

станції (сонячної батареї) з напругою в злені постійного струму (акумулятор) при роботі на одного споживача (електродвигач).

Загальна точка електричної машини використовується для прямого підключення і управління енергією, поступаючої від сонячної батареї. Таку енергію з допомогою стандартного перетворювача можна регулювати незалежно від завдань управління електричної машиною. Доступну енергію сонця можна використати в доповнення до вже існуючої енергії акумулятора, що несе за собою позитивний вплив на динаміку поведінки електричного привода в транспортному засобі. Крім того, з такою установкою енергія також доступна в час зупинки електричного двигача. Це означає, що за рахунок роботи модуля від сонячного світла заряд акумулятора буде зменшений. Такий підхід зменшує вимоги до зарядних функцій акумулятора.

Наступним етапом передбачено впровадження розробки для організації електропривода електричного або гібридного транспортного засобу. Розробляється науковий підхід для визначення оптимальних параметрів компонентів, а також закон управління перетворювачем з урахуванням вимог до привода транспортного засобу.

Список літератури

1. Neuburger M., Neuburger N. Photovoltaic energy for mobile applications. 1st International Conference on Engineering Science and Innovative Technology (ESIT 2014), Krabi, Thailand, April 8 – 10 2014
2. Казачковський Н.Н. Сучасні низковольтні перетворювачі частоти: УДК 62-83:621.314.26, Дніпропетровськ, ГВУЗ "Національний гірничий університет".
3. Казачковський М.М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: Навчальний посібник, Дніпропетровськ: НГА України, 2000. - 197 с.
4. Лозинський А.О., Мороз В.І., Паранчук Я.С. Розв'язання завдань електромеханіки в середовищах пакетів MathCAD і MATLAB: Навчальний посібник.-Львів: Видавництво Державного університету "Львівська політехніка", 2000.-166.
5. Довгань С.М. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання: Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2001.-137 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ДЗЕРКАЛЬНИХ ВІДОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНІСНОГО ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЇ КАБЕЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

*В.С. Хілов, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет»,
Україна*

*К.П. Фофанов, Є.В. Носаненко, Державне підприємство «Конструкторське Бюро
«Південне», Україна*

Проаналізовані особливості застосування методу дзеркальних відображень для знаходження ємності кабельної п'ятижильної лінії. Наведені проблемні питання в застосуванні даного методу. Проведені додаткові дослідження положень методу. Визначено можливість застосування методу дзеркальних відображень для знаходження ємнісного опору кабельної мережі. Наведені особливості застосування методу для розрахунку кабелів з броньованою оболонкою.

Постановка проблеми та її зв'язок із прикладними завданнями.

Раніше досліджено в [1, 2], що в процесі експлуатації електрообладнання виникає задача контролю опору ізоляції живлячої мережі і як наслідок застосування систем контролю

даного параметру, а також необхідність аналітичного розрахунку доцільності застосування даних систем.

В [2] для оцінки можливості застосування інформаційно-вимірювальної системи застосовано метод дзеркальних відображень наведених в [3, 4].

В роботі [2] отримано наступні значення потенційних та ємнісних коефіцієнтів табл.1

Таблиця 1.

Результати розрахунку потенційних і ємнісних коефіцієнтів для п'ятижильного кабелю

