кестедегі коэффициенттерімен сыйымдылық асимметрияларының мәндеріне қарап, оң және сол жақтағы тізбек төрттіктерінің әсерлік параметрлерінің біріне-бірі жақын келетіндерін тандап алып, одан кейін оларды жалғау схемасын анықтауға кіріседі. Ол үшін А жақтағы K_2^A мен K_3^A -ны, Б жақтағы K_3^B мен K_2^B -ны салыстырады. Егер $K_2^A K_2^B$ және $K_3^A K_3^B$ болса, онда төртіктегі тізбектерді тікелей қосады (оның қосу схемасының таңбасы /•/ нүктемен белгіленеді), егер $K_2^A K_3^B$ және $K_3^A K_2^B$ болса, онда тізбектерді ауыстырып қосады (таңбасы X). Бір тізбектің ішіндегі сымдарды қосу схемасы байланыс коэффициенттерінің таңбаларына байланысты болады. Егер таңбалары әр түрлі болса, сымдарды тікелей

қосып, ал егер бірдей болса, онда алмастырып қосады. Егер жалғау схемаларын анықтағанда қайшылықтар кездессе, онда алдымен K_1 және K_3 мәндерін қанағаттандыру керек.

4.3-кесте

Тізбектерді жалғау сұлбасының операторлары

Оператор			Қорытынды		Шамалар		Асимметрия		
	жалғау схемасы			K ₁	K ₂	K ₃	L ₁	L ₂	L ₃
	Белгі таңба	А жағы	Б жағы						
1	• • •		$K_1^A + K_1^B + K_2^B$	$K_2^A + K_2^B$	$K_3^A + K_3^B$	$L_1^A + L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A + L_3^B$	
2	X • •		$K_1^A - K_1^B$	$K_2^A - K_2^B$	$K_3^A + K_3^B$	$L_1^A - L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A + L_3^B$	
3	• X •		$K_1^A - K_1^B$	$K_2^A + K_2^B$	$K_3^A - K_3^B$	$L_1^A - L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A - L_3^B$	
4	X X •		$K_1^A - K_1^B$	$K_2^A + K_2^B$	$K_3^A - K_3^B$	$L_1^A - L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A - L_3^B$	
5	• • X		$K_1^A - K_1^B$	$K_2^A - K_2^B$	$K_3^A + K_3^B$	$L_1^A - L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A + L_3^B$	
6	X • X		$K_1^A - K_1^B$	$K_2^A - K_2^B$	$K_3^A + K_3^B$	$L_1^A - L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A + L_3^B$	
7	• X X		$K_1^A - K_1^B$	$K_2^A - K_2^B$	$K_3^A + K_3^B$	$L_1^A - L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A + L_3^B$	
8	X X X		$K_1^A - K_1^B$	$K_2^A - K_2^B$	$K_3^A + K_3^B$	$L_1^A - L_1^B$	$L_2^A + L_2^B$	$L_3^A + L_3^B$	

Анықталған жалғау сұлбасы мен екі жақтан келетін кабель тізбектерін жалғап, онда кейін жалғанған тізбектердегі байланыс коэффициенттері сыйымдылық асимметрияларымен салыстырады. Олар шамалас болулары керек.

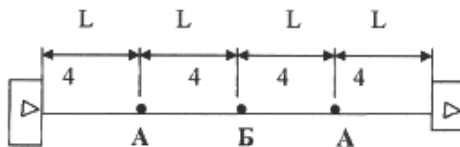
Ауыстыру схемалары анықтап қосқаннан кейінгі нормаға түспеген әсерлік параметрлерді азайту үшін қосымша конденсаторлар пайдаланылады.

4.3. Жоғары жиілікті байланыс кабельдегі өзара әсерлерді азайту

Тізбектердің арасындағы өзара әсердің түпкілікті мәні ауысу өшулігімен және тізбектердің қорғанулық өшулігімен сипатталатыны белгілі.

Жоғары жиілікте кабель тізбектерінің арасындағы электромагниттік әсерлер коэффициенттері, төменгі жиіліктегі кабель тізбектеріндегідей, тек қана сыйымдылық шамаларымен ғана анықталмайды. Оларда магниттік байланыстардың және кешенді шамалардағы нақтылы бөліктерінің де үлестері мол болады. Оларды тікелей есептеп шығару өте күрделі жұмыс болады. Сондықтан, іс жүзінде жоғары жиілікте қолданылатын кабель тізбектерінің арасындағы өзара әсерлердің шамаларын, сол тізбектер арасындағы ауысу өшулігімен қорғаулығын өлшеп есептеу арқылы анықтайды. Жоғары жиілік кабелі негізінен екі кабельді бір жолақты жүйемен істейді. Сондықтан, оларды симметриялауды күшейткіш бөлімінде: жақын шеттегі әсерді азайту үшін, құрылыстық ұзындықтар кабельдердің жоғары қорғанулықтарын бөлімнің бас жағына орналастырып, ал қашық шеттегі әсерді азайту үшін, барлық муфталарда төрттік сымдарды ұдайы **Х.** операторымен қосып, одан кейін сымдардың орындарын ауыстыру немесе шоғырланған симметриялау әдістерін қолданады. Ол үшін алдымен күшейту бөлімін екі немесе төртке бөліп, бір немесе үш жерде сымдардың орындарын ауыстырып, қашық шеттегі әсерді өлшеу арқылы сымдардың орындарын ауыстыру схемасын тауып алады. Күшейткіш бөлімін төртке бөлгенде, алдымен екі шеткі

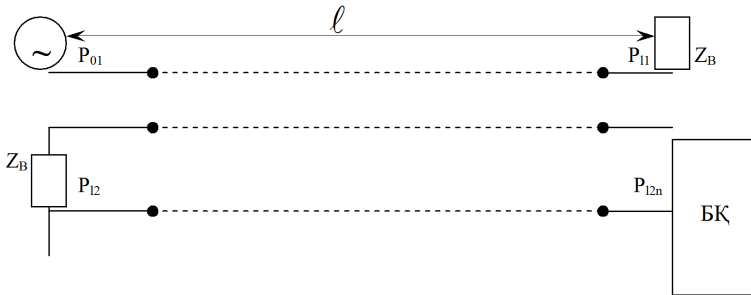
бөліктеріндегі муфталарда /А/ одан кейін ортадағы муфтада /Б/ орын ауыстыру сұлбаларының операторын анықтайды, немесе бұл жұмыс барлық үш муфтада бірден жүргізілуі мүмкін.



4.5-сурет

Шоғырланған симметриялауды сымдардың орындарын ауыстыру арқылы қашық шеттегі әсерді айтарлықтай азайта алмағанда жүргізеді. Ол үшін төрттік кабель тізбектерінің арасындағы ауысу өшуліктерін өлшей отырып, ол сымдардың арасына қарсы байланыс контурларын қосады. Қарсы байланыс контуры көбінесе кедергімен сыйымдылық тізбектей қосылған екі ұштылық схемадан тұрады. Сыйымдылықтарымен кедергілердің шамаларын өзгертіп, қашық шеттегі ауысу өшулігінің ең жоғарғы шамасын табады. Қашық шеттегі тізбектер арасындағы қорғанулық нормадан $A_3=78,8$ дБ төмен болмауы керек.

Сымдардың орындарын ауыстыру схемасын таңдағанда немесе қарсы байланыс контурының шамасын қалағанда, қашық шеттегі ауысу өшулігін өлшеу үшін әсер етуші тізбектің күшейту бөліміндегі жақын шетке генератор қосып, келесі әсер етілуші тізбектің күшейту бөліміндегі қашық шетінде сигнал деңгейін өлшейтін аспап қосылады.



4.6-сурет

Қашық шеттегі ауысу өшулігі: $A_l = P_{01} - P_{12n}$.

Қашық шеттегі қорғанулық: $A_{3l} = P_{12} - P_{12n}$.

Егер екі тізбек бірдей болса, онда

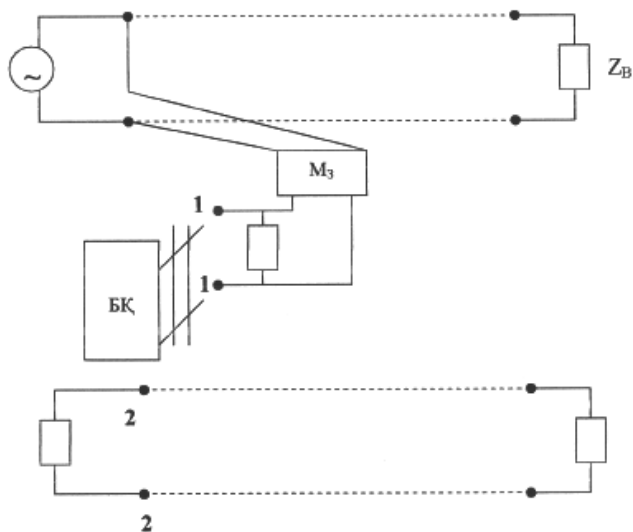
$$A_{3l} = P_{11} - P_{12n} = P_{01} - P_{12n} - \alpha l = A_l - \alpha l,$$

мұнда, αl – күшейту бөліміндегі тізбектің өзіндік өшулігі.

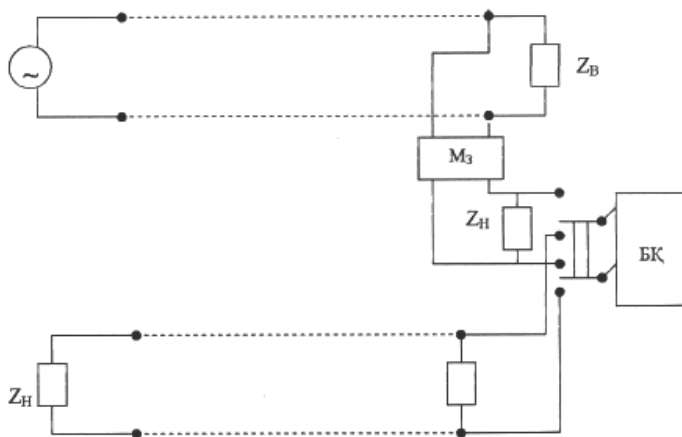
Ауысу өшулігі мен қорғанулықты өлшеу, әсер етуші тізбектің жақын шетіне генератор қосып, сигнал деңгейін өлшегішке әсер етуші тізбектің жақын немесе қашық шетіне қосады. Тізбектердің бос шеттері толқындық кедергіге тең кедергімен жүктеленеді. Әсер етуші тізбекке беретін сигнал деңгейі белгілі немесе өлшенген болуы керек. Сөйтіп, екі жердегі деңгейлердің айырымын есептеу арқылы ауысу өшулігі мен қорғанулығын табады. Ауысу өшулігі мен қорғанулықты салыстыру схемасымен де өлшеуге болады. Ол үшін мыналардай (4.7 және 4.8-суреттер) сұлбаларды жинау керек.

Қашық шеттегі қорғанулықты берілген жиіліктерді өлшей отырып, төрттік сым ішіндегі орын ауыстыру сұлбасын таңдау. Таңдап алған оператормен төрттік сымдарды жалғап, одан кейін сыйымдылық пен кедергі қораптардан жасалған екі ұштылық схемаларды қосып, қашық шеттегі қорғанулықты өлшеп, сыйымдылық пен кедергі шамаларын өзгертіп, қорғанулықтың ең көп мәнін табу.

Содан соң жақын және қашық шеттердегі қорғанулықтардың жиілікке байланысты өзгеру графигін салу қажет.



4.7-сурет



4.8-сурет

4.4. Кабель қабықтарын тотығып бұзылудан қорғау

Кабель қабықтары, оның ішінде қорғасын қабықтардың тотығып бұзылуының (коррозиясының) бірнеше түрлері болады: топырақтан, электр тогынан, атмосферадан және кабельдің өне бойы сілкіністе тұруынан кристаларалық бұзылу болады.

Топырақтан болатын тотығып, бұзылу кабель жатқан жер ылғалданғанда болады. Оның бұзылуының күштілігі топырақтың түріне байланысты болады. Ылғалданған топырақ электролит міндетін кабель қабығының бір жері теріс таңбалы электрод /катод/, екінші жері оң таңбалы электрод /анод/ міндетін атқарып, кабель қабығынан ток шығатын жер /анод/ тез бұзыла бастайды.

