# ЛЕКЦІЯ 5 ВИМОГИ СТАНДАРТУ ISO/IEC 11801 ДО ПАРАМЕТРІВ СКС З ВИКОРИСТАННЯМ МІДНИХ КОМПОНЕНТІВ

## 5.1 Загальні положення

СКС на базі мідних електричних кабелів на сьогодні досить популярні, тому необхідно враховувати вимоги стандартів до їх електромагнітних характеристик. Всі ці параметри є частотно-залежними величинами й у стандартах наведені відповідні формули, що відображають конкретну залежність параметра від частоти.

Основною метою побудови СКС є створення ліній і каналів потрібного класу, тобто трактів, що задовольняють вимогам конкретної апаратури. Багато параметрів СКС також залежать від якості монтажу СКС, якими б не були якісними компоненти, якщо здійснити неякісний монтаж інстальована СКС не буде задовольняти вимогам стандарту за електромагнітними параметрами. Зростання швидкостей передавання призвело до того, що вимоги до забезпечення необхідних значень електромагнітних параметрів каналів та ліній стали надто важливим. Це пояснюється тим, що сьогодні практично вичерпані можливості мідних кабелів з забезпечення якісної роботи застосувань і активного мережного обладнання. Ще кілька років назад можливості кабелів і компонентів значно перевищували вимоги активного мережного обладнання й застосувань, це привело до помилкової думки, що монтаж витої пари та розеткових модулів не здійснює особливого впливу на функціонування СКС – мережне обладнання однаково працює. Сьогодні (з переходом на гігабітні швидкості) стало очевидно, що неякісний монтаж приводить до повної непрацездатності СКС і активного обладнання, тому дотримання норм і правил монтажу СКС є необхідною умовою, яка дозволяє забезпечити відповідні значення параметрів кабельних трактів відповідно до вимог стандартів.

**5.2 Хвильовий опір**

Хвильовий або характеристичний повний *опір* лінії (у термінах стандарту – каналу або базової лінії), *Zc* (Characteristic impedance) – це величина, що визначається співвідношенням:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{r_0 + j\omega L_0}{g_0 + j\omega C_0}} = |Z_0| \times e^{j\theta} \quad (5.1)$$

,

де $Z_0$, Ом/м і $Y_0$, См/м – комплексні опір і провідність лінії,

$r_0$, Ом/м – сумарний опір прямого й зворотного провідників,

$L_0$, Гн/м – індуктивність петлі прямого й зворотного провідників,

$g_0$, См/м – провідність ізоляції між провідниками,

$C_0$, Ф/м – ємність між проводами,

$|Z_0|$, Ом – модуль характеристичного повного опору,

ω, рад/с – кругова частота,

θ – аргумент характеристичного повного опору,

j – уявна одиниця.

Лінії зв'язку повинні забезпечити, по–перше, мінімальне загасання сигналу й, по–друге, мінімальні перекручування сигналу. В ідеальному випадку ми отримуємо «лінію без втрат», якщо $r_0 = 0$ і $g_0 = 0$, а «лінія без спотворень» – якщо $r_0/g_0 = L_0/C_0$,тобто хвильовий опір є активним і не залежить від частоти.

У відповідності з вимогами стандарту ISO/IEC 11801:

1. Канали класів D, E, F, EA й FA повинні мати номінальне значення хвильового опору 100 ± 15 Ом.

2. Для каналів класів A, B і C хвильовий опір може мати значення 100 ± 15 Ом або 120 ± 15 Ом.

3. Значення хвильового опору 150 Ом, яке раніше допускалося, у діючій редакції стандарту виключено.

Відповідність вимогам стандарту щодо значення параметра *Zc* досягається шляхом реалізації каналів СКС на базі елементів, що мають відповідні характеристики, та дотриманням правил монтажу.

