

**КОЕФІЦІЄНТ ЗАХИСНОЇ ДІЇ МЕТАЛЕВОГО
ПОКРИТТЯ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ ТИПУ ОКЛБ**

Дослідження в галузі зовнішніх електромагнітних впливів на оптичні кабелі з металевими елементами (ОКм) потребують інформації щодо коефіцієнта захисної дії (КЗД) їхніх металевих покриттів.

Останніми роками в Україні було видано нормативний документ щодо захисту ОКм від зовнішніх електромагнітних впливів [1], але в ньому відсутні значення КЗД. Тому визначання КЗД оптичних кабелів є актуальним та необхідним задля практичного оцінювання ступеню небезпечного впливу ліній електропередачі, електрифікованої залізниці доріг та інших джерел впливу.

Метою даної роботи є дослідження ідеального коефіцієнта захисної дії кабелю типу ОКЛБ в тональному діапазоні частот.

Ідеальний КЗД залежить від конструкції й матеріалу металевого покриття ОК, частоти струму та питомого опору землі. У діапазоні низьких частот він визначається як [2] :

$$r_{1д} = \frac{R_0}{Z_{м.п-3}}, \tag{1}$$

де R_0 – опір оболонки (захисного покриття кабелю) постійному струму;

$Z_{м.п-3}$ – поздовжній повний опір кола “металеві покриття кабелю – земля”.

Коло –“металеві покриття кабелю – земля” має два провідники: перший – металеві покриття і другий – земляний провід.

У загальному вигляді повний опір $Z_{м.п-3}$ на прикладі кабелю типу ОКЛБ визначається за формулою:

$$Z_{м.п-3} = R_{м.п-3} + j\omega L_{м.п-3}, \tag{2}$$

де $R_{м.п-3}, L_{м.п-3}$ – активний опір та індуктивність кола, відповідно.

Параметри земляного проводу цього кола можна віднайти за моделлю Рюдєнберга (рис. 1)

Повний поздовжній опір $Z_{м.п-3}$ має, своєю чергою дві складові: внутрішні опори металевих покриттів, чи так званий поверхневий опір $Z_{бр}$ та зовнішній опір $Z_{зов}$, зумовлений зовнішнім магнітним потоком та втратами в землі. Тоді, у загальному вигляді:

$$\begin{aligned} Z_{м.п-3} &= Z_{бр} + Z_{зов}, \\ Z_{зов} &= Z_{з.п} + j\omega L'_{зов}, \end{aligned} \tag{3}$$

де $Z_{з.п}$ – повний опір земляного проводу.

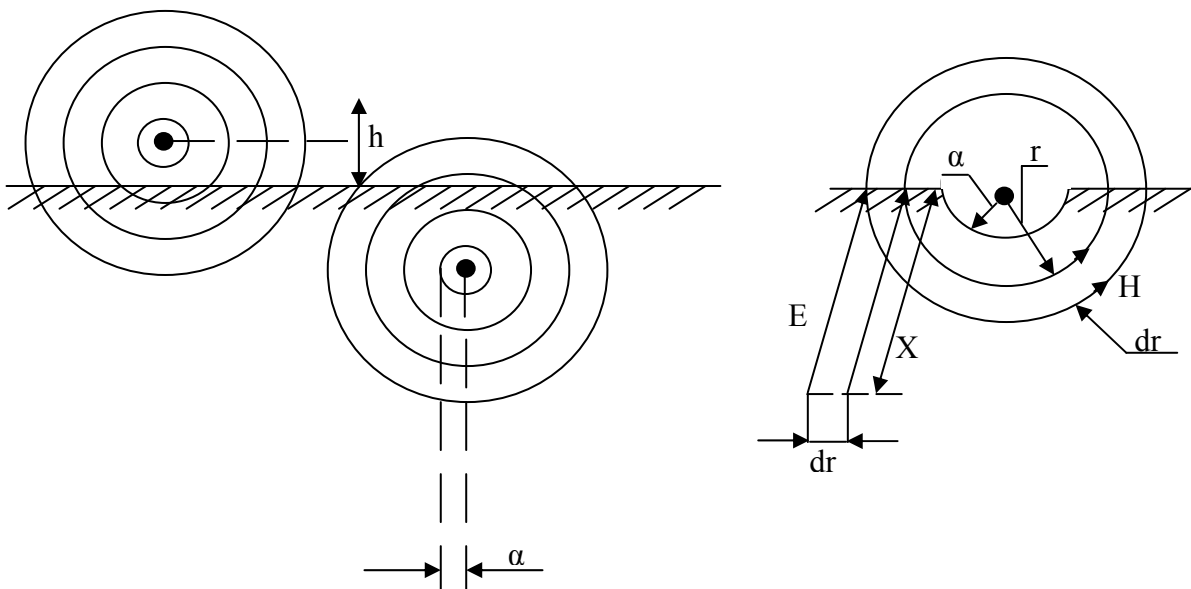


Рисунок 1 – Модель Рюдєнберга щодо визначання параметрів передавання земляного проводу