Жер астындағы адасып жүрген ток кабельге кіріп, келесі бір жерден шыққанда, сол шығатын жер /анодтық/ бұзыла бастайды. Адасып жүрген ток көбіне электрленген темір жолдан келеді.

Атмосфералық тотығуға әуеде ілулі тұрған жалаңаш кабель тап болады.

Кристаларалық бұзылу өне бойы сілкініске тап болатын /темір жол маңайы, немесе көпір/ жерде болады. Тотығып бұзылудан қорғанудың бірнеше әдістері бар:

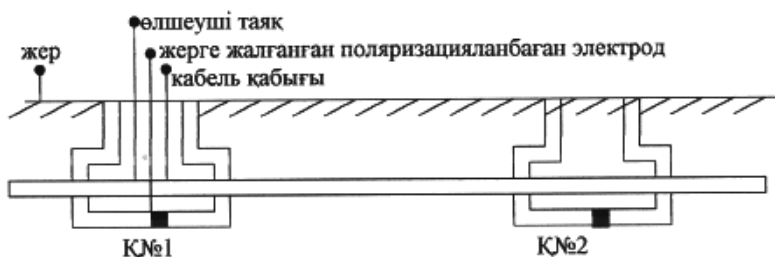
- кабельдің сыртын полиэтиленмен қаптау;
- катодтық қорғану;
- электрлік дренаж;
- электрлік ажыратқыш муфталар;
- протекторлық қорғау;
- сілкініске қарсы шаралар.

Электрлік (адасып жүрген) токтардан қорғаудың мәнісі кабель қабығының анод міндетін атқаратын жерінің потенциалын түсіріп (катодтық қорғау немесе протекторлық қорғау) немесе анодтық жерден шығатын токты әдейі қосылған сым арқылы алып басқа жерге қосу (электродренаж).

Кристаларалық бұзылудан қорғау үшін сілкіністі жұмсартатын төсеніш немесе көпірден өтетін жерде сілкіністі жұмсартқыш ілгіштер қолданылады.

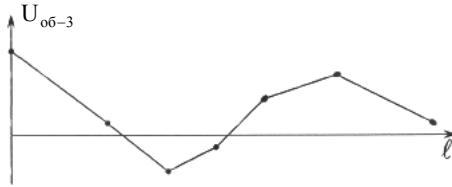
Кабель қабығын катодтық станцияны қосып қорғау үшін, макеттегі І-айырып қосқышты І-ге қойып, вольтметрді «изм. штангы» мен «зазем. напол. электрод» қосқыштарына қосады (4.9-сурет). Вольтметр көрсеткен потенциал айырымын кестеге жазып, басқа құдықтарда да осындай жұмыс жүргізеді. Өлшенген нәтиже бойынша диаграмма құрып (4.10-сурет), одан катодтық станция қосатын жерді анықтайды.

«Жер» және «кабель қабығы» қысқыштарына катодтық станцияны қосып, оның кернеуі 15-20 В болатындай етіп алынады (макеттегі айнымалы кедергі арқылы). Кернеудің кабель қабығының барлық жерінде анодтық жер болмайтындай етіп алып, катодтық станцияны қосып болғаннан кейін, кабель қабығындағы потенциалды барлық құдықтарды қайтадан өлшеп кестеге түсіріп, потенциал диаграммасын құру керек.



4.9-сурет

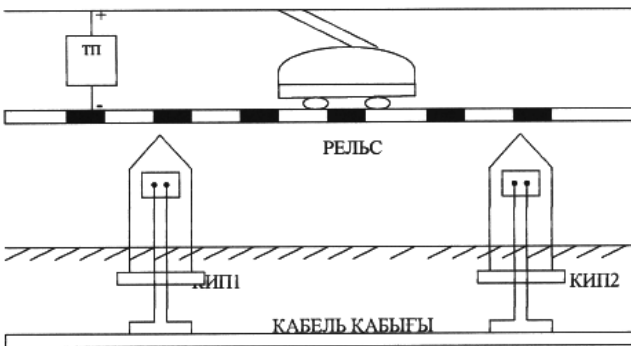
Кабель қабығын дренажбен қорғау үшін макеттегі І-айырып қосқышты 2-жағдайға қойып, вольтметрді КИП-пен «жер» қысқыштарына қосып, потенциал айырымын өлшейді. Осындай өлшеуді барлық КИП-терде жүргізіп кестеге түсіріп, потенциал диаграммасын құрады. Потенциал диаграммасынан дренаж қосатын жерді анықтайды.



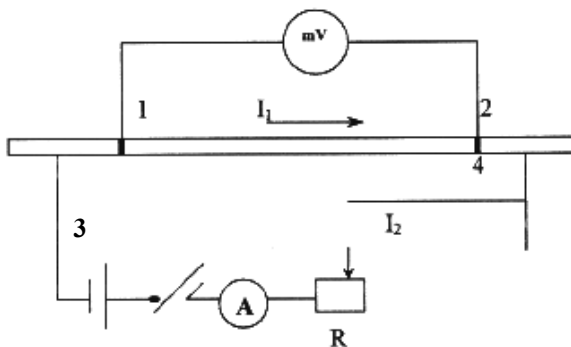
4.10-сурет

Электрдренаж тізбегін жасау үшін дренаж құрылғысының «Р» қысқышын рельске, «К» қысқышын кабель қабығының қысқышына қосады. Осыдан кейін барлық КИП-терде потенциалды тағы да өлшеп кестеге түсіреді. Кесте бойынша диаграмма құрып, оны қойылатын нормамен салыстырады (4.11-сурет).

Кабель қабығындағы токты өлшеу үшін макеттегі I-айырып қосқышты 3-жағдайына қойып, 1-2-ші қысқыштарға вольтметр қосып, потенциал айырымын өлшеп, одан кейін кабель кедергісі арқылы токты есептеп шығарады, немесе 4.12-суреттегі сұлбаны жинап, макеттегі айнымалы кедергінің көмегімен 1-2-ші қысқыштар арасындағы потенциал айырымын нөлге жеткізгендегі микроамперметрдің көрсеткен тогы осы кабель қабығындағы ток болады.



4.11-сурет



4.12-сурет

Бақылау сұрақтары:

1. Симметриялық кабель тізбектеріндегі байланыс коэффициенттерімен асимметриялар.
Оларды қалай есептейді?
2. Төмен жиіліктегі кабельдерді симметриялау әдістері және олардың жоғары жиіліктегі кабельдерді симметриялау әдісінен айырмашылығы.
3. Кабель тізбектерінің байланыс коэффициенттерімен сыйымдылық асимметрияларын қандай аспаптармен, қалай өлшейді?
4. Жалғау схемасының операторларын анықтау тәртіптері қандай?
5. Байланыс коэффициенттерімен сыйымдылық асимметриялар таңбалары және оның шамаларының схеманың операторларына байланыстылығы қандай?
6. Екі күшейткіш аралықтарындағы кабель тізбектерін симметриялау әдістері мен реттері қандай болады?
7. Қосымша конденсаторларды қай уақытта және қалай қолданады? Олардың мәндерін қалай анықтайды?

8. Нақтылы мысалдар алып, симметриялау әдістерін көрсетіңіз.
9. Кабель тізбектеріндегі өзара әсердің жоғары жиілік пен төменгі жиілік арасындағы айырмашылығы қандай?
10. Жоғарғы жиілік кабельдерді симметриялау әдістері.
11. Жақын және қашық шеттердегі ауысу өшуліктері мен қорғанулықтары дегеніміз не және олардың қайсысының маңызы қандай?
12. Жақын және қашық шеттердегі ауысу өшуліктері мен қорғанулықтарының жиілікке байланыстылығының физикалық негізі.
13. Жақын және қашық шеттердегі ауысу өшуліктерімен қорғанулықтарының өлшеу әдістері және олардың салыстырмалық сипаттамалары.
14. Қарсы байланыс контурын қалай таңдап алады және оны қай жерге қояды?
15. Қорғанулықтар тізбектердің өзіндік өшулігімен және тізбектердегі жұмыстық сигналдар деңгейімен қандай байланыста болады?
16. Тотығып бұзылу дегеніміз не?
17. Тотығып бұзылудың түрлері қандай?
18. Тотығып бұзылудың себептері қандай?

5. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ МЕН ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫН ПАЙДАЛАНУДАҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР

5.1. Байланыс жолдарындағы жобалауды ұйымдастыру жұмыстары

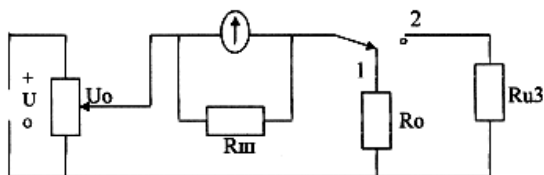
Кабель тізбектерінің қандай жағдайда екенін білу үшін оларда электрлік өлшеулер жүргізіледі. Кабель тізбектеріндегі өлшеулер байланыс кабель жолдарын салып, құрып болғаннан кейін, оларды пайдалану уақытында (жоспарлы және тексеру өлшеулері) және кабель тізбектерінің ақаулықтарын табу үшін жүргізіледі.

Кабель тізбектеріндегі өлшеулер:

- Тізбек сымдарының тұрақты токқа кедергісі.
- Екі сымды тізбектегі сымдардың кедергілерінің айырмашылығы (асимметрия).
- Тізбек сымдарының арасындағы және сымдар мен жер аралықтарындағы сыйымдылықтар.
- Тізбек сымдарының арасындағы және сымдар мен жер аралықтарындағы бөлектену кедергісі (изоляция кедергісі).
- Тізбектердің кіру және сипаттамалық кедергілері.
- Тізбектердің өзіндік, жұмыстық және ауысу өшуліктері.

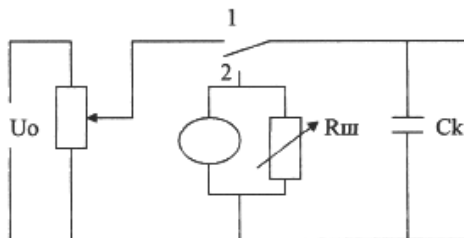
Әр түрлі кедергілердің түрлері және сыйымдылықтарды өлшеуде вольтметрмен амперметр, көпірлік және баллистикалық әдістер қолданылады.

Өшуліктерді өлшеуде деңгейлер айырмашылығын өлшеу немесе салыстыру әдістері қолданылады. Вольтметр-амперметр әдісінің мәнісі – өлшенетін нәрсенің кернеуімен одан өтетін ток шамасын өлшеп, одан кейін Ом заңын қолданып, кедергі шамасын есептеп шығару. Мысалы, 5.1-суретте көрсетілген схемадағы кілттің 1-ші және 2-ші жағдайындағы күштерінің шамаларының қатынасы берілген. R_0 мен өлшенетін $R_{из}$ шамаларының қатынасы кері пропорционал болады. Осы әдіспен сымдар арасындағы сыйымдылықты да өлшеуге болады. Ол үшін R_0 мен $R_{ш}$ орындарына C_0 және C_x алынады.



5.1-сурет

Баллистикалық әдістің мәнісі 5.2-суретте көрсетілген сұлбамен кілттің 1-ші жағдайында тізбектің сыйымдылығы зарядталып (гальванометр $\lambda 1$ шамасына қозғалады), 2-ші жағдайда өлшеуіш арқылы өтетін разрядтық ток өлшеуіш көрсеткішін $\lambda 2$ шамасына ауытқытады.



5.2-сурет

Гальвонометр тұрақтылығы (K) бірдей болғанда:

$$C_x = K \cdot \lambda_2 / \Pi,$$

мұнда Π – шунттау коэффициенті.

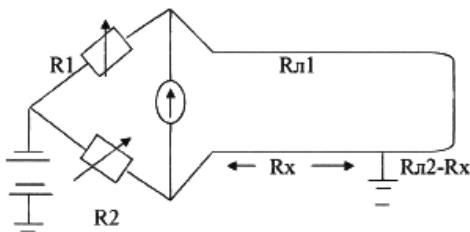
Көпірлік әдісті қолданғанда, оның үш иінінде белгілі кедергілер болады да, төртінші иініне өлшенетін кедергі қосылып, көпірді теңестіргеннен кейін кедергі теңдеуін құрып, одан белгісіз (өлшенетін) кедергіні есептеп шығарады.