### 5.3 Зворотні втрати (Return Loss)

*Зворотні втрати* каналу або лінії *RL* (англ. Return Loss) характеризують ступінь однорідності їх хвильового опору *Zc* за довжиною та ступінем його узгодженості з повним опором навантаження *Zн* у певному частотному інтервалі. При подачі на вхід лінії або каналу імпульсу напруги з амплітудою $U_0$ у випадку неузгодженості навантаження, $Zc \neq Zн$, або наявності неоднорідності за рахунок виробничих та експлуатаційних дефектів кабелю, або неузгодженості елементів тракту в них виникає відбитий імпульс, який поширюється у зворотному напряму (рис. 5.1)

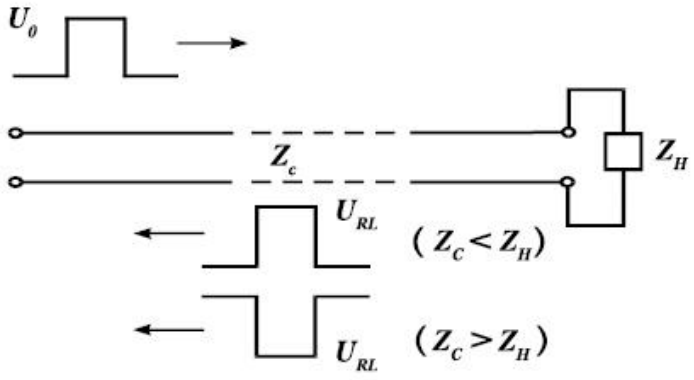


Рисунок 5.1 – Відбитий імпульс в каналі або лінії за наявності в них неоднорідності хвильового опору

Зворотні втрати *RL* визначаються зі співвідношення:

$$RL = 20 \lg(|U_{RL}|/U_0), \qquad (5.2)$$

де $|U_{RL}|$ – амплітуда відбитого імпульсу (по модулю), $U_0$ – амплітуда вхідного імпульсу лінії.

Через те, що $U_{RL} < U_0$ значення логарифма у виразі 5.2 завжди негативні, що необхідно враховувати при розрахунку абсолютних величин $U_{RL}$ та $U_0$.

При створенні реальної СКС потрібно прагнути отримати величину *RL,* за модулем, якнайбільше, оскільки в ідеальному випадку $RL = -\infty$.

Параметр *RL* визначений тільки для класів C, D, E і вище. Він повинен вимірятися на обох кінцях каналу або лінії. Якщо в каналі або лінії на деяких частотах загасання менше 3 дБ, то значення *RL* на цих частотах служать тільки для інформації й не нормуються.

У табл. 5.1 для деяких із класів наведені значення *RL* для каналу й базової лінії, визначені стандартом ISO/IEC 11801.

Таблиця 5.1 – Значення RL для різних класів каналів

| **Частота, МГц** | **Значення RL, дБ** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Клас D** | | **Клас E** | | **Клас EA** | | **Клас F** | | **Клас FA** | |
| | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** |
| 16 | 17,0 | 19,0 | 18,0 | 20,0 | 18,0 | 20,0 | 18,0 | 20,0 | 18,0 | 20,0 |
| 100 | 10,0 | 12,0 | 12,0 | 14,0 | 12,0 | 14,0 | 12,0 | 14,0 | 12,0 | 14,0 |
| 250 | – | – | 8,0 | 10,0 | 8,0 | 10,0 | 8,0 | 10,0 | 8,0 | 10,0 |
| 500 | – | – | – | – | 6,0 | 8,0 | 8,0 | 10,0 | 8,0 | 10,0 |
| 600 | – | – | – | – | – | – | 8,0 | 10,0 | 8,0 | 10,0 |
| 1000 | – | – | – | – | – | – | – | – | 6,0 | 8,0 |

Вимоги стандарту до каналу м'якші, ніж до базової лінії, зі зростанням частоти вимоги стандарту також пом'якшуються. Параметр *RL* – є частотно-залежним і вимоги стандарту повинні дотримуватися на будь-якій частоті за діапазоном робочих частот відповідного класу.

### 5.4 Втрати введення (Insertion Loss)

Зменшення амплітуди імпульсів на виході каналу або лінії виникає через джоулеві втрати в провіднику та ізоляції, а також через відображення на стрибках хвильового опору. Цей ефект (рис. 5.2), виявляється в тому, що при

подачі на вхід тракту імпульсу напруги з деякою амплітудою на її виході з'являється імпульс із меншою амплітудою.

Рисунок 5.2 – Зменшення амплітуди імпульсу в тракті

Чисельно цей ефект характеризується параметром, що носить назву *втрати введення* (insertion loss), і який визначається зі співвідношення:

$$IL = 20 \lg (U_{IL}/U_0), \qquad (5.3)$$

де $U_{IL}$– амплітуда імпульсу напруги на виході лінії, $U_0$ – амплітуда імпульсу напруги на вході лінії.

Значення логарифма в 5.3 також завжди негативні, тому що завжди $U_{IL}<U_0$, а в ідеальному випадку $IL = 0$, тому що $U_{IL} = U_0$.