Точне визначення $Z_{БР}$ броньованих кабелів є надто складне. У діапазоні тональних частот $Z_{БР}$ з урахуванням втрат у броні кабелю ОКЛБ та за відсутності в його конструкції металевої оболонки, визначається виразом:

$$Z_{БР} = R_{БР} + i\omega L_{БР} \cdot R_{БР} = R_{ОБР} + R_I \cdot L_{БР} = L_I, \quad (4)$$

де $R_{ОБР}$ – опір металевих покриттів кабелю постійному струмові;

R_I – активний опір, зумовлений втратами на перемагнічування (гістерезис) у сталевій бронестрічці;

L_I – внутрішня індуктивність сталеві стрічкової броні.

Обчислювання активного опору, внаслідок втрат на гістерезис у бронестрічці з низько вуглецевої сталі, відносна магнітна проникність якої приймається дорівнюваною $\mu_M = 300$, рекомендується виконувати за формулою [2]

$$R_I = 4 \cdot 10^{-4} fV, \quad (5)$$

де R_I – активний опір, зумовлений втратами на гістерезис, Ом/км.

f – частота, Гц;

V – вміст сталі у бронестрічках, м³.

В цих розрахунках V сталевих стрічок віднаходиться за виразом:

$$V = \alpha_E \beta_E \cdot 10^3, \quad (6)$$

де α_E, β_E – еквівалентні ширина та товщина стрічки, м.

Для решти значень μ_M ця формула набирає вигляду

$$R_I = 4 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\mu_M}{300} \right)^2 fV, \quad (7)$$

Вираз індуктивності металевої броні кабелю ОКЛБ можна записати, враховуючи, що вона складається з кількох стрічок:

$$L_{БР} = L_I = \frac{1,5\pi\mu_{rM}\beta_E}{\alpha_E} \cdot 10^{-4}, \quad (8)$$

де L_I – внутрішня індуктивність броні, Гн/км;

μ_{rM} – відносна магнітна проникність стрічки броні.

Формула (8) може використовуватися задля визначання індуктивності сталеві стрічкової броні у першому наближенні за умови, що кілька замінено на одну з еквівалентними розмірами.

При визначанні магнітної проникності бронестрічки слід враховувати струм у броні кабелю, що дозволяє дістати відповідне значення напруженості магнітного поля у броні кабелю:

$$H_{БР} = \frac{I_{БР}}{\pi D_{СЕР.БР}}, \quad (9)$$

де $H_{БР}$ – напруженість магнітного поля в броні, А/м;

$I_{БР}$ – струм у броні кабелю, А;

$D_{СЕР.БР}$ – середній діаметр броні кабелю, м.

Для віднайденної величини напруженості поля за графіками залежності $\mu_{БР} = f(H_{БР})$, визначають значення відносної магнітної проникності μ_R для відповідного матеріалу бронестрічки [2].

Опір постійному струму сталеві броні кабелю може бути визначено за формулою:

$$R_{ОБР} = \frac{\pi D_{СЕР.БР}}{\alpha_E^2 \beta_E \sigma_{M2}} \cdot 10^3, \quad (10)$$

де $R_{ОБР}$ – опір броні постійному струму, Ом/км; σ_{M2} – питома провідність броні, См/м.

Обчислення L_I можна виконувати лише за відомого струму $I_{M.П}$, тому що він визначає напруженість магнітного поля у броні кабелю. Своєю чергою, величину цього струму можна обчислити за відомого значення повного опору кола „металеві покриття-земля”. Тому при розрахунках користуються методом послідовного наближення за схемою:

$$\mu_{r2} \rightarrow L_I \rightarrow |Z_{БР}| \rightarrow I_{М.П} = \frac{U_{БР}}{|Z_{БР}|} \rightarrow H_{БР} \rightarrow \mu_{r2}.$$

У загальному вигляді опір металевих захисних покриттів кабелів зв'язку змінному струмові є функцією частоти, величини струму $I_{БР}$, що протікає, та магнітної проникності μ_r :

$$Z_{БР} = F(f, I_{БР}, \mu_{r2}). \quad (11)$$

Якщо броню виготовлено зі сталі з низьким значенням μ_r , тоді $R_{БР}$ та $Z_{БР}$ порівняно незначно залежить від величини струму, що протікає.