Өшуліктерді өлшегенде, тізбектерге толқынды кедергілеріне тең жүктемелер қосылып, одан керекті орындардағы сигнал

деңгейлері жоғары Ом-ды кіру кедергілі деңгей өлшеуіштермен анықталады.

Егер деңгейлер бір жерден өлшенетін болса, онда өшуліктер қорабын пайдаланып, салыстыру әдісімен де өлшеуге болады.

Техникалық пайдалану жұмысын жүргізуге керекті құралдармен танысып, оларды қалай пайдаланатынын үйрену қажет. Берілген кабель тізбектеріндегі ақаулықтардың түрін анықтау үшін сымдардың арасындағы бөлектену кедергісі (изоляция) мен сымдардың тұрақты токтағы кедергілерінің шамаларын анықтап, оны нормалы шамалармен салыстырады. Егер кабель тізбектерінде зақымданбаған сым бар болса, изоляция төмендеген жерге дейінгі қашықтықты, иіндеріндегі кедергілер қатынасын айнымалы көпірлік әдісімен анықтауға болады (5.3-сурет).



5.3-сурет

Көпірлік сұлба теңдеуінен:

$$R_x = R_{\lambda} (R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2}) / (R_1 + R_2);$$

мұнда $R_x = R_0 * \ell_k$, $R_{\lambda 1} = R_{\lambda 2} = R_0 * \ell$,

R_0 – тізбектегі сымның кедергісі.

Егер $R_x / (R_{\lambda 1} + R_{\lambda 2}) = \ell_x / 2\ell$ деп алсақ, $\ell_x = 2R_2 \ell / (R_1 + R_2)$.

Егер бір тізбектің екі сымның арасындағы изоляциясы төмен болса, бірақ кабельде үшінші зақымданбаған сым болса, онда изоляция төмендеген жерге дейінгі қашықтықты мына 5.4-суреттегі сұлбамен анықтауға болады.

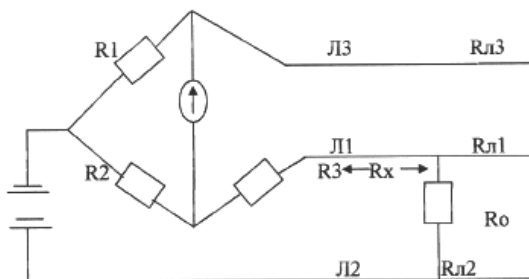
Көпірлік сұлбаның түйіндері теңдескенде

$$R_1 * (R_3 + R_x) = R_2 * (R_{л3} + R_{л1} - R_x) \quad \text{одан}$$

$$R_x = R_2 * (R_{л3} + R_{л1}) * R_1 R_3 / (R_1 + R_2).$$

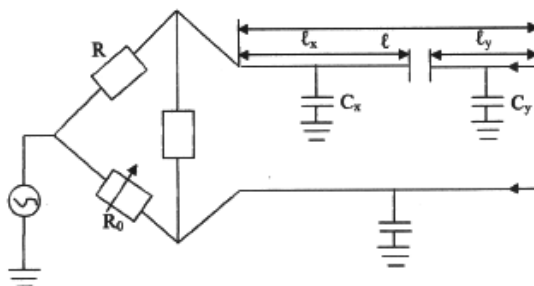
Егер $R_1 = R_2$ деп алсақ, $R_x = R_{л3} + R_{л1} - R_3 / 2$.

Егер $R_{л3} = R_{л1} = R_0$ болса, онда $R_x = (2R_0 - R_3) / 2$, $\ell_x = R_x / r$ (км).



5.4-сурет

Кабель тізбегі сымның үзілген жеріне дейінгі қашықтықты айнымалы токпен немесе үзілісті токпен көпірлік әдісті қолданып, сымның үзілген жеріне дейінгі сыйымдылығын үзілмеген сым ұзындығындағы сыйымдылықпен салыстыру арқылы анықтайды.



5.5-сурет

R_0 – кедергісін өзгерту арқылы көпір иіндерін теңестіргенде
 $\ell_x = 2R_0 \ell / (R_0 + R)$, км.

Айнымалы ток генераторының орнына тұрақты ток батареясын қолдануға да болады. Ол үшін алдымен батареяны көпірге қосып, телефонның орнына қосылған гальванометрдің көрсеткішін белгілейді. Содан кейін батареяны қосатын кілтпен батареяның орнына жерді жалғайды, сонда гальванометрден сыйымдылықтары разрядталған тогы өтеді де, гальванометр көрсеткіші басқа жаққа қарай ауытқып, басқа көрсеткішті байқаймыз. Енді R_0 шамасын өзгерту арқылы заряд тогы мен разряд тогын теңестірсек (гальванометр ешқайда қозғалмайды), сонда:

$$\ell_x = 2R_0 \ell / (R_0 + R), \text{ км.}$$

Кабель тізбегінің өзіндік өшулігін анықтау үшін, тізбек кедергісіне ішкі кедергісі тізбектің толқындық кедергісіне тең генератор қосып, тізбектің шығысын өзінің толқындық кедергісіне тең жүктемеге қосады. Содан кейін тізбектің кірісіндегі және шығысындағы сигнал деңгейлерін жоғары Ом-ды кірісті деңгейлік өлшеуішпен өлшеп, олардың айырымының нәтижесін тізбек ұзындығына бөледі.

$$\alpha_{\text{өз}} = (P_1 - P_2) / \ell,$$

мұнда P_1 – тізбек кірісіндегі деңгей;

P_2 – тізбек шығысындағы деңгей;

ℓ (кіші) – тізбек ұзындығы.

Көңіл бөлегін жағдай өзіндік өшулік жиілікке байланысты болатындықтан, деңгейлік өлшеуіш пен генератор жиіліктері сәйкес болулары керек. Егер кабельдерде бірдей екі тізбек болса, онда қарсы жақ шетте екі тізбекті бірімен-бірін жалғастырып, тізбекке генератор қосылатын жерде деңгейлерді салыстыру әдісімен тізбектердің өзіндік өшулігін анықтауға болады.

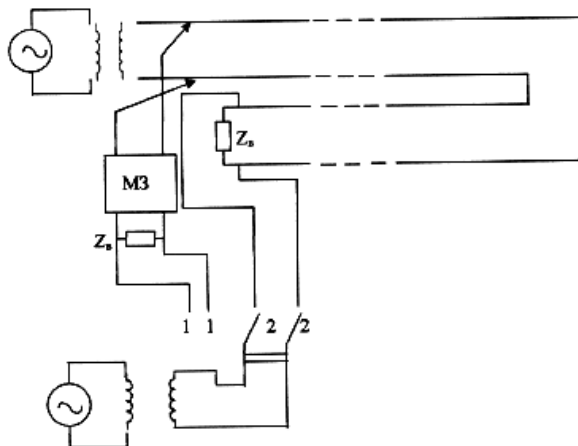
Егер индикатор 1-1 және 2-2 жағдайларында бірдей көрсетсе, онда

$$2 * \alpha_{\text{өз}} * \ell \text{ немесе } X_{\text{өз}} = \sigma_{\text{мз}} / 2\ell,$$

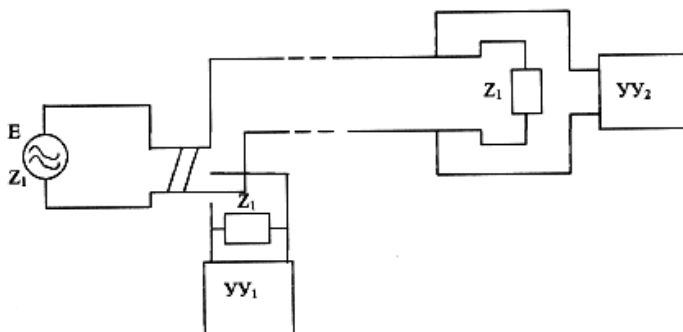
мұнда $\sigma_{мз}$ – өшулік қорабындағы өшулік.

Жұмыстық өшулікті өлшеу үшін алдымен генератордың өзінің ішкі кедергісіне тең жүктемедегі (Z_1) деңгейлікті P_1 өлшеп, одан кейін генератордың байланыс тізбегі арқылы қосылған жүктемеге (Z_2) беретін деңгейін өлшейді.

Сонда $\sigma_p = P_1 - P_2 + 10 \log [Z_2/Z_1]$, дБ.



5.6-сурет



5.7-сурет

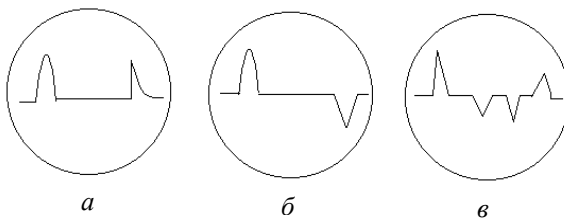
5.2. Байланыс жолдарын импульстік әдіспен өлшеу

Импульстік әдіс байланыс жолындағы ақаулығы бар жердегі жүктеме толқындық кедергіге тең болмағандықтан, электромагнит энергиясының шағылысып кері қайтуына негізделген. Егер ешқандай ақаулығы жоқ байланыс жолы өзінің толқындық кедергісіне жүктелген болса, онда онымен таралатын импульс байланыс жолымен жүктеме кедергіге қабылданады. Мұндай жағдайда энергия кері қайтпайды. Байланыс жолында ақаулық болғанда (сым үзіліп немесе оның кедергісінің күрт өсуі, сымдар қысқа тұйықталып немесе оларды ажыратқыш кедергінің төмендеуі), ол толқындық кедергіге тең болмайды. Байланыс жолына берілген импульс осы жерде шағылысып кері тебеді. Оның шамасы мен бағыты сол жердегі кіру кедергісімен толқындық кедергінің қатынасына байланыста болады.

Егер ақаулығы бар жерде кіру кедергісі толқындық кедергіден көп болса (сым үзілген немесе кедергісі өскен), онда кері қайтатын импульс таңбасы ілгері жүретін импульстің таңбасындай болады да (5.8 а-сурет), ал егер кіру кедергісі толқындық кедергіден аз болса (қысқа тұйықталған немесе ажырату кедергісі төмендеген), онда кері қайтатын импульс таңбасы ілгері жүретін импульс таңбасына қарсы болады (5.8 б-сурет).

Егер байланыс жолындағы ақаулық бірнеше жерде болса, онда кері қайтушы импульстерде бірнешеу болады.

Бұл әдіспен өлшеудің “тазалығы”, байланыс жолдарына берілетін импульс пен кері қайтқан импульсті қабылдаушы құрылғының кіру кедергілері, байланыс жолының толқындық кедергісіне тең болулары керек.



5.8-сурет

Берілетін импульстік байланыс жолына шығатын уақытымен кері қайтқан импульстің келетін уақыттарының аралығындағы уақыт, импульстің таралу жылдамдығына (v) және ақаулығы бар жерге дейінгі қашықтыққа (l_k) байланысты болады

$$t = \frac{2l_k}{v}.$$

Әрбір байланыс жолының сигнал тарату жылдамдығы (v) белгілі болады. Сонда берілген байланыс жолының ақаулығы бар жерге дейінгі қашықтық

$$l_k = \frac{v}{2} \cdot t.$$

Егер осциллограф экранында берілетін кернеу шамасы уақытқа байланысты болса, онда осциллограф экранындағы екі импульс аралығы байланыс жолындағы ақаулығы бар жерге дейінгі қашықтыққа тікелей қатынасты болады. Сондықтан, ұзындығы белгілі байланыс жолына берілген және әр түрлі ұзындықтан кері қайтқан импульске қарап, күні бұрын электрлік масштабпен белгілеп қоюға болады.

Импульстік аспаппен өлшейтін байланыс жолының ең көп ұзындығы, оған берілетін импульстің жоғарғы биіктігімен, кері қайтатын импульстің төменгі биіктігімен анықталады.