Раніше у стандарті застосовувався термін *«загасання»* (Attenuation), проте він відображає лише одну причину зменшення амплітуди імпульсу – джоулеві втрати, і не враховує відображення потужності на неоднорідністях хвильового опору тракту. Параметр втрати введення *IL* повніше характеризує ці властивості тракту та на відміну від загасання, не змінюється лінійно зі збільшенням довжини тракту. Крім того, саме параметр *IL* застосовується при розрахунках інших параметрів (*ACR, ELFEXT*). Термін «загасання» традиційно використовується для описування низки інших параметрів, наприклад *ACR*.

Параметр *IL* нормується для всіх класів і повинен вимірюватися на обох кінцях тракту (особливо у волоконно-оптичних каналах).

У табл. 5.2 для деяких з класів наведені максимально припустимі значення (за модулем) параметра *IL* для каналів і базових ліній визначених стандартом ISO/IEC 11801.

Таблиця 5.2 – Значення IL для різних класів каналів

| **Частота, МГц** | **Значення IL, дБ** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Клас D** | | **Клас E** | | **Клас EA** | | **Клас F** | | **Клас FA** | |
| | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** |
| 16 | 9,1 | 7,7 | 8,3 | 7,1 | 8,2 | 7,0 | 8,1 | 6,9 | 8,0 | 6,8 |
| 100 | 24,0 | 20,0 | 21,7 | 18,5 | 20,9 | 17,8 | 20,8 | 17,7 | 20,3 | 17,3 |
| 250 | – | – | 35,9 | 30,7 | 33,9 | 28,9 | 33,8 | 28,8 | 32,5 | 27,7 |
| 500 | _ | _ | _ | _ | 49,3 | 42,1 | 49,3 | 42,1 | 46,7 | 39,8 |
| 600 | _ | _ | _ | _ | _ | _ | 54,6 | 46,6 | 51,4 | 43,8 |
| 1000 | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | 67,6 | 57,6 |

Відзначимо знову, що вимоги до каналу м'якші, ніж до лінії, і пом'якшуються зі зростанням частоти.

### 5.5 Перехідне загасання на ближньому кінці (NEXT)

Перехідне загасання на ближньому кінці (*NEXT*– Near End CrossTalk Loss) характеризує сприйнятливість лінії (пари) до перешкод, які виникають внаслідок наявності електричних сигналів у сусідніх лініях (парах). Ефект перехідного загасання виявляється у тому, що при подачі сигналу на вхід однієї пари, на вході іншої пари на цьому ж кінці кабелю також з'являється якийсь сигнал (рис. 5.3).

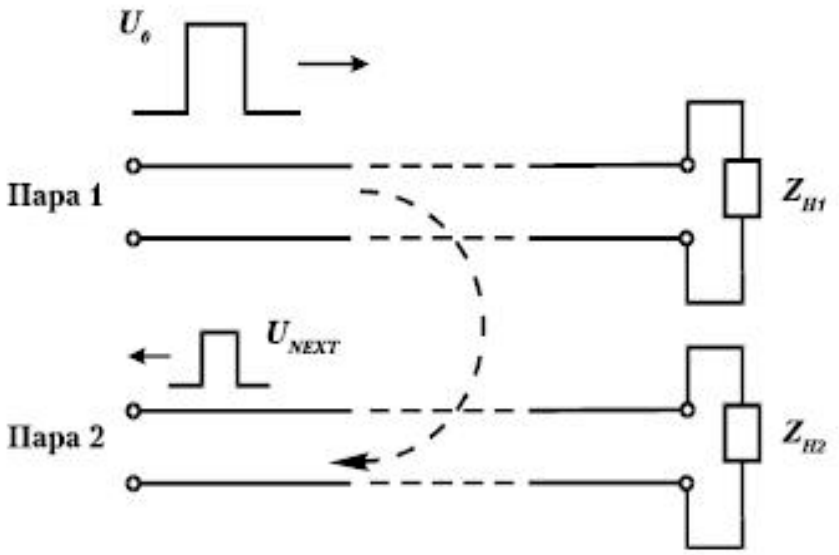


Рисунок 5.3 – Перехідне загасання в тракті передавання сигналів

Перехідне загасання на ближньому кінці *NEXT* визначається зі співвідношення:

$$NEXT = 20 \lg (U_{NEXT}/U_0), \qquad (5.4)$$

де $U_{NEXT}$ – амплітуда імпульсу, наведеного на вході пари, $U_0$ – амплітуда імпульсу, переданого по сусідній парі.