Складний характер залежності $R_{БР}$ та $Z_{БР}$ від багатьох чинників утруднює їхнє визначання розрахунковим шляхом. Тому в інженерній практиці еквівалентний опір металевих покриттів кабелів зв'язку прийнято обчислювати в тональному діапазоні частот, як за постійним струмом. При цьому через незначну величину не враховується опір утрат на гістерезис у броні. Цілковито очевидно, що за такого визначання $R_{ОБР}$ обчислення значення $Z_{БР}$ металевих покриттів змінному струмові пов'язано з неодмінним виникненням помилки. Окрім того, такий підхід до розрахунків $Z_{БР}$ не дозволяє здобути частотну залежність повного опору металевих покриттів кабелів у широкому діапазоні.

Перша складова виразу (3) визначається за формулою:

$$Z_{3.П} = R_{3.П} + j\omega L_{3.П}, \quad (12)$$

де $R_{3.П}$, $L_{3.П}$ – активний опір, Ом/км, та індуктивність, Гн/км, земленого проводу, відповідно.

Згідно з моделлю Рюдєнберга $R_{3.П}$ та $L_{3.П}$ обчислюють з виразів

$$R_{3.П} = \pi^2 f \cdot 10^{-4}; \quad L_{3.П} = \ln \frac{1,71}{m^2 \alpha h} \cdot 10^{-4}, \quad (13)$$

де α – зовнішній радіус кабелю, м;

h – глибина укладання кабелю, м;

$m = \sqrt{\omega \mu_{А.З} \cdot \sigma_3}$ – коефіцієнт струму в землі;

$\mu_{А.З}$ – абсолютна магнітна проникність землі, яка визначається з формули: $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м;

σ_3 – питома провідність землі $\sigma_3 = 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}$ См/м.

Міжпровідникова індуктивність обчислюється за формулою

$$L'_{3ОВ} = 2 \ln \frac{r_A}{\alpha} \cdot 10^{-4}, \quad (14)$$

Де r_A – радіус кабелю по броні.

В даній роботі приведено дослідження коефіцієнта захисної дії броні кабелю ОКЛБ-3-М1-1х4Е-0,35Ф3,5/0,21Н19-4/4 в діапазоні частот від 0,05 до 10 кГц, за різних значень провідності землі. Для цього було виконано розрахунки параметрів броні кабелю, земленого проводу. Значення магнітної проникності приймалося до рівнюваним $\mu_r = 200$.

Обчислення параметрів виконувалось для шістьох частот: $f_1 = 0,05$ кГц; $f_2 = 0,8$ кГц; $f_3 = 1$ кГц; $f_4 = 3$ кГц; $f_5 = 5$ кГц; $f_6 = 10$ кГц.

Результати обчислення ідеального КЗД наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення ідеального коефіцієнта захисної дії кабелю ОКЛБ

Частота f_j , кГц	$r_{ид}$		
	$\sigma_3 = 10^{-1}$, См/м	$\sigma_3 = 10^{-2}$, См/м	$\sigma_3 = 10^{-3}$, См/м
0,05	0,77	0,58	0,342
0,8	0,37	0,35	0,26
1	0,32	0,29	0,23
3	0,11	0,11	0,11
5	0,07	0,07	0,07
10	0,032	0,032	0,032

Отже, проведені дослідження $\gamma_{\text{ід}}$ кабелю типу ОКЛБ дозволили встановити, що:

– ідеальний КЗД кабелю суттєво змінюється від значення питомої провідності землі на частотах від 0,05 до 1 кГц і не залежить від неї на частотах від 3 до 10 кГц;

– ідеальний КЗД кабелю на частоті 0,05 кГц змінюється залежно від σ_3 у 2,25 раза.

Здобуті значення $\gamma_{\text{ід}}$ можливо використовувати при проектуванні ВОЛП для оцінюванні ступеню впливу зовнішніх магнітних полів на кабель типу ОКЛБ у ґрунтах з питомою провідністю від 10^{-1} до 10^{-3} См/м.

Література

1. КНД45-136-99. Інструкція по захисту волоконно-оптичних кабелів зв'язку від ударів блискавки та електромагнітних впливів. – К.:УВКНАУ.
2. Михайлов М.И., Разумов Л.Д. Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. – М.: Связь, 1967.