Өлшеуіш аспаптың осы екі шамамен анықталатын сезімталдығы кері қайтатын импульс өшулігінен көп болуы керек

$$20lg \frac{U_{бер} U}{U_k U} > Q_{о.м}.$$

Кері қайтушы импульс өшулігі

$$Q_{ou} = 2Q_l + Q_{отр},$$

мұнда Q_l – байланыс жолының өзіндік өшулігі;

$Q_{отр}$ – импульстің кері қайту өшулігі.

$$Q_{отр} = 10lg \left| \frac{Z_n + Z_b}{Z_n - Z_b} \right|,$$

Z_b – толқындық кедергі;

Z_n – ақаулықты жердегі кіру кедергісі.

Өлшеу нәтижесінің дәлдігі импульстік өлшеуіш параметрлеріне, байланыс жолының жоғары жиіліктегі өзіндік өшулігіне, импульстің таралу жылдамдығына және ақаулығы бар жерге дейінгі қашықтыққа байланысты болады. Мысалы, берілетін импульстің алдыңғы жағы неғұрлым тік болса, өлшеу дәлдігі соғұрлым анықтау болады; кері қайтатын импульстің алдының тіктігі байланыс жолының жиіліктік сипаттамасына байланысты болады.

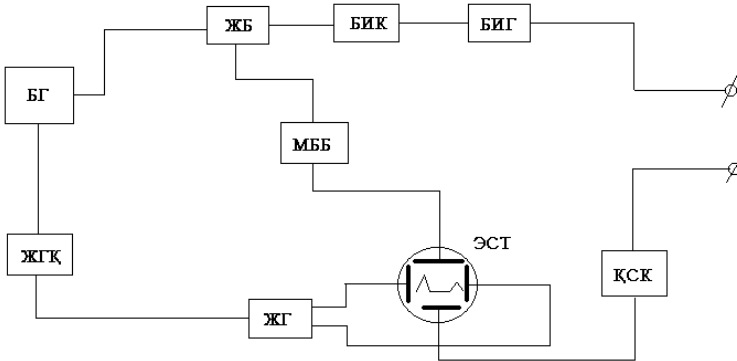
- Берілетін импульстің ұзақтығы мейлінше аз болуы керек. Бірақ, импульс ұзақтығы азайған сайын, оның жиіліктік спектрі жоғары болып, сол себепті ақаулығы бар жерге дейінгі байланыс жолының өшулігі көбейіп, ол жолдың ұзындығын шектейді;

- Берілетін импульс биіктігі неғұрлым жоғары болуы керек, бірақ ол сымдардың арасының ажыратқышының электрлік мықтылығына байланысты болады;

- Берілетін импульс жиілігі берілетін импульспен кері қайтқан импульс келіп үлгеретіндей болуы керек.

Импульстік әдіспен өлшейтін аспаптың блок сұлбасы 5.9-суретте келтірілген. Өлшеуіш аспап жұмысты мынадай тәртіппен істейді: сигнал беруші генератор БГ қысқа мерзімді импульс жасап шығарады. Барлық блоктар осы қысқа мерзімді беруші генератор импульсінің тәртібімен істейді. Беруші генератор импульсі мен жайма генераторды қосушы ЖГҚ блок іске қосылып, тік бұрышты импульс шығарады, ол импульс ұзындығын /“просмотр линии”/ өзгертуге болады. Осы тік бұрышты импульстің бітетін уақытында /аяғында/ жайма генераторы ЖГ іске қосылады. БГ-ден берілетін қысқа мерзімді импульс пен жиілікті бөлуші ЖБ, берілетін импульсті кідіртуші БИК, берілетін импульс генераторы БИГ, масштаб белгілейтін блок МББ және қабылданған сигналды күшейтуші ҚСК блоктар іске қосылады.

Берілетін импульс тізбек бойымен тарап, ақаулығы бар жерден кері қайтып, қабылдау сигналын күшейткіш арқылы электрон сәулелі түтіктің тіке қозғалысындағы пластикасына беріледі.



5.9-сурет

Берілген тізбектің ең басынан бастап қарамай, одан кейінгі бөліктерін көру үшін “просмотр линии” мен ЖГҚ арқылы жайма генераторының қосылатын уақытын өзгертсе болады.

Масштаб белгілерін беретін блок беруші импульстің бірінші жарты периодында істеп, екінші жарты периодында ҚСК-і істейді. Импульстік әдіспен өлшеуді зерттеу үшін берілетін импульсті, ақаулықтың түрін, оған дейінгі қашықтықты, кіру және жүктеме кедергілерді өзгертіп, солардың барлығының осциллограммаларын алып, оларды сараптап талдау керек.

5.3. Байланыс кабель тізбектерінің араларындағы өзара әсерлерді өлшеу

Байланыс жолдары тізбектері арасындағы ауысу токтары, олардың арасындағы электромагниттік әсерге байланысты болады. Электр өрісінен пайда болатын токты электрлік әсер, ал магниттік өрістен пайда болатын токты магниттік әсер деп атайды. Олар электрлік байланыс K_{12} және магниттік байланыс M_{12} коэффициенттерімен сипатталады.

$$K_{12} = I_2 / U_1 = g_{12} + i\omega k,$$

$$M_{12} = -E_{2n}/I_1 = r_{12} + i\omega m_1,$$

мұнда g_{12} – электрлік байланыстың нақты бөлігі;

K_1 – сыйымдылықтық байланыс;

r_{12} – магниттік байланыстың нақты бөлігі;

m_1 – индуктивтік байланыс;

g_{12}, K_1, r_{12}, m_1 – өзара әсерліктің біріншілік параметрлері дейді.

Бірақ байланыс жолдары тізбектерінің қасиетін олардың арасындағы ауысу өшуліктері мен қорғанулығының шамаларымен бағалайды.

Ауысу өшулігі әсер етуші тізбектегі генератор қуатының әсер етілген тізбектегі бөгеулік қуатына қатынасының логарифмдік шамасы.

Тізбектер араларындағы өзара әсерге қарағанда, олар жақын шеттегі (сигнал берілетін шет) және қашық шеттегі (сигнал қабылданатын шет) болып бөлінеді.

Әсер етуші тізбектің генератор қосылған шетіндегі әсер етілген тізбекте пайда болатын бөгеулік, токтың әлсіреуі жақын шеттегі ауысу өшулігіне A_0 байланысты болады. Келесі шеттегі бөгеулік токтың әлсіреуі қашық шеттегі ауысу өшулігіне A_L байланысты болады.

Жақын шеттегі ауысу өшулігі:

$$A_0 = P_{10} - P_{20n};$$

дБ – деңгейлері бойынша;

$$A_0 = 10 \lg [P_{10}/P_{20n}];$$

дБ – қуаттары бойынша;

$$A_0 = 20 \lg [U_{10}/U_{20n}] + 10 \lg [Z_{B2}/Z_{B1}];$$

дБ – кернеулері бойынша.

Қашық шеттегі ауысу өшулігі:

$$A_L = P_{10} - P_{2Ln};$$

дБ – деңгейлері бойынша;

$$A_L = 10 \lg [P_{10}/P_{2Ln}];$$

дБ – қуаттары бойынша;

$$A_L = 20 \lg [U_{10}/U_{2Ln}] + 10 \lg [Z_{B2}/Z_{B1}];$$

дБ – кернеулері бойынша;

мұнда P_{10} – әсер етуші сигналдың жақын шеттегі деңгейі;

P_{20n}, P_{2Ln} – әсер етілген тізбекте пайда болатын жақын және қашық шеттегі деңгейлері;

Z_{B1}, Z_{B2} – бірінші және екінші тізбектердің толқындық кедергілері.

Жақын және қашық шеттердегі пайдалы сигнал қуатының бөгеулік сигнал қуатына қатынасының Логарифмдік шамасын немесе деңгейліктерінің айырмасын – қорғанулық деп атайды.

$$A_3 = 10 \lg [P_c / P_n], \text{ дБ},$$

$$A_3 = P_c - P_n, \text{ дБ}.$$

Бірдей тізбектермен бір бағытта берілетін сигналдардың жақын шеттегі қорғанулығы

$$A_3 = A_0.$$

Сол жердегі ауысу өшулігіне тең болады.

Осындай тізбектердің қашық шетіндегі қорғанулық оның ауысу өшулігінен өзіндік өшулікке аз болады

$$A_{L3} = A_L - \alpha L.$$

Егер, сигнал параллель орналасқан екі тізбек те біріне-бірі қарсы бағытта берілсе, онда жақын шеттегі қорғанулық сол шеттегі ауысу өшулігінен өзіндік өшулікке аз болады.

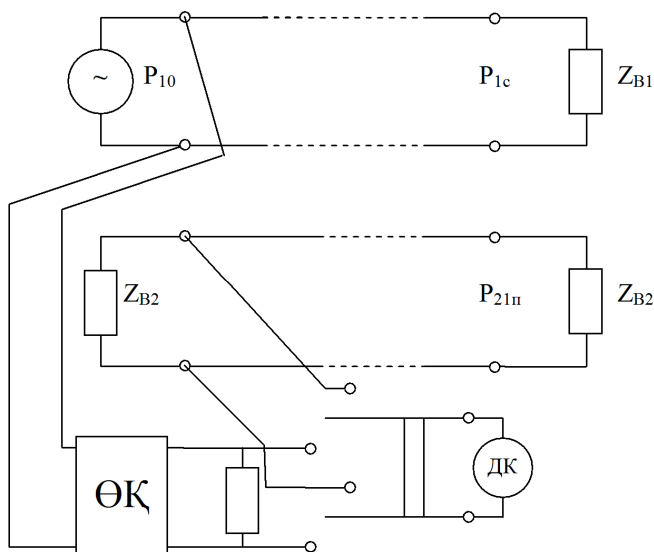
Сонымен, электромагниттік әсер одан ауысу өшулігі әсер етуші және әсер етілетін тізбектерінің өзара орналасуларына және олармен берілетін сигнал жиілігіне байланысты болады. Сонымен қатар, ауысу өшулігі тізбектердің құрылымдық біртектілігіне де байланысты болады.

Егер байланыс жолы бірнеше күшейткіш бөлімінен тұратын болса, онда бір күшейткіш бөлігіндегі қорғанулық жалпы керекті қорғанулықтан артық болуы керек.

$$A_3^{(1)} = A_3 + 20 \lg \sqrt{N};$$

мұнда N – күшейткіш бөлімдерінің саны.

5.10-суретте көрсетілген құрылғыны жинап жақын шеттегі ауысу өшулігін берілген жиіліктерде өлшеп, $A_0(f)$ байланыстылығын сызуға болады.

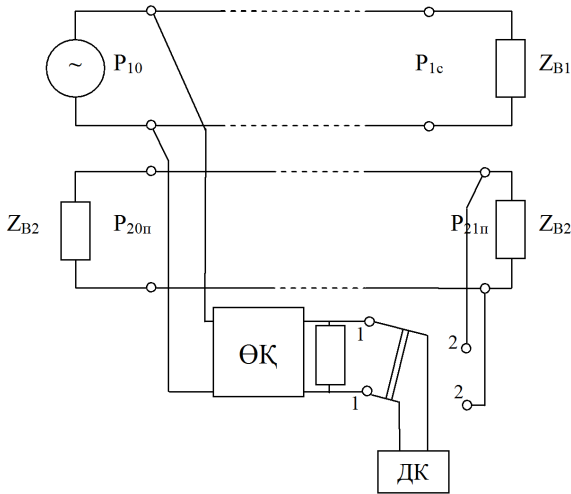


5.10-сурет

Генератор мен деңгей көрсеткішін бір жиілікке келтіріп, сол жиіліктегі жақын шеттегі ауысу өшулігін өлшеу үшін, өшулік қораптағы өшулікті өзгертіп 1-1 және 2-2 жағдайдағы деңгей көрсеткіштері бірдей болғанда

$$A_0 = a_{0\kappa} + 10 \lg[Z_{B2}/Z_{B1}].$$

Осылайша басқа жиіліктерді де өлшеп, ауысу өшулігінің жиілікке байланыстылығын анықтайды. 5.11-суретте көрсетілген құрылғыны жинап, қашық шеттегі ауысу өшулігін өлшеуге болады.