Значення логарифма в 5.4 завжди негативні, тому що завжди $U_{NEXT}<U_0$. В ідеальному випадку $U_{NEXT}= 0$ і $NEXT_{ід}= -\infty$.

Параметр *NEXT* специфікований для всіх класів і повинен вимірюватися на обох кінцях тракту. На частотах, де параметр *IL* менше 4 дБ, значення *NEXT* не нормуються і служать тільки для інформативних цілей. Параметр *NEXT* не залежить від довжини кабелю, він визначається тільки конкретним взаємним впливом пар. У табл. 5.3 для деяких із класів наведені максимально припустимі значення параметра *NEXT* для каналів і базових ліній, що визначені стандартом ISO/IEC 11801.

Таблиця 5.3 – Значення NEXT, дБ, для деяких класів кабельних ліній

| Частота, МГц | Значення NEXT, дБ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Клас D | | Клас E | | Клас EA | | Клас F | | Клас FA | |
| | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія |
| 16 | 43,6 | 45,2 | 53,2 | 54,6 | 53,2 | 54,6 | 65,0 | 65,0 | 65,0 | 65,0 |
| 100 | 30,1 | 32,3 | 39,9 | 41,8 | 39,9 | 41,8 | 62,9 | 65,0 | 65,0 | 65,0 |
| 250 | – | – | 33,1 | 35,3 | 33,1 | 35,3 | 56,9 | 60,4 | 59,1 | 61,7 |
| 500 | – | – | – | – | 27,9 | 29,2 | 54,2 | 55,9 | 53,6 | 56,1 |
| 600 | – | – | – | – | – | – | 51,2 | 54,7 | 52,1 | 54,7 |
| 1000 | – | – | – | – | – | – | – | – | 47,9 | 49,1 |

### 5.6 Сумарне перехідне загасання на ближньому кінці (PSNEXT)

Сумарне перехідне загасання на ближньому кінці PSNEXT (Power Sum NEXT або PSNEXT) – це параметр, що характеризує наведення завад на одній парі від усіх інших пар, що працюють одночасно. Параметр *PSNEXT* не вимірюється, а обчислюється за обмірюваним значенням параметра *NEXT* для кожного поєднання пар за формулою:

$$PSNEXT\,(k) = -10\lg\sum_{1j\neq k}^{n} 10^{-0,1NEXT(i,k)}, \qquad (5.5)$$

де $n$ – число пар; $PSNEXT\,(k)$ – параметр пари $k$, на яку впливають сусідні пари; $NEXT\,(i, k)$ – параметр *NEXT* для пари $k$, на яку впливають $i$-ті пари.

Значення *PSNEXT* визначено тільки для класів D, E, F, EA, FA та повинно вимірятися на обох кінцях тракту. На частотах, де параметр *IL* менше 4 дБ, параметр *PSNEXT* не специфікується й носить інформативний характер. У табл. 5.4 для деяких з класів наведені мінімально припустимі стандартом ISO/IEC 11801значення *PSNEXT* (за модулем).

Таблиця 5.4 – Мінімальні припустимі значення PSNEXT для деяких класів

| **Частота, МГц** | **Значення PSNEXT, дБ** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Клас D** | | **Клас E** | | **Клас EA** | | **Клас F** | | **Клас FA** | |
| | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** |
| 16 | 40,6 | 42,2 | 50,6 | 52,2 | 50,6 | 52,2 | 62,0 | 62,0 | 62,0 | 62,0 |
| 100 | 27,1 | 29,3 | 37,1 | 39,3 | 37,1 | 39,3 | 59,9 | 62,0 | 62,0 | 62,0 |
| 250 | – | – | 30,2 | 32,7 | 30,2 | 32,7 | 53,9 | 57,4 | 56,1 | 58,7 |
| 500 | – | – | – | – | 24,8 | 26,4 | 49,4 | 52,9 | 50,6 | 53,1 |
| 600 | – | – | – | – | – | – | 48,2 | 51,7 | 49,1 | 51,7 |
| 1000 | – | – | – | – | – | – | – | – | 44,9 | 46,1 |
| | | | | | | | | | | |

Вимоги до базової лінії жорсткіші, ніж до каналу, і тим жорсткіші, чим вище клас каналу. У багатопарних кабелях, в яких пари не мають індивідуального екрана, проблема взаємного впливу збільшується, це не дозволяє випускати багатопарні кабелі такої конструкції високих категорій. Для всіх пар каналу або базової лінії параметр *NEXT* може задовольняти вимогам стандарту, але при цьому може виявитися, що не забезпечуються вимоги стандарту щодо значення параметра *PSNEXT*.