Потенційні коефіцієнти $\times 10^9$ м/Ф	Ємнісні коефіцієнти Ф/м	$d_{12}(d_{11})$ $\times 10^{-3}$ м	$d_{12}(r)$ $\times 10^{-3}$ м
$\alpha_{11}=6.011$	$\beta_{11}= 3.176 \times 10^{-10}$	20,4	7
$\alpha_{12}=2.076$	$\beta_{12}= 4.86 \times 10^{-11}$	20,4	14,1
$\alpha_{13}=3.09$	$\beta_{13}= - 1.505 \times 10^{-10}$	40,57	23,41
$\alpha_{14}=3.998$	$\beta_{14}= - 1.705 \times 10^{-10}$	30,94	15,19
$\alpha_{15}=2.992$	$\beta_{15}=4.58 \times 10^{-11}$	43,39	25,48
$\alpha_{22}=1.389$	$\beta_{22}=1.235 \times 10^{-10}$	47,4	4
$\alpha_{23}=4.773$	$\beta_{23}= - 8.732 \times 10^{-11}$	33,2	14,2
$\alpha_{24}=4.895$	$\beta_{24}= - 2.999 \times 10^{-11}$	34,26	14,34
$\alpha_{25}=4.773$	$\beta_{25}= - 5.306 \times 10^{-11}$	33,2	14,2
$\alpha_{33}=5.612$	$\beta_{33}= 3.587 \times 10^{-10}$	19	7
$\alpha_{34}=2.974$	$\beta_{34}= - 1.015 \times 10^{-10}$	48,43	28,53
$\alpha_{35}=3.024$	$\beta_{35}= - 1.431 \times 10^{-10}$	42,13	24,6
$\alpha_{44}=7.766$	$\beta_{44}= 6.388 \times 10^{-10}$	19,91	5
$\alpha_{54}=5.77$	$\beta_{54}= - 5.951 \times 10^{-10}$	42,13	15,09
$\alpha_{55}=5.612$	$\beta_{55}= 8.88 \times 10^{-10}$	19,0	7

Аналізуючи дані табл. 1 приходимо до висновку, що ємнісні коефіцієнти β_{12} , β_{15} , є додатні, що не відповідає оцінці очікуваних результатів згідно з [3].

Аналіз досліджень і публікацій.

Згідно [3] всі ємнісні коефіцієнти β з різними індексами від'ємні, з однаковими індексами додатні. Існує рівність ємнісних коефіцієнтів $\beta_{mk} = \beta_{km}$, та потенційних $\alpha_{mk} = \alpha_{km}$. Також чітко вказується в [3, 4, 5] можливість застосування методу дзеркальних відображень для оцінки ємності кабелю відносно провідної площини з умовою, що відстань між осями жил кабелю, буде значно більше ніж радіус жили кабелю. В [4] обґрунтовується можливість застосування даного методу для оцінки ємності жил відносно циліндричної поверхні. Також в [4] наведено метод оцінки ємності провідника розміщеного в провідній циліндричній оболонці.

Постановка задачі дослідження.

Дослідимо отримані, за допомогою методу дзеркальних відображень дані та виявимо причину не відповідності отриманих результатів з прогнозованими. Зробимо висновки на основі отриманих додаткових даних дослідження про можливість застосування даного методу для оцінки ємності кабельної мережі та можливості його уточнення для випадку п'ятижильної несиметричної кабельної лінії.

Основний матеріал і результати дослідження.

Як зазначено в [2] кабель ВБШнг-Т 5х150 має конструктивні особливості які наведені в [6, 7, 8]. Поперечний переріз кабелю зображений на рис. 1

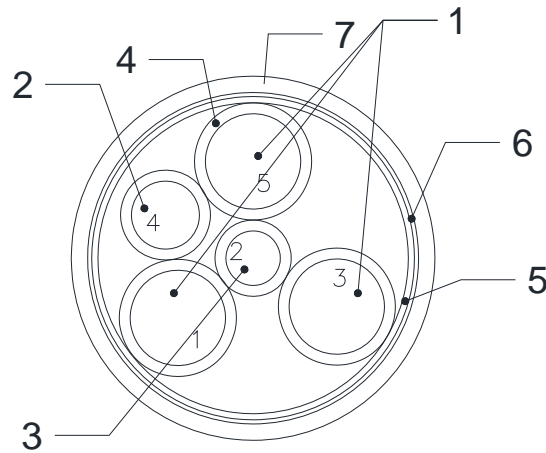


Рис. 1 Переріз кабелю ВБШнг-Т 5х150 де – 1 основні жили з перерізом 150 мм^2 , 2 – нульова жила з площею перерізу 70 мм^2 , 3 - жила заземлення 50 мм^2 , 4 – ізоляція жил з полівінілхлоридного пластикату, 5 – поясна ізоляція з полівінілхлоридного пластикату, 6 – броня із сталевих стрічок, 7 - полівінілхлоридний шланг.