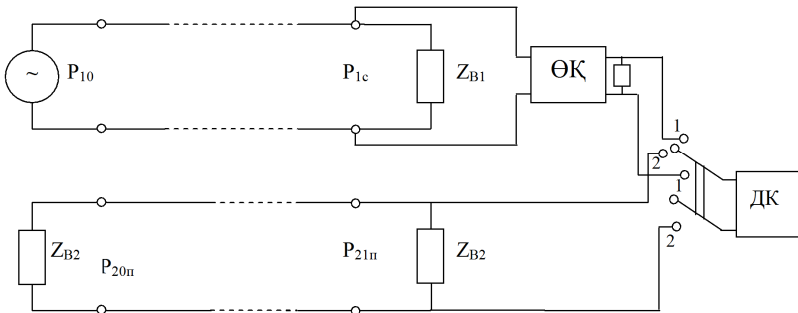


5.11-сурет

Өшулік қорабындағы өшулік шамасын өзгертіп, аударып, қосқыштың 1-1 және 2-2 жағдайларында деңгей бірдей болса

$$A_L = a_{0\text{Қ}} + 10 \lg [Z_{B2} / Z_{B1}].$$

Қашық шеттегі қорғанулықты өлшеу үшін төменгі құрылғыны жинау керек (5.12-сурет).



5.12-сурет

Өшулік қорабындағы өшулік шамасын өзгертіп, ауыстырып, қысқыштың 1-1 және 2-2 жағдайларындағы деңгейлер бірдей болғанда қашық шеттегі қорғанулық

$$A_3 = a_{0K} + 10 \lg [Z_{B2} / Z_{B1}].$$

Осылайша барлық берілген жиіліктерді өлшеп, қашық шеттегі қорғанулықтың жиілікке байланыстылығын $A_3(f)$ анықтайды.

Бақылау сұрақтары:

1. Тізбектің сыйымдылығы, кедергісі, сымдардың бөлектену кедергісі / изоляция кедергісі / , сымдардың / бір тізбектегі / кедергілерінің бірдей еместігін / асимметрия / өлшеу әдісі мен өлшеу схемалары.
2. Қолданылатын құралдармен өлшеуіш аспаптардың сипаттамалары және оларға қойылатын талаптар.
3. Байланыс тізбектерінің зақымдану түрлері.
4. Байланыс тізбектерінің изоляция кедергісі төмендегенде қандай әдістермен зақымданған жерге дейінгі қашықтықты анықтауға болады? Олардың жетістіктері мен кемшіліктері.
5. Байланыс тізбектеріндегі сымдардың үзілген жеріне дейінгі қашықтықты анықтау үшін қандай әдістер қолданылады ? Олардың жетістіктері мен кемшіліктері.
6. Сым кедергісінің R температураға байланыстылығының өлшеу дәлдігіне тигізетін әсері қандай?
7. Өзіндік өшулікті өлшеу әдістері мен схемалары, олардың жетістіктері мен кемшіліктері.
8. Тізбектің жұмысты өшулігі деген не? Оның өзіндік өшуліктен айырмашылығы қандай? Жұмыстық өшулікті өлшеу әдістері мен сұлбалары.
9. Импульстік әдіспен өлшеудің негізі, импульстің байланыс жолымен таралу заңдылығы және импульстік өлшеуіш параметрлері.
10. Өзара әсердің физикалық мәнісін анықтаңыз.

11. Жакын, қашық шеттердегі ауысу өшуліктері мен қорғанулықтардың анықтамалары.
12. Ауысу өшуліктері мен қорғанулықтардың байланыстылығы.
13. Ауысу өшуліктері мен қорғанулықтың сигнал жиілігіне байланыстылығы.
14. Ауысу өшуліктері мен қорғанулықтың байланыс жолы ұзындығына тәуелділігі.
15. Ауысу өшуліктері мен қорғанулықты анықтағанда жүктеме кедергілер және деңгей көрсеткіштің кіру кедергілеріне қойылатын талаптар.

6. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫН ЖОБАЛАУ

Жобалау үшін ең алдымен оптикалы-талшықты және мысты кәсіп байланыс жолдарын жобалау және салу әдістері туралы жазылған стандарттармен тыңғылықты танысып алу керек. Содан кейін сигнал беру жүйелерін, кабель түрлерін талдап, сораптап, таңдалған түріне негіздеме келтіріп, есептеу нәтижелерін түсіндірме жазбасы түрінде дайындау керек.

Техникалық есептеулер, аралық нәтижелер қорытынды мәніне дейін толық көрсетіледі, СИ жүйесіндегі өлшем бірлігімен келтіріледі. Түсіндірме жазбасының соңында пайдаланылған стандарттар тізімі берілу керек.

Техникалық түсіндірме жазбасында келтірілген графиктер және суреттер ақ немесе миллиметрлік қағазға қара түспен сызылады, мәтіндегі сілтемеден кейін орналастырылады. Техникалық түсіндірме жазбасында әдістемелікте берілген бүкіл материалды көшіріп жазбай, өздігінен қарастырған нұсқаны негіздеу қажет, орындау әдісін және алынған қорытындылық нәтижесін береді.

6.1. Баланыс жолдарын жобалау нұсқалары

Мысал ретінде 3.3 км^2 тұрақты токпен электрленген екі сызықты темір жол **A-P** (6.1-сурет) бойымен салынатын оптикалы-талшықты байланыс жолын жобалау қажет. Байланыс жолы цифрлық жүйедегі «Соната» немесе «Сопка» ИКМ-120, ИКМ-480, ИКМ-1920 аппаратураларын пайдаланады.

Екі сызықты теміржол суреті **A - P** көрсетілген (6.1-сурет).

 A B B Г Д Е Ж З И К Л М Н О П Р

6.1-сурет

Г және **Д** бекеттерінің арасында кеме жүзетін, тереңдігі 6 м өзеннен теміржол көпірі салынған. Өзеннің ені, бекеттер

аралығы және басқа мәліметтер 6.2- кестеде берілген. Теміржол бекетіндегі байланыс нысандарын қарайық.

Теміржол рельсінен қашықтығы:

- ЭЦ, жолаушылар ғимараты, аялдама орны, энергия желісі кезекшісінің орны – 35 м;

- электрлік тартым станцасы – 50 м;

- кезекшілер дүңгіршектері – 5 м;

- электромеханик ғимараты – 100 м;

- реле жәшігі – 3 м;

- кабель магистралының күшейткіші орналасқан ғимарат – 125 м.

Байланыс жолы салынатын барлық бөлімше бойына жер жұмсақ, ауа райы бірқалыпты. Магистральдық және жолдық байланыстардағы арналардың саны 6.1-кестеде берілген.

6.1-кесте

Жобалау көрсеткіштері

Нұсқа	Арналар саны	
	магистральдық	жолдық
1	2	3
1	650	150
2	750	170
3	850	190
4	950	200
5	1000	220
6	1200	230
7	1300	250
8	1500	270
9	1600	275
10	1700	290
11	1800	295
12	1900	300
13	2000	290
14	2200	310

6.1-кестенің жалғасы

Нұсқа	Арналар саны	
	магистральдық	жолдық
1	2	3
15	2100	250
16	1950	270
17	1850	230
18	1750	290
19	1650	210
20	1550	220
21	1400	230
22	1300	340
23	1100	280
24	990	270
25	980	170
26	2000	150
27	1450	170
28	1350	250
29	1150	310
30	1250	410

А және **Р** бекеттерде ОРП (обслуживаемый регенерационный пункт – қызмет көрсетілетін регенерациялық пункт) орналастырылып, ал НРП (необслуживаемый регенерационный пункт – қызмет көрсетілмейтін регенерациялық пункт) кабель трассасының бойында оптикалы-талшықты байланыс жолындағы есептеулер бойынша орналастырылады.

6.2-кесте

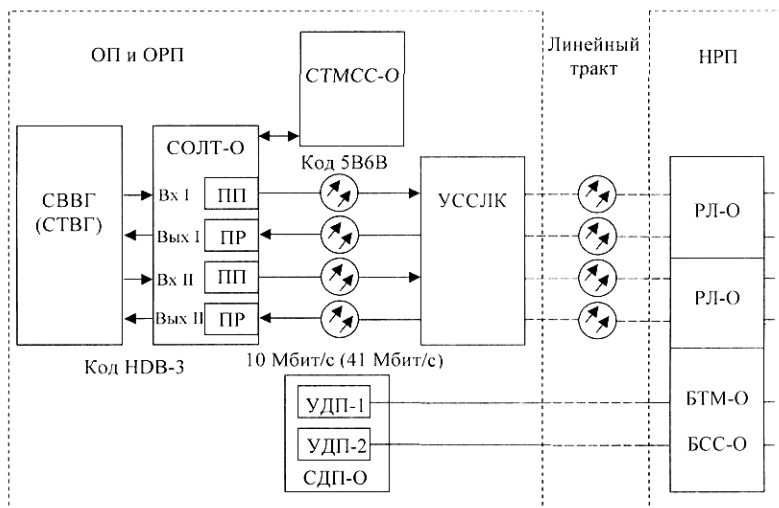
Нұсқа	Бекеттер аралығы, м														Біктік, м		Өзек ені, м	
	А-Б	Б-В	В-Г	Г-Д	Д-Е	Е-Ж	Ж-З	З-И	И-К	К-Л	Л-М	М-Н	Н-О	О-П	Төсеніш	Рельс		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1 (16)	11	30	14	11	12	15	17	26	24	20	23	10	21	19	23	7.2	7.7	240
2 (17)	30	11	15	26	20	10	19	11	14	12	17	24	23	21	23	4.1	4.6	205
3 (18)	23	19	21	10	23	20	24	26	17	15	12	11	14	30	11	6.7	7.8	150
4 (19)	19	10	20	26	15	11	30	23	23	21	24	17	12	14	11	3.8	4.8	190
5 (20)	11	14	12	17	24	21	23	30	11	15	26	20	10	19	23	5.4	6.2	160
6 (21)	30	15	20	19	14	17	23	23	11	26	10	11	12	24	21	6.5	7.0	195
7 (22)	21	24	12	11	10	26	11	23	23	17	14	19	20	15	30	3.3	4.8	170
8 (23)	24	11	26	23	17	19	15	21	12	10	11	23	14	20	30	4.9	5.4	180
9 (24)	30	20	14	23	11	10	12	21	15	19	17	23	26	11	24	7.4	8.5	210
10 (25)	20	23	10	21	19	23	11	30	14	11	12	15	17	26	24	5.8	6.4	200
11 (26)	24	26	17	15	12	11	14	30	11	23	19	10	21	23	20	5.1	5.6	210
12 (27)	26	15	11	30	23	10	23	24	17	12	14	11	19	21	20	6.2	7.2	185
13 (28)	20	21	19	11	14	12	17	24	23	10	23	30	11	15	26	3.9	6.8	215
14 (29)	21	11	12	24	10	30	15	20	19	14	17	23	23	11	26	4.4	5.8	190
15 (30)	26	11	23	23	17	14	19	20	15	30	10	24	12	11	21	5.6	7.6	170

6.2. Оптикалы-талшықты жүйені таңдау

Оптикалы-талшықты байланыс жолын жобалағанда, ең алдымен онда пайдаланылатын байланыс жүйені таңдау керек. Қазіргі кезде оптикалы-талшықты байланыс жүйесі әр түрлі сатылы цифрлы орналасушы аппаратураларды пайдаланады. Олардың ішінде: «Соната-2», «Сопка-2М» жүйелерінде ИКМ-120 аппаратурасы; «Сопка-3», «Соната-3М» жүйелерінде ИКМ-480 аппаратурасы; «Соната-4», «Соната-4М» жүйелерінде ИКМ-1980 аппаратурасы пайдаланылады. Аймақтық байланыс желілерінде «Соната-2», «Сопка-2М» жүйелері ИКМ-120 аппаратураларын пайдаланса, «Сопка-3», «Соната-3М» жүйелері ИКМ-480 аппаратураларын пайдаланады. Бұл жүйелерді 600 км-ге дейінгі магистральдық желілерде де қолдануға болады.

Ұзындығы 1000 км және одан да артық магистральдық желілерде «Соната-4» жүйесі ИКМ-1920 аппаратурасы пайдаланылады.