## 5.7 Перехідне загасання на дальньому кінці (FEXT) та його «сумарне» значення (PSFEXT)

Вплив однієї пари на іншу позначається не тільки на ближньому, але й на дальньому кінці. Це явище ілюструється на рис. 5.4.

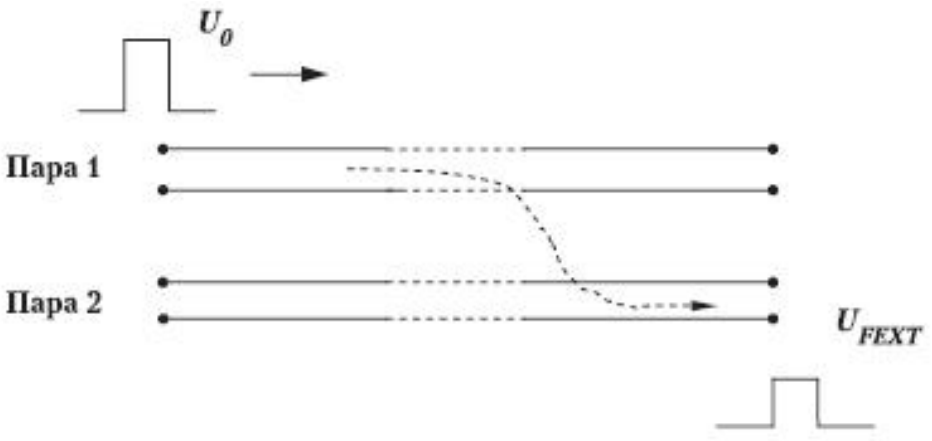


Рисунок 5.4 – Перехідне загасання на дальньому кінці тракту передавання сигналу

Його прийнято характеризувати як перехідне загасання на дальньому кінці *FEXT* (Far End CrossTalk), і визначати зі співвідношення:

$$FEXT = 20 \lg (U_{FEXT}/U_0) \tag{5.6}$$

Параметр *FEXT,* як правило, не вимірюється, але використовується для визначення інших параметрів тракту на дальньому кінці.

«Сумарне» значення параметра *PSFEXT* враховує взаємний вплив всіх пар на одну за їх одночасної роботи та обчислюється за формулою:

$$PSFEXT\,(k) = -10 \lg \sum_{i=1, i \neq k}^{n} 10^{-0,1FEXT(i,k)}, \tag{5.7}$$

де $n$ – число пар; $PSFEXT$ $(k)$ – «сумарний» параметр пари $k$, на яку впливають; $i$ – номер пари, що впливає; $k$ – номер пари, на яку впливають;

$FEXT$ $(i, k)$ – параметр *FEXT,* обумовлений впливом пари $i$ на пару $k$.

**5.8 Співвідношення загасання й перехідного загасання на ближньому кінці (ACR)**

Співвідношення загасання й перехідного загасання на ближньому кінці *ACR* (Attenuation to Crosstalk Ratio) характеризує відношення «сигнал/завада» на прийомному кінці лінії. При цьому «сигналом» вважається тільки імпульс, який прийшов по лінії ослаблений за рахунок загасання й відображення в лінії, а «завадою» імпульс наведений від сусідньої лінії за умови, що вона передає такий самий за амплітудою імпульс, як і попередня лінія, але в протилежному напряму.

Цей параметр не слід плутати з параметром «сигнал/шум» *SNR* (Signal to Noise Ratio), або з відношенням «сигнал/перехресна перешкода» *SCR* (Signal to Crosstalk Ratio).