Використовуючи методику [2] отримаємо невизначеність з напрямом перпендикуляру до провідної поверхні з жили що розташовується у центрі (жила №2 рис. 1). З геометричних побудов відомо, що з центру кола можливо провести безліч перпендикулярів до його поверхні рис. 2.

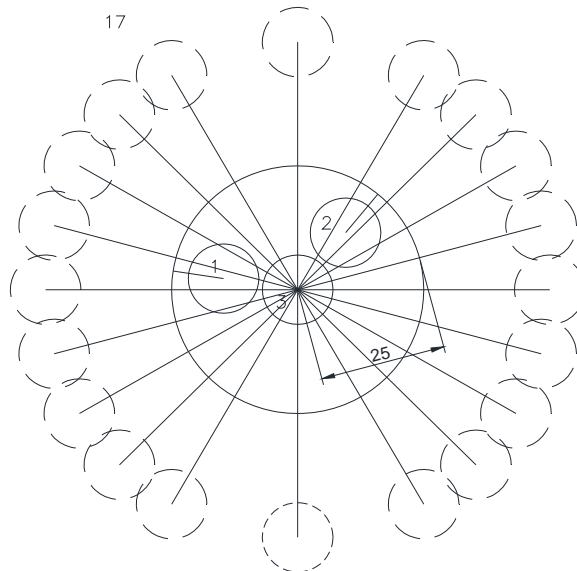


Рис. 2 Розрахункова схема по методу дзеркальних відображень для кабелю з провідником розташованим у центрі

Робимо оцінку як впливає на кінцевий результат обраний напрям перпендикуляру. Для цього повертаємо перпендикуляр на певний кут відносно осі симетрії броньованої оболонки і розраховуємо ємність кабелю за допомогою методу дзеркальних відображень. Результати розрахунків наведені в табл. 2. При чому за розрахункову схему приймемо варіант зображений на рис. 2.

Таблиця 2.