Оптикалы-талшықты сигнал беру жүйесінің «Сопка-2», «Сопка-3», «Сопка-3М» құрылымдық сұлбасы 6.2-суретте көрсетілген. Олардың құрамында орналасқан жабдықтар САҚО (стойка аналого-цифрового оборудования – аналогты-цифрлық құрылғылар тағаны), СВВГ (стойка вторичного временного группообразования – екінші реттік уақыттық топқұрылуының тағаны), СТВГ (стойка третичного временного группообразования – үшінші реттік уақыттық топқұрылуының тағаны), СОЛТ (стойка оборудования линейного тракта – күре байланыс жолдық жабдықтар тағаны), СТМСС (стойка телемеханики и служебной связи – қашықтан басқару және қызметтік таған), СДП (стойка дистанционной подстанции – қашықтан қоректендіру станцасының тағаны) және басқа өлшеу, тексеру құралдары кіреді. Олардың негізгі сипаттамалары 6.3-кестеде берілген.



6.2-сурет

6.3-кесте

Сигнал беру жүйесінің сипаттамасы	Сопка-2	Соната-2М	Сопка-3	Соната-3М	Соната-4	Соната-4М
Жүйе	ИКМ-120	ИКМ-120	ИКМ-480	ИКМ-480	ИКМ-1920	ИКМ-1920
Жылдамдық	8,5	8,5	34	34	140	140
Толқын ұзындығы	1,3	0,85	1,3	1,55	1,3	1,55
Энергетикалық қор	43	45	41	38	38	38
Код	5В6В	5В6В	5В6В	1В2В	10В1Р1	10В1Р1
Байланыс қашықтығы	600 мың км-ге дейін					
Сәуле көзі	лазерлік диод (ЛД)					
Сәуле қабылдағыш	көшкіндік сәуледіод		Р1М-РВ		ЛФД	
ОТ түрі	көп модты		бір модты			

6.3. Оптикалық байланыс кабелін таңдау

Оптикалық кабель 4,8,16 және одан да көп талшықтардан құралады. Талшықтар сатылы, градиентті және бір модты болып жіктелетін 0,85, 1,3 және 1,5 мкм-лік толқын ұзындығындағы сәулені таратуға арналған. Оптикалық кабельдерде металдан жасалған құрылымдары (мықтылық, қабық, сауыт, т.б.) болулары немесе олардың болжаулары мүмкін. Металсыз жасалған кабель ықшам әрі жеңіл болады.

Оптикалық кабель мынадай көрсеткіштеріне байланысты таңдалынады:

- а) кабельдің атқаратын міндеті бойынша;
- б) қолданылатын аппаратураларының түрлері бойынша;
- в) байланыс арналарының саны бойынша.

Берілген байланыс арналарының санына және пайдаланылатын аппаратура жүйесіне байланысты оптикалық талшық саны анықталады. Мысалы, 900 екіжақты арналық байланысты ИКМ–480 аппаратурасын пайдаланып жасағанда, төрт оптикалық талшық керек. Оның екеуі тура бағытта, екеуі кері бағытта пайдаланылады. Содан кейін таңдалған оптикалық жүйеге, толқын ұзындығына және оптикалық талшық түріне байланысты 4.4-кестеден кабель маркасы таңдалынады:

- ОК – оптикалық көп модты градиентті 0,55 мкм толқын ұзындығына арналған кабель;

- ОЗКГ – оптикалық көп модты градиентті аймақтық жұмыр сыммен сауытталған 1,3 мкм толқын ұзындығына арналған кабель;

- ОМЗКГ – оптикалық бір модты су астына салынатын 1,3 мкм толқын ұзындығына арналған кабель;

- ОКЛ – оптикалық бір модты 500 м тереңдікке дейінгі су астына салынатын кабель.

Шартты түрде оптикалық кабельдерді маркалау мынадай болуы мүмкін

$$NNNPB - H - a_1 - a_2 - a_3 / a_4 - a_5 / a_6 - A,$$

мұнда NNN – оптикалы талшықтың атқаратын міндеті және қолданылатын толқын ұзындығы;

P – металл қабығының түрі (металсыз болса, ол әріп болмайды);

B – сауыт түрі (сауытсыз болса, ол әріп болмауы мүмкін);

H – өртке жанбайтын құрал (жоқ болса, әріп болмайды);

A – кең жолақтылық коэффициенті (500-800 МГц-км);

a_1 – өзекше диаметрі, мкм;

a_2 – жасалынған кабель құрылымының нөмірі;

a_3 – ең көп өшулік, дБ/км;

a_4 – ең көп дисперсия ПС(Снм.км);

a_5 – оптикалы талшық саны;

a_6 – қашықтықтан қоректендіруге арналған мыс сым саны.

6.4. Оптикалы талшық параметрлерін есептеу

Оптикалы-талшықты байланыс жолының параметрлерін келтірейік:

- апература саны;
- жарық өткізгіштігінің мод саны;
- жарық өткізгіштігінің өшулігі;
- жарық өткізгіштігінің дисперсиясы.

Апература саны есептелетін формула

$$NA = n_1 \cos \varphi_{kp} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

мұнда n_1 мен n_2 – өзекше мен қабықшадағы сыну көрсеткіштері (көп модты талшықты 1,53 пен 1,5 деп алады, ал бір модты талшықты 1,46 мен 1,457).

Мод саны есептелетін формуладағы нормаланған жиілік

$$V = \frac{2P \cdot d_1}{\lambda} NA,$$

мұнда d_1 – талшықтың өзекшесінің диаметрі, мкм;

λ – толқын ұзындығы, мкм;

NA – апература саны.

Жарық өткізгіштігінің мод саны:

1) $N = V^2$ – сатылы талшықта;

2) $N = \frac{V^2}{2}$ – градиентті талшықта.

Жарық өткізгіштігінің өшулігі. Оптикалы талшықтың өшулігі екі себептен болады. Біреуі энергияның жұтылуынан, ал екіншісі – шашырауынан болады.

Жұтылудан болатын өшулік диэлектрлік поляризация шығынынан пайда болып, толқын өскен сайын өсіп, жарық өткізгіштің $\text{tg}\delta$ – материалына тәуелді болады. Жұтылу өшулігін есептеу формуласы

$$a_{\text{ж}} = \frac{P \cdot n_1}{\lambda} \text{tg}\delta \cdot 8,69 \cdot 10^3 \text{ дБ / км},$$

мұнда λ – толқын ұзындығы, мкм;

$\text{tg}\delta = 10^{-11}$ – тангенстік шығындық бұрыш.

Бұл формуладағы сыну көрсеткіші мен тангенстік диэлектрлік шығыс жиілікке байланысты болғандықтан, өшулік есебі дәл емес, тек жуық шамасын ғана береді.

Шашыраудан болатын өшулік жарық өткізгіш талшықтың өшулігінің төменгі шегін анықтап, толқын ұзындығы өскен сайын азаяды. Шашырау өшулігі материалдың біртекті болмауынан және сыну көрсеткішінің жылулық флуктуациясынан пайда болады.

Сыну көрсеткішінің флуктуациясынан болатын шығынды Рэле шығыны деп атап, мына формуламен есептейді

$$a_p = \frac{R_p}{\lambda^4} \text{дБ / км},$$

мұнда λ – толқын ұзындығы, мкм;

R_p – шашырау коэффициенті.

Сонда $1 \text{ дБ/км} \cdot \text{мкм}^4$ – бір модтық жарық өткізгіште немесе $1,5 \text{ дБ/км} \cdot \text{мкм}^4$ – көп модтық жарық өткізгіште.

Жалпы алғанда, оптикалы-талшықтық қосынды өшулігі

$$a_c = a_{ж} + a_p - a_{пл} + a_{пр},$$

мұнда $a_{ПК}$ – толқын ұзындығы 1.6 мкм-ден артық болғандағы инфрақызыл аймағындағы өшулік коэффициенті (басқа толқын ұзындығында есептелмейді);

$a_{пр}$ – материалдағы қосымшалардан болатын өшулік коэффициенті (бір модтық және көп модтық жарық өткізгіштерде өшулік 0,3 дБ/км- $\lambda = 0,85$ мкм болғанда, 0,1 дБ/км- $\lambda = 1,3$ мкм болғанда және 0,04 дБ/км- $\lambda = 1,55$ мкм болғанда).

Өзіндік өшулікті (a_c) есептегеннен кейін, оның мәнін кабель маркасында көрсетілген жоғарғы мәнімен салыстырады, келесі есептеулерде екеуінің салыстырғандағы артық мәні алынады.

Оптикалы талшықтың өзіндік өшулігінен (a_c) басқа кабельдік қосымша өшуліктері a_K -де болады. Ол оптикалы талшықтың көлденең қимасының ауытқуынан, микро- және макро- майысулардан, құрылымдық және технологиялық біртекті болмауларынан пайда болады. a_K - ның жуықшамасын есептеу формуласы

$$a_K = a_{ГВ} + \frac{A_m}{\ell_{СТР}}, \text{ дБ/км}$$

мұнда $a_{ГВ}$ – талшық көлеміне байланысты қосымша өшулік (шамамен $0.5 \cdot a_c$) дБ/км;

A_m – талшықтың муфтасындағы қосылған жеріндегі қосымша өшулік (0,3 әр муфтада), дБ/км; $\ell_{СТР}$ – құрылыстық ұзындық, км.

Әдетте, сәуле бергіштің көлденең қимасының көлемі S_n талшық өзекшесінің көлденең қимасынан S_c үлкен болатындықтан, сәуле шығарғыштан шыққан энергия толықтай талшық бойымен тарамайды. Сәуленің талшыққа кіретін жеріндегі шығын

$$a_{\text{өз}} = 10 \lg \left| \frac{2 \cdot S_n}{m \cdot NA^2 \cdot S_c} \right|, \text{дБ}$$

мұнда m – аппаратураның энергетикалық потенциалын ескеретін коэффициент (жарық диодында $m=2$, лазерде $m=10$); $S_n=3 \times 50$, мкм – лазерде, $S_n=5 \times 100$, мкм – жарық диодта; $S_c = p \cdot a^2$, мкм; a – өзекше диаметрі, мкм.

Қазіргі қолданылып жүрген оптикалы-талшықты сигнал беру жүйесінде сәуленің оңтайлы бағытталуының арқасында талшыққа кірер жердегі шығын сигнал беру қуатының 4% -нан аспайды. Сондықтан талшық шетіндегі шығын

$$a_{\text{ш}} = q \cdot a_{\text{өз}},$$

мұнда q – түзету коэффициенті ($q=2$ көп модтықта, $q = 0,1$ бір модтықта).

Жарық өткізгіштігінің дисперсиясы. Жарықөткізгіш талшықпен сигнал бергенде, импульстік сигнал талшық бойымен таралу барысында қашықтыққа байланысты бұзылып, оның ені өсіп, жалпая бастайды. Яғни, импульс беру уақыты өседі. Соның салдарынан импульстердің арасы азайып, олар бір-біріне қосылып кетеді. Бұл құбылысты дисперсия деп атайды.

Импульстің жалпайып кетуі сигнал беру жылдамдығын шектеп, ретрансляциялық қашықтықты азайтады. Сөйтіп, дисперсия арналардың өткізу қабілетін азайтады.

Импульстің кеңеюі

$$\tau = \sqrt{t_{\text{шығ.}}^2 - t_{\text{кір}}^2},$$

мұнда $t_{\text{шығ.}}$, $t_{\text{кір}}$ – импульстің шығыс және кіріс жерлеріндегі ені (импульстің ені оның жарты биіктігінің тұсынан өлшенеді).

Сөйтіп, дисперсия жарық өткізгіштің жиіліктік ауқымын азайтады және сигнал беру қашықтығын қысқартады.