Ефект одночасного впливу на якість лінії СКС обох параметрів: загасання *A*, і перехідного загасання на ближньому кінці *NEXT* показаний на рис. 5.5

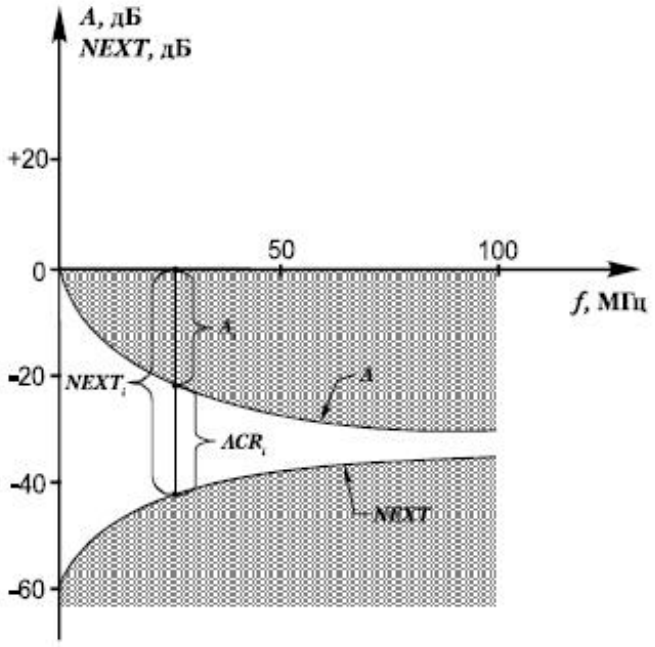


Рисунок 5.5 – Параметр ACR

З рисунка видно, що параметр *ACR* дорівнює різниці параметрів *NEXT* і *A* (оскільки величини *A* і *NEXT* негативні, то використовуються їх модулі):

$$ACR = |NEXT| - |A|. \quad (5.8)$$

У стандарті ISO/IEC 11801 загасання *A* (Attenuation) використовується тільки для опису й найменування параметра – *ACR.* На практиці параметр *ACR* визначається через параметри *NEXT* і *IL* (враоується не тільки загасання, а й відображення потужності в тракті):

$$ACR(i, k) = NEXT(i, k) - IL(k), \quad (5.9)$$

де *i* – номер пари, що впливає; k – номер пари, на яку впливають; NEXT *(i,* k) – *параметр NEXT*, обумовлений впливом *пари і* на *пару;* IL *(*k) – *параметр* IL для *пари k.*

Параметр *ACR* визначено тільки для класів D, E, F, EA, FA та вимірюється на обох кінцях тракту. У табл. 5.5 для деяких з класів наведені мінімально припустимі стандартом ISO/IEC 11801 значення *ACR* (за модулем).

Таблиця 5.5 – Мінімально допустимі значення параметра ACR

| **Частота, МГц** | **Значення ACR, дБ** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Клас D** | | **Клас E** | | **Клас EA** | | **Клас F** | | **Клас FA** | |
| | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** | **канал** | **базова лінія** |
| 16 | 34,5 | 37,5 | 44,9 | 47,5 | 45,0 | 47,6 | 56,9 | 58,1 | 57,0 | 58,2 |
| 100 | 6,1 | 11,9 | 18,2 | 23,3 | 19,0 | 24,0 | 42,1 | 47,3 | 44,7 | 47,7 |
| 250 | – | – | -2,8 | 4,7 | -0,8 | 6,4 | 23,1 | 31,6 | 26,7 | 34,0 |
| 500 | – | – | – | – | -21,4 | -12,9 | 3,1 | 13,8 | 6,9 | 16,4 |
| 600 | – | – | – | – | – | – | -3,4 | 8,1 | 0,7 | 10,8 |
| 1000 | – | – | – | – | – | – | – | – | -19,6 | -8,5 |

Вимоги стандарту до *ACR* жорсткіші для більше високих класів і для базової лінії. На практиці, при заданій довжині конкретного кабелю й певному числі з'єднань у тракті, немає реальних можливостей вплинути на параметр *IL,*

тому прийнятних значень *ACR* можна домогтися, тільки поліпшуючи параметр *NEXT*. Останнє досягається тільки поліпшенням якості монтажу витих пар і мінімізацією довжини їх розплетення при монтажі комутаційних модулів.

### 5.9 Сумарне нормування на втрати введення та перехідне загасання на ближньому кінці (PSACR)

Параметр *ACR* характеризує відношення «сигнал/завада» на ближньому кінці тракту при впливі лише однієї пари на іншу. За одночасної роботи всіх пар необхідно врахувати вплив всіх працюючих пар на одну конкретну. Це робиться з використанням «сумарного» параметра *PSNEXT* для цієї пари й параметра *IL* для неї ж. Для цього вводиться «сумарний» параметр *PSACR* (Power Sum ACR), що обчислюється за формулою:

$$PSACR\,(k) = PSNEXT\,(k) - IL\,(k), \qquad (5.10)$$

де $k$ – номер пари, на яку впливають; $PSNEXT\,(k)$ – «сумарний» параметр пари; $IL\,(k)$ – втрати введення пари $k$.