Результати розрахунку потенційних і ємнісних коефіцієнтів для рис. 2

Кут повороту Перпендику- ляра	Потенційні коефіцієнти $\times 10^9$ м/Ф	Ємнісні коефіцієнти Ф/м	$d_{12} \cdot (d_{11})$ $\times 10^{-3}$ м	Ємнісний опір кабелю Ом/м
-165	$\alpha_{13}=5.098$	$\beta_{12}= -1.33 \times 10^{-10}$	36,86	$X_c=9.36 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=8.07$	$\beta_{21}= -1.328 \times 10^{-10}$	62,76	
-150	$\alpha_{13}=5.485$	$\beta_{12}= 5.908 \times 10^{-11}$	39,49	$X_c=9.03 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=8.257$	$\beta_{21}= -7.515 \times 10^{-11}$	64,2	
-135	$\alpha_{13}=5.95$	$\beta_{12}= 6.702 \times 10^{-11}$	42,89	$X_c=8.49 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=8.257$	$\beta_{21}= -5.661 \times 10^{-11}$	64,88	
-120	$\alpha_{13}=6.427$	$\beta_{12}= 7.17 \times 10^{-11}$	46,69	$X_c=7.86 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=8.247$	$\beta_{21}= -3.374 \times 10^{-11}$	64,77	
-90	$\alpha_{13}=7.272$	$\beta_{12}= 6.563 \times 10^{-11}$	54,27	$X_c=6.62 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=8.023$	$\beta_{21}= 1.631 \times 10^{-11}$	62,24	
-60	$\alpha_{13}=7.875$	$\beta_{12}= 3.434 \times 10^{-11}$	60,42	$X_c=5.73 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=7.525$	$\beta_{21}= 5.592 \times 10^{-11}$	56,96	
-45	$\alpha_{13}=8.076$	$\beta_{12}= -1.429 \times 10^{-11}$	62,61	$X_c=5.45 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=7.175$	$\beta_{21}= 6.075 \times 10^{-11}$	53,52	
-30	$\alpha_{13}=8.207$	$\beta_{12}= -1.429 \times 10^{-11}$	64,09	$X_c=5.15 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=6.765$	$\beta_{21}= 7.169 \times 10^{-11}$	49,75	
-15	$\alpha_{13}=8.27$	$\beta_{12}= -3.935 \times 10^{-11}$	64,81	$X_c=5.15 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=6.306$	$\beta_{21}= 6.512 \times 10^{-11}$	45,85	
0	$\alpha_{13}=8.264$	$\beta_{12}= -6.163 \times 10^{-11}$	64,75	$X_c=5.11 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=5.826$	$\beta_{21}= 6.512 \times 10^{-11}$	42,1	
15	$\alpha_{13}=8.19$	$\beta_{12}= -7.918 \times 10^{-11}$	63,9	$X_c=5.13 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=5.37$	$\beta_{21}= 5.669 \times 10^{-11}$	38,82	
30	$\alpha_{13}=8.049$	$\beta_{12}= -9.042 \times 10^{-11}$	62,31	$X_c=5.19 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=5.007$	$\beta_{21}= 4.655 \times 10^{-11}$	36,39	
45	$\alpha_{13}=7.838$	$\beta_{12}= -9.414 \times 10^{-11}$	60,02	$X_c=5.32 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=4.815$	$\beta_{21}= 3.52 \times 10^{-11}$	35,17	
60	$\alpha_{13}=7.56$	$\beta_{12}= -9.0 \times 10^{-11}$	57,12	$X_c=5.51 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=4.847$	$\beta_{21}= 2.258 \times 10^{-11}$	35,37	
90	$\alpha_{13}=6.808$	$\beta_{12}= -6.232 \times 10^{-11}$	49,97	$X_c=6.15 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=5.489$	$\beta_{21}= -8.543 \times 10^{-12}$	39,65	
120	$\alpha_{13}=5.876$	$\beta_{12}= -2.333 \times 10^{-11}$	42,33	$X_c=7.23 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=6.435$	$\beta_{21}= -4.684 \times 10^{-11}$	46,92	
135	$\alpha_{13}=5.876$	$\beta_{12}= -8.12 \times 10^{-12}$	39,02	$X_c=7.85 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=6.435$	$\beta_{21}= -6.491 \times 10^{-11}$	50,08	
150	$\alpha_{13}=5.051$	$\beta_{12}= 1.143 \times 10^{-11}$	36,55	$X_c=8.57 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=7.277$	$\beta_{21}= -8.085 \times 10^{-11}$	54,5	
165	$\alpha_{13}=4.847$	$\beta_{12}= 2.557 \times 10^{-11}$	35,25	$X_c=9.11 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=7.609$	$\beta_{21}= -9.061 \times 10^{-11}$	57,82	
180	$\alpha_{13}=4.865$	$\beta_{12}= 2.557 \times 10^{-11}$	35,36	$X_c=9.39 \times 10^6$
	$\alpha_{23}=7.874$	$\beta_{21}= -9.061 \times 10^{-11}$	60,61	

Приведений розрахунок дозволяє зробити висновок, що до варіювання геометричних параметрів розрахункової схеми. Така зміна призвела до зміни лише потенційних коефіцієнтів α_{13} , α_{23} . Ємнісні коефіцієнти також змінювались. Обираємо саме ті, що не відповідають прогнозованим результатам при поточному куті повороту перпендикуляра, а також проаналізувати зміну значень коефіцієнтів. До таких ємнісних коефіцієнтів були

віднесені β_{12} , β_{21} . Також простежили за зміною ємнісного опору кабелю. Його зміну у відсотках розрахуємо за допомогою формули

$$x = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\max}} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де X_{\max} , X_{\min} - максимальне і мінімальне значення ємнісного опору кабелю відповідно, x - відсоткове значення зміни ємнісного опору кабелю. Враховуючи дані таблиці 2, та формулу (1) отримаємо $x = 45,58 \%$, що явно перевищує допустиму погрішність інженерних розрахунків. Проаналізуємо дані занесені в таблицю 2, для чого побудуємо графік залежності зміни ємнісних коефіцієнтів β_{12} , β_{21} від зміни кута повороту перпендикуляра, також для зручності аналізу побудовані в одній координатній сітці, що зображено на рис. 3