Дисперсияның пайда болу себебі, сәуле шығару көзінің ауытқуынан $\Delta\lambda$, спектрі пайда болуынан және көп модтықтан болады. Оның біріншісі хроматикалық дисперсия деп аталады. Хроматикалық дисперсия екіге бөлінеді: материалдық және

толқындық. Материалдық дисперсия материалдық сыну коэффициентінің толқын ұғындығына байланысты болады. Толқындық дисперсия мод ішіндегі оның жарық өткізгіштің құрылымына байланысты болады. Ол сигнал тарату коэффициентінің толқын ұзындығына тәуелділігінен болады. Көп модтық талшықта әр модтық таралу жылдамдығы әр түрлі болатындықтан, қосымша дисперсия пайда болады. Қорытынды дисперсия

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{мод}}^2 + (\tau_{\text{мат}} + \tau_{\text{толқ}})^2},$$

бір модтық талшықта

$$\tau = (\tau_{\text{мат}} + \tau_{\text{толқ}}) \text{ болады.}$$

Қосымша Б-да осы дисперсиялардың есептелген мәндері берілген. Оптикалы талшықтың түрлеріне тәуелді олардағы дисперсия да әр түрлі болады. Сатылы көп модты талшықта модтық дисперсия басым болады ($102 \div 107 \text{ нс/км}$). Сатылы бір модтық талшықта материалдық және толқындық дисперсиялардың шамасы қарайлас, бірақ қарама-қарсы бағытта болып, жалпы шамасы аз болады ($\lambda = 1 : 2 \div 1,7 \text{ мкм}$ болғанда 1 нс/км -ден аспайды). Градиентті талшықта әр түрлі модтағы жылдамдықтар теңестіріліп, тек материалдық дисперсиямен анықталады. Ол толқын ұзындығы өскен сайын азая түседі.

6.5. Регенерациялық бөлім ұзындығын есептеу

Регенерациялық бөлім ұзындығы оптикалық кабельдің өшулік коэффициентіне және дисперсиясына тәуелді болады.

Кабельдің өшулігі онымен берілетін сигналдың қуатын азайтады, соның салдарынан регенерациялық бөлім ұзындығы азаяды. Дисперсия импульстерді жалпайтып, бірін-біріне қосып, оларды ажырату мүмкіндігін азайтады. Байланыс жолының ұзындығы өскен сайын дисперсия әрекеті күшейе түседі. Дисперсия, сонымен қатар талшықпен берілетін сигналдың жиілік ауқымын ΔF азайтады.

Регенерация бөлімінің ұзындығын есептегенде, оның өшулігі арқылы ұзындығын есептеп, одан дисперсия арқылы ұзындығын өз алдына есептеп, екеуін салыстырады; оның қайсысы аз болса, соны алады.

Өшулік бойынша регенерация бөлім ұзындығын есептеу формуласы

$$\ell_{py}^{\theta} = \frac{\mathcal{E} - A_3 - a_{ш}}{a_C + a_K}, \text{ км}$$

мұнда $\mathcal{E}$ – энергетикалық қор (6.3 - кесте);

A_3 – жүйенің энергетикалық қоры (шамамен 5 дБ).

Дисперсия арқылы есептелетін регенерациялық бөлім ұзындығы

$$\sqrt{\ell_{py}^D} = \frac{\Delta F x}{\Delta F}, \quad \ell_{py}^D = \frac{\Delta F x^2}{\Delta F^2}, \text{ км}$$

мұнда ΔF – оптикалы-талшықтық жүйесінің жылдамдығы, Мбит/с (6.3-кесте);

$$\Delta F x = \frac{1}{\tau} \cdot 10^{-3} \text{ болады;}$$

τ – дисперсия, нс/км.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. *Воронков А.А.* Исследование параметров взаимных влияний в кабелях связи. – Самара: ПГАТИ, 2000.
2. *Баловленков Е.В.* Какая линия перспективнее? // Вест. Связи. – 1992. – № 1. – М.: Радио и связь, 1992.
3. *Бутусов М.Н. Верник СМ. и др.* Волоконно-оптические системы передачи. – М.: Радио и связь, 1999.
4. *Верник СМ. Кочановский Л.Н.* Оптимизация линейных сооружений связи. – М.: Радио и связь, 1984.
5. Волоконно-оптические системы связи: Справочник. – М.: Радио и связь, 1994.
6. Волоконно-оптическая техника: история, достижения перспективы. / Сб. статей. – М.: Соппесі, 2000.
7. *Гауэр Дж.* Оптические системы связи. Ағылш. аударма. – М.: Радио и связь, 1989.
8. *Гроднев И.И. Верник СМ.* Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988.
9. *Гроднев И.И. Курбатов Н.А.* Линейные сооружения связи. – М.: Радио и связь, 1974.
10. *Гроднев И.И., Ишкин В.Х.* Волоконно-оптическая связь вдоль линии электропередач // Электросвязь. – 1996. – № 3.
11. *Гроднев Г.И., Сергейчикова Н.М.* Электропитание волоконно-оптических систем передачи // Вест. связи. – М.: Вестник связи, 1987.
12. *Ворокин А.Е., Московитин В.Д.* Перспективы развития телекоммуникационного комплекса Россия по 2005 г. Тр. междуказ. Академии связи, 2(18), 2001.
13. *Давыдов Г.Г. Водочкова Н.В.* Пути развития электросвязи в России // Электросвязь. 1993. № 11. – М.: 1993.
14. Инженерно-технический справочник по электросвязи. Кабельные и воздушные линии связи. Перераб. 3-е издание – М.: Радио и связь, 1986. – с. 466–487, 655.
15. *Добровотворский И.Н.* Теория электрических цепей. – М.: Радио и связь, 1989.

16. *Кемельбеков Б.Ж. Мышкин В.Ф., Хан В.А.* Оптические кабели связи. – Томск: ИНГЛ, 2001.
17. *Баннов В.В., Попов В.Б.* Математическая модель электромагнитных влияний на дальнем конце между цепями кабеля для широкополосного абонентского доступа // *Электросвязь*, 2010. № 2. – С. 18–21.
18. *Мирошников Д.Г.* Новый шаг интеграции голова и данных // *Вест. Связи*. – 2000. № 4. – М.: Вестник связи.
19. *Мирошников Д.Г.* Универсальная платформа доступа для операторов положенных и корпоративных целей // *Вест. Связи*. – 2000. № 10. – М.: Вестник связи.
20. *Муродян А.Г., Гольдфарб И.С. Иноземцев В.П.* Оптические кабели многоканальных линии связи. – М: Радио связь, 1987.
21. *Ниеталин Ж.Н.* Электрлік байланыс теориясы. Оқу құралы. – Алматы: РБК, 1994.
22. *Ниеталин Ж.Н., Ниеталина Ж.Ж.* Байланыс жолдары. Оқу құралы. – Алматы: РБК, 1994.
23. *Ниеталина Ж.Ж.* Теория электрической связи. – Алматы: РБК, 2000.
24. *Ниеталина Ж.Ж.* Линии связи. – Алматы: РБК, 2003.
25. *Ниеталин Ж.Н., Ниеталина Ж.Ж., Сағындыкова А.Ж.* Бағыттаушы электробайланыс жолдары. – Алматы: ҚазҰТУ, 2004.
26. *Парферинов Ю.А., Белов Ю.Н., Москаленко Ю.С.,* Кабельная линия местной связи и технологии их монтажа. – М.: МГУСИ, 2002.
27. *Парферинов Ю.А., Мирошникова Д.Г.* Последняя миля на медных кабелях. – М.: Экотренуз, 2001.
28. *Парферинов Ю.А.* Кабельные линии сельских сетей. – М: Радио и связь, 1984.
29. *Парферинов Ю.А.* Кабели электросвязи. – М: Экотренуз, 2003.
30. *Попов Д.А., Нисенбаум Ф.А., Попова Г.А.* Расчет и проектирование волоконно-оптических линии связи // *Автоматика, связь, информатика*, 1999.

31. Руководство по строительству линейных сооружений связи. – М.: ССТБ-ТОМАГС, 1996.
32. Семенов А.Б. Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях. – М: Высш. шк., 1998.
33. Скляр О.К. Оптические кабели зарубежного производства. – М.: Радио и связь, 1998.
34. Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи. – М.: Солон, 2001.
35. Слепов Н.Н. Параметры промышленных оптических кабелей // Вест. Связи. – 2000. – № 4. – М.: Вестник связи, 2000.
36. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М: Радио и связь, 2000.
37. Смирнов Н.Г. Структурированные кабельные системы. – М.: Экотренуз, 1998.
38. Кунегин С.В. Системы передачи информации. Курс лекций. М.: В/ч 33965, 1997.
39. Убайдуллаев Р.Р. Волоконнооптические сети. – М: Экотренуз, 2000.
40. Цим А.Ю., Камалогин В.И. Междугородние симметричные кабели для цифровых систем передачи. – М: Радио и связь, 1984.

Оптикалық байланыс кабельдері. ОК типті кабельдер

Кабель маркасы	Құрылым міндеті мен негізгі элементтері	Ескертулер
ОК-50-2-5-4	Өзектің диаметрі 50 мкм, айнала полимерлік қаптаудағы төрт ОТ-мен ширатылған орталық қуатты элементпен (полимерлік қаптаудағы болат трос) жасалған 2-ші өңдеу (гидрофобтық толықтырумен). Қаптаудың бетінде қорғаушы құбыр бар. Сыртқы қабығы полиэтиленнен жасалған. ОТ өшулігі 5 дБ/км дейін; ОТ саны – 4.	Құрылыс ұзындығы – 2000 м
ОК-50-2-5-8	Сондай, ОТ өшулігі 5 дБ/км дейін, ОТ саны – 8.	Ол да сол
ОК-50-2-3-4	Сондай, ОТ өшулігі 3 дБ/км дейін, ОТ саны – 4.	Ол да сол
ОК-50-2-3-8	Сондай, ОТ өшулігі 3 дБ/км дейін, ОТ саны – 8.	Ол да сол
ОЗКГ-1-0.7-4/4	Оптикалық кабель: арматураланған металл элементтері бар; қырындалған орталық элементінің қырына қашықтан қоректендіру үшін ОТ – төрт мыс талшығы салынған; өшулігі 0,7 дБ/км -ден аспайтын төрт ОТ-сы бар.	Құрылыс ұзындығы – 2200 м Өзектің диаметрі – 50мкм
ОЗКГ-1-0.7-8/4	Ол да сол, ОТ саны – 8.	Ол да сол
ОЗКГ-1-0.7-4/0	Ол да сол, мыс талшығы жоқ, ОТ саны – 4.	Ол да сол
ОЗКГ-1-0.7-8/0	Ол да сол, ОТ саны – 8.	Ол да сол

Ескерту: осыдан басқа, кестеде келтірілген таңбалау негіздеріне сәйкес әр түрлі өшулік коэффициентіне қатысты

(дБ/км) ОЗКГ оптикалық кабельдері қолданылады: ОЗКГ"-1-1,0-4/4, ОЗКГ-1-1,0-8/4, ОЗКГ-1-1,0-4/0, ОЗКГ-1-1,0-8/0, ОЗКГ-1-1,5-4/4, ОЗКГ-1-1,5-8/4, ОЗКГ-1-1,5-4/0, ОЗКГ-1-1,5-8/0.

ОКЛ типті кабельдер. Кабельдерді таңбалау:

- өндеу нөмірін (01– магистральдық және ішкі аймақтық кабель, оның әйнекті-пластика шыбығынан жасалған орталық қуатты элементі айнала гидрофобтық толықтырумен және ПЭ полимерлік қаптаудағы оптикалық модульдермен ширатылған;
- 02 – ол да сол, бірақ ортасындағы трос болаттан жасалған),
- өшулік коэффициентін (дБ/км, аспайтын мөлшерді),
- дисперсияны (нс/км, аспайтын мөлшерін),
- ОТ санын көрсетеді.

Келесі кабельдер таңбалары қолданылады: ОКЛ-01-0,3/3.5-4 (8, 16); ОКЛ-01-0,3/2,0-4(8,16); ОКЛ-02-0,3/3,5-4(8,16); ОКЛ-02-0,3/2,0-4(8,16).

Кабельдің құрылыстық ұзындығы – 2200 м. Өзектің диаметрі – 10 мкм.

ОМЗ типті кабельдер:

ОМЗКГ-10-1-0,7-4; ОМЗКГ-10-1-0,7-8 – магистральдық және ішкі аймақты-оптикалық кабель; қырындалған орталық элементінің қырына бір модты ОТ (өзегінің диаметрі 10 мкм) салынған; қаптаудың беті гидрофобтық толықтырумен жасалған ПВХ пластиктен; ПЭ қаптаудағы фторопласт немесе полиэтилентерефталат біріктіруші бауымен ширатылған әйнекті-пластик шыбығы және шыны талшықтар тәрізді 12 металл емес, арматура элементтерімен сауытталған. Өшулік коэффициенті – 0,7 дБ/км-ге дейін. ОТ сандары 4 пен 8-ге сәйкес.