Параметр *PSACR* визначено тільки для класів D, E, F, EA, FA та вимірюється на обох кінцях тракту. У табл. 5.6 для деяких із класів, наведені мінімально припустимі стандартом ISO/IEC 11801 значення параметра *PSACR*.

Таблиця 5.6 – Мінімально припустимі значення PSACR

| Частота, МГц | Значення PSACR, дБ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Клас D | | Клас E | | Клас EA | | Клас F | | Клас FA | |
| | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія |
| 16 | 31,5 | 34,5 | 42,3 | 45,1 | 42,4 | 45,2 | 53,9 | 55,1 | 54,0 | 55,2 |
| 100 | 3,1 | 8,9 | 15,4 | 20,8 | 16,2 | 21,5 | 39,1 | 44,3 | 41,7 | 44,7 |
| 250 | – | – | -5,8 | 2,0 | -3,7 | 3,8 | 20,1 | 28,6 | 23,7 | 31,0 |
| 500 | _ | _ | _ | _ | | -15,7 | 0,1 | 10,8 | 3,9 | 13,4 |
| 600 | _ | _ | _ | _ | _ | _ | -6,4 | 5,1 | -2,3 | 7,8 |
| 1000 | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | -22,6 | -11,5 |

Параметр *PSACR* повинен задовольняти вимогам на обох кінцях тракту, безпосередньо не вимірюється, а обчислюється за формулою 5.10.

### 5.10 Нормоване на втрати введення перехідне загасання на дальньому кінці тракту (ELFEXT)

При передаванні сигналів по каналу або лінії в повнодуплексному режимі, необхідно забезпечити певне співвідношення «сигнал/перешкода» не тільки на ближньому кінці (параметр *ACR*), але й на дальньому кінці тракту. Вплив пари на пару на далекому кінці тракту характеризується параметром *FEXT.* Сигнал на дальньому кінці тракту послаблений, оскільки в тракті присутній загасання й відбиття потужності. Для оцінки співвідношення «сигнал/перешкода» на дальньому кінці тракту вводиться параметр нормування на втрати введення перехідного загасання на дальньому кінці *ELFEXT,* у припущенні, що рівні взаємного впливу пари на пару однакові, тобто значення *FEXT* (*i, k*) = *FEXT* (*k, i*). Можна сказати, що пари мають *FEXT* однакового рівня ELFEXT (Equal Level FEXT).

Параметр *ELFEXT* на далекому кінці тракту аналогічний параметру *ACR* на його ближньому кінці й визначається співвідношенням:

$$ELFEXT\,(i, k) = FEXT\,(i, k) - IL\,(k), \qquad (5.11)$$

де *i* – номер пари, що впливає*;* k – номер пари, на яку впливають*;* IL*(*k) – втрати введення пари, на яку впливають.

У тракті передавання на базі 4-парного кабелю є 12 значень *FEXT* і, відповідно, 12 значень *ELFEXT.*

Параметр *ELFEXT* визначено тільки для класів D, E, F, EA, FA й виміряються на обох кінцях тракту. Параметр *ELFEXT* визначається на обох кінцях тракту й в ідеальному випадку $ELFEXT_{ід} = -\infty$.

### 5.11 Сумарне нормоване на втрати введення та перехідне загасання на дальньому кінці (PSELFEXT)

Аналогічно параметру *PSACR* на ближньому кінці для дальнього кінця вводиться параметр *PSELFEXT* (Power Sum ELFEXT), що враховує взаємний вплив пар за наявності сигналів в усіх парах одночасно. Він обчислюється для окремої пари за формулою:

$$PSELFEXT_k = -10 \lg \sum_{i=1, i \neq k}^{n} 10^{\frac{-ELFEXT_{ik}}{10}}, \qquad (5.12)$$

де $i$ – номер пари, що впливає; k – номер пари на яку впливають; $ELFEXT_{ik}$– параметр, обумовлений впливом пари $i$ на пару $k$.

Параметр *PSELFEXT* визначено тільки для класів D, E, F, EA, FA й вимірюється на обох кінцях тракту.