ОМЗКГ-10-2-0,7-4; ОМЗКГ-10-2-0,7-8 – магистральдық және ішкі аймақтық оптикалық кабель; әйнекті-пластикпен арматураланған қырындалған орталық элементінің қырына бір модты ОТ (өзегінің диаметрі 10 мкм) салынған; қаптаудың беті гидрофобтық толықтырумен жасалған ПВХ пластикаттан; ПЭ қаптаудағы фторопласт немесе полиэтилентерефталат біріктіруші бауымен ширатылған әйнекті-пластик шыбығы және шыны

талшықтар тәрізді 12 металл емес арматура элементтерімен сауытталған. Өшулік коэффициенті – 0,7 дБ/км-ге дейін. ОТ сандары 4 пен 8-ге сәйкес.

ОМЗВ-10-0,7-4; ОМЗВ-10-1-0,7-8 – кеме жүретін өзендерде, 2 м-лі саз батпақты тереңдікте магистральдық және ішкі аймақты-оптикалық кабель төсеу үшін қолданылады: арматураланған қырыңдалған орталық элементінің қырына бір модты ОТ (өзегінің диаметрі 10 мкм) салынған; қаптаудың беті гидрофобтық толықтырумен жасалған ПВХ пластикаттан, жуандығы минималды 0,6 мм-лік металл (сым, алюминий) түтігі бар, болат сымдармен сауытталған, қалыңдығы минималды 1,5 мм-лі ПЭ қаптауда болады. Өшулік коэффициенті – 0,7 дБ/км-ге дейін. ОТ сандары 4 пен 8-ге сәйкес. Құрылыс ұзындығы – 2000 м.

Ә-қосымшасы

Ә1-кесте

Оптикалы-талшықтың дисперсиясын есептеу нәтижелері

Сәулежел түрі	X, мкм	T_{Mat} , нс/км	T_{ec} , нс/км	T_{mod} , нс/км
Градиенттік көп модтық	0,85	5,076	11,860	1,02
	1,00	1,708	9,364	1,02
	1,3	0,242	7,179	1,02
	1,55	0,226	6,330	1,02
Сатылы бір модтық	0,85	0,419	0,085	-
	1,00	0,179	0,085	
	1,30	0,033	0,085	
	1,55	-0,036	0,085	

Б-қосымшасы

Б1-кесте

СЦБ және байланыс объектілеріне тармақталу түрлері

№ б/б	СЦБ және байланыс объектілерінің аты	СЦБ және байланыс тізбектері	
		шлейфпен енгізілген	параллельді енгізілген
1	2	3	4
1	Жолаушылар ғимараты немесе станцалардағы ЭЦ постары, күшейткіш пункттерсіз	ПДС, ЭДС, лпс, СЭМ, ДБК, ВГС, ПС, ПРС, ПГС, МЖС, ТУ, ТС, Пр-зд, СЦБ, СЦБ-	
2	ЭЦ постары бар станцалардағы жолаушылар ғимараты	—	ЭДС, ЛПС, СЭМ, ДБК, ВГС, ПС
3	Поезд тоқтайтын пункт	ПГС, МЖС	ПС
4	Автобұғаттау – өту сигналы немесе күзетілмейтін жолды кесіп өту жері	ПГС, МЖС, СЦБ	
5	Станцаның кіріс сигналы	ПГС, СЦБ	ПДС
6	Күзетілетін жолды кесіп өту жері	ПГС, МЖС, СЦБ, Пр-	ПДС, ЛПС
7	Тартым станцасы	ТУ, ТС	ЭДС, ПС
8	Түйіспелік желінің қашықтан күзету орны	—	ЭДС, ПС
9	Түйіспелік желіні бөлектеу күзету орны	ТУ, ТС	ЭДС

10	Жол қызметінің ғимараты (сонымен бірге айдау мен станцалардағы жылытуға арналған жай)	ПГС	ЛПС
11	СЦБ немесе байланыс электромеханигінің пәтері	ПГС	СЭМ
12	Станцаның тауарлық конторы	—	ВГС

Ескерту: ПДС (поездная диспетчерская связь) – поезд диспетчері байланысы; ЭДС (энергодиспетчерская связь) – энерго-диспетчер байланысы; СЭМ (служебная связь электро-механиков) – электромеханиктердің қызметтік байланысы; ПГС (перегонная связь) – бір жерден екінші жерге айдау байланысы; ВГС (вагонно-распорядительная связь) – вагондық тәртіп байланысы; ПС (постанционная связь) – станцалық байланыс; ЛПС (линейно-путевая связь) – жолаушы жолы байланысы; МЖС (поездная межстанционная связь) – поездік станцалар аралық байланысы; ДБК (пассажирская связь диспетчеров по рас-пределению мест на пассажирские поезда) – жолаушылар поездарына орын бөлетін диспетчерлердің жолаушы байланысы; ПРС (цепи поездной радиосвязи) – поездік радиобайланыс тізбектері; Пр-зд (связь дежурного по станции с охраняемым переездом) – станца күзетшісінің күзетілетін жолды кесіп өту жерімен байланысы; ТУ, ТС (цепи телеуправления и теле-сигнализации тяговыми подстанциями) – тартым станцаларын қашықтан телебаскару мен телесигналдау; СЦБ-ДК (цепь диспетчерского контроля СЦБ) – СЦБ-ны диспетчерлік бақылау; СЦБ (цепи СЦБ) – СЦБ тізбектері.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе.....	3
1. БАҒЫТТАУШЫ БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫНЫҢ СИГНАЛ ТАРАТУ ПАРАМЕТРЛЕРІ.....	4
1.1. Симметриялы кабель тізбектерінің біріншілік параметрлері.....	4
1.2. Өуе байланыс жолының біріншілік параметрлері.....	10
1.3. Симметриялық тізбектердің екіншілік параметрлері.....	12
1.4. Коаксиал тізбектеріндегі электромагнит өрісі.....	14
1.5. Шығынды коаксиал тізбектерінің біріншілік параметрлері.....	16
1.6. Коаксиал тізбектерінің екіншілік параметрлері.....	21
1.7. Коаксиал тізбектер сымдары диаметрлерінің тиімді қатынасы.....	22
1.8. Коаксиал тізбектерінің біртекті болмауының әсері.....	23
1.9. Жарықөткізгіш талшықпен электрсигналын тарату.....	23
1.10. Оптикалы талшықтың параметрлері.....	30
2. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ ТІЗБЕКТЕРІНІҢ АРАСЫНДАҒЫ ӨЗАРА ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӘСЕРЛЕР.....	38
2.1. Байланыс тізбектері арасындағы өзара әсерлердің біріншілік параметрлері.....	38
2.2. Байланыс тізбектерінің жақын және қашық шеттеріндегі әсерлері.....	42
2.3. Байланыс тізбектері арасындағы өзара әсерлердің екіншілік параметрлері.....	43
2.4. Байланыс тізбектеріндегі өзара әсерлерді азайту әдістері.....	46
2.5. Өуе байланыс жолы тізбектеріндегі өзара әсерді азайту.....	47
2.6. Төменгі жиілікті кабельдегі өзара әсерді азайту.....	51
2.7. Жоғары жиілікті кабельдегі өзара әсерді азайту.....	55
2.8. Коаксиал тізбектерді өзара әсерден қорғау.....	58
2.9. Жарық өткізгіш талшықтар арналарыныңөзара әсерден қорғанулығы.....	59

3. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫН ЖОБАЛАУДАҒЫ БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫН ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕРІ	62
3.1. Симметриялы байланыс кабелінің параметрлерін есептеу.....	62
3.2. Коаксиалды байланыс кабелінің параметрлерін есептеу.....	64
3.3. Оптикалы-талшықты байланыс кабелінің параметрлерін есептеу.....	65
3.4. Тізбектердің өзара әсер параметрлерін есептеу.....	67
3.5. Сыртқы электромагниттік қауіпті және бөгеулік әсерлерді есептеу.....	68
3.6. Байланыс жолдарының өміршеңдік пен сенімділік параметрлерін есептеу.....	70
4. БАЙЛАНЫС ТІЗБЕКТЕРІНДЕГІ ӨЗАРА ӘСЕРЛЕРДІ АЗАЙТУ	72
4.1. Сыртқы электромагниттік әсерлерден қорғау шаралары.....	72
4.2. Төмен жиіліктік кабельдегі өзара әсерлерді азайту.....	75
4.3. Жоғары жиілікті байланыс кабельдегі өзара әсерлерді азайту.....	81
4.4. Кабель қабықтарын тотығып бұзылудан қорғау.....	85
5. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ МЕН ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫН ПАЙДАЛАНУДАҒЫ ТЕХНИКАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР	90
5.1. Байланыс жолдарындағы жобалауды ұйымдастыру жұмыстары.....	90
5.2. Байланыс жолдарын импульстік әдіспен өлшеу.....	96
5.3. Байланыс кабель тізбектерінің араларындағы өзара әсерлерді өлшеу.....	99
6. БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫН ЖОБАЛАУ ..	106
6.1. Байланыс жолдарын жобалау мысалы.....	106
6.2. Оптикалы-талшықты жүйені таңдау.....	110
6.3. Оптикалық байланыс кабелін таңдау.....	112
6.4. Оптикалы-талшық параметрлерін есептеу.....	113
6.5. Регенерациялық бөлім ұзындығын есептеу.....	117
БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ.....	119
ҚОСЫМШАЛАР.....	122



**Ниеталин
Жақсылық Ниеталыұлы
(1933–2012)**

1933 жылы 15 желтоқсанда Ақтөбе облысының Шалқар ауданына қарасты Ұлықұм бойында дүниеге келген.

Техника ғылымдарының кандидаты (1963), профессор (1994), Халықаралық ақпараттандыру академиясының академигі (2004) жүздеген электрлік байланыс саласының білікті мамандарын даярлаған ұлағатты ұстаз.

Қазақ КСР Жоғарғы Кеңесінің Құрмет грамотасымен марапатталған, КСРО жоғарғы білім беру үздігі, Құрметті байланысшы, Орта Азия мен Қазақстан бойынша радиотехника және байланыс саласының тұңғыш профессоры. Бұл саладағы өндірістік, ғылыми және педагогикалық өтілі – 50 жылдан астам.

Мәскеу электртехникалық байланыс институтын (1952) үздік бітіріп, еңбек жолын Ташкенттегі электртехникалық байланыс институтының деканы қызметінен бастады.

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық университетінде және М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясында радиотехника, электроника және телекоммуникация мамандығы бағытында дайындау профессоры болды. Профессордың негізгі ғылыми бағыты – сымды, соның ішінде оптикалық талшықты байланыс жолымен орындалатын электрбайланысының сапасын арттыру, автоматтандырылған басқару жүйелеріндегі ақпаратты жеткізу әдістерін зерттеу, ақпараттың дәлдігін қарастыруға арналған. 110 ғылыми жұмыстар, оқулықтар және ғылыми-әдістемелік, терминдік сөздіктердің авторы.

Профессор Жақсылық Ниеталыұлы Ниеталин 2012 жылы 2 қаңтарда Алматы қаласында өмірден өтті.

Ұлттық кадрларды дайындауға үлкен үлес қосып, жастарды адамгершілікке баулып, оларды білім нәрімен сусындата білді. Өнегелі ұстаздың істері мен замандастарына берген ақыл-парасатын шәкірттері мәңгілік есте сақтайды.

Оқулық басылым

Ниеталин Жақсылық Ниеталыұлы
Ниеталина Жаннат Жақсылыққызы

БАЙЛАНЫС ЖОЛДАРЫНЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ

Оқу құралы

РБ бастығы	<i>З. Ғұбайдулина</i>
Редакторы	<i>Т. Жақсыбаева</i>
Компьютерде беттеген	<i>Л. Өмірбекова</i>

Басуға қол қойылды 08.10. 2012 ж.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84 1/16. №1 баспаханалық қағаз.
Көлемі 8,1 есепті баспа табақ. Шартты баспа табақ 7,5.
Тапсырыс № 615. Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы
Ақпараттық-баспа орталығы, Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-359-4