### 5.12 Затримка сигналу (PD) і перекіс затримок (DS)

Для правильного функціонування апаратури, в якій використовується одночасне передавання сигналів по всіх парах 4-парного кабелю, необхідно забезпечити мінімальний рівень затримки й рівність затримок в усіх парах. Для цього вводяться два параметри: затримка розповсюдження сигналу по парі PD (Propagation Delay, PD) і перекіс затримок у парах DS (Delay Skew, DS). Під перекосом затримок в 4-парному кабелі розуміють різниця між максимальним і мінімальним значеннями затримки серед чотирьох обмірених.

Затримка визначається для всіх класів каналів і стаціонарних ліній, а перекіс затримок тільки для класів C, D, E, F, EA, FA. У таблиці 5.7 і 5.8 для деяких із класів наведені максимально припустимі стандартом ISO/IEC 11801 значення параметрів DS і PD відповідно.

Таблиця 5.7 – Максимально припустимі значення DS

| Клас | Частота, МГц | $DS_{макс}$, нс | |
|---|---|---|---|
| | | канал | базова лінія |
| D | 1…100 | 50 | 44 |
| E | 1…250 | 50 | 44 |
| EA | 1…500 | 50 | 44 |
| F | 1…600 | 30 | 26 |
| FA | 1…1000 | 30 | 26 |

Таблиця 5.8 – Максимально припустимі значення PD

| Частота, МГц | Значення PD, нс | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Клас D | | Клас E | | Клас EA | | Клас F | | Клас FA | |
| | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія | канал | базова лінія |
| 16 | 553 | 496 | 553 | 496 | 553 | 496 | 553 | 496 | 553 | 496 |
| 100 | 548 | 491 | 548 | 491 | 548 | 491 | 548 | 491 | 548 | 491 |
| 250 | – | – | 546 | 490 | 546 | 490 | 546 | 490 | 546 | 490 |
| 500 | – | – | – | – | 546 | 490 | 546 | 490 | 546 | 490 |
| 600 | – | – | – | – | – | – | 545 | 489 | 545 | 489 |
| 1000 | – | – | – | – | – | – | – | – | 545 | 489 |

## 5.13 Характеристики каналів і стаціонарних ліній по постійному струму

Для нормальної роботи деяких інженерних систем, підключених до СКС, суттєве значення мають не тільки динамічні електромагнітні характеристики тракту передавання, але й характеристики тракту по постійному струму. Особливо це важливо у зв'язку із пропозиціями застосовувати симетричні електричні кабелі на основі витої пари для живлення мережних пристроїв. Стандартом ISO/IEC 11801 визначаються наступні параметри:

– опір петлі постійному струму DCLR (Direct Current Loop Resistance, DCLR);

– розбалансування провідників однієї пари по опору постійному струму DCRU (Direct Current Resistance Unbalance, DCRU);

– припустиме значення постійного струму в провіднику пари CCC (Current Carrying Capacity, CCC);

– припустима робоча напруга постійного струму між провідниками DCOV (Direct Current Operating Voltage, DCOV);

– припустима потужність постійного струму в одній парі DCPC (Direct Current Power Capacity, DCPC).

Вимоги стандарту ISO/IEC 11801 до каналів і стаціонарних ліній по постійному струму, для деяких із класів наведені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9 – Вимоги стандарту ISO/IEC 11801 до каналу та стаціонарної лінії по постійному струму

| **Параметр** | **Клас** | **Канал** | **Базова лінія** |
|---|---|---|---|
| Опір петлі постійному струму DCLR, Ом, не більше | D, E, F, EA, FA | 25 | 21 |
| Розбалансування опору провідників у парі по постійному струму DCRU, %, не більше | Всі класи | 3 | 3 |
| Припустимий постійний струм у провіднику пари CCC, А, не менше | D, E, F, EA, FA | 0,175 | 0,175 |
| Припустима робоча напруга постійного струму між провідниками DCOV, В, не менше | D, E, F, EA, FA | 72 | 72 |
| Припустима потужність постійного струму в одній парі DCPC, Вт, не менше | D, E, F, EA, FA | 10 | 10 |

**Контрольні питання**

1. Що таке хвильовий опір кабелю?

2. Що таке зворотні втрати та втрати введення?

3. Поясніть, що означає параметр «перехідне загасання на ближньому кінці».

4. Поясніть поняття «перехідне загасання на дальньому кінці».

5. Що таке «сумарне перехідне загасання» на ближньому й дальньому кінці?

6. Що таке захищеність і загасання?

7. Що таке затримка сигналу?

8. Що таке перекіс затримки?

9. Які параметри характеризують тракти передачі по постійному струму?