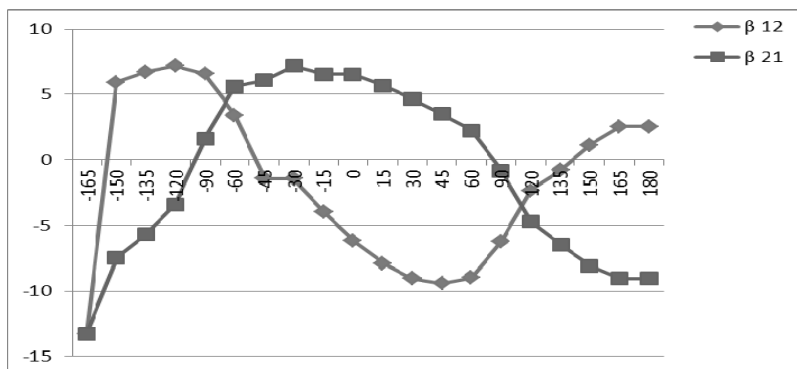


Рис. 3 Графік залежності ємнісних коефіцієнтів β_{12} , β_{21} від кута повороту перпендикуляра

З аналізу графіка на рис. 3 бачимо, що існує дві області повороту перпендикуляра в яких всі ємнісні коефіцієнти включаючи β_{12} , β_{21} будуть від'ємними. Одна з них знаходиться біля 165° , а друга в проміжку від 80° до 135° .

Перевіряємо твердження роботи [3], що всі різнойменні ємнісні та потенційні коефіцієнти рівні між собою $\beta_{mk} = \beta_{km}$, $\alpha_{mk} = \alpha_{km}$. Для цього розрахуємо всі коефіцієнти для нашої розрахункової схеми наприклад для кута повороту перпендикуляра 0° . Отримані результати занесемо в табл. 3

Таблиця 3.

Результати розрахунку всіх потенційних і ємнісних коефіцієнтів

Потенційні коефіцієнти $\times 10^9$ м/Ф	Ємнісні коефіцієнти Ф/м	$d_{12}(d_{11})$ $\times 10^{-3}$ м	$d_{12}(r)$ $\times 10^{-3}$ м
$\alpha_{11}=5.97$	$\beta_{11}= 4.095 \times 10^{-10}$	20,25	7
$\alpha_{12}=3.048$	$\beta_{12}= -6.163 \times 10^{-11}$	44,58	25,92
$\alpha_{13}=8.264$	$\beta_{13}= - 1.521 \times 10^{-10}$	64,75	14,88
$\alpha_{21}=3.058$	$\beta_{21}= 6.512 \times 10^{-11}$	44,66	25,95
$\alpha_{22}=5.939$	$\beta_{22}=2.836 \times 10^{-10}$	20,14	7
$\alpha_{23}=5.826$	$\beta_{23}= - 1.516 \times 10^{-10}$	42,1	14,93
$\alpha_{31}=4.826$	$\beta_{31}= - 3.406 \times 10^{-10}$	35,12	14,88
$\alpha_{32}=4.799$	$\beta_{32}= - 1.034 \times 10^{-10}$	35,07	14,93
$\alpha_{33}=0.11$	$\beta_{33}= 2.842 \times 10^{-10}$	50,0	7

З даних табл. 3 виходить, $\beta_{12} \neq \beta_{21}$, $\beta_{13} \neq \beta_{31}$. Якщо провести більш детальний аналіз даних отриманих в табл. 2,3 та виконати деякі додаткові розрахунки та побудови розрахункових схем можна побачити рис. 4.

Для кабелів з броньованою оболонкою, що є областю рівного потенціалу (циліндрична поверхня) в загальному випадку не виконується умова, що $\beta_{mk} = \beta_{km}$, $\alpha_{mk} = \alpha_{km}$ оскільки $d_{12}' \neq d_{21}'$. Дана умова буде виконуватись в окремому випадку коли центри жил кабелю рівно віддалені від центру кабелю. Для кабелю рис. 3 рівність $\beta_{mk} = \beta_{km}$, $\alpha_{mk} = \alpha_{km}$ буде виконуватись для першого та другого провідників тобто $\beta_{12} = \beta_{21}$, $\alpha_{12} = \alpha_{21}$ оскільки $d_{12}' = d_{21}'$, а для пар 1,3 та 2,3 не буде оскільки $d_{13}' \neq d_{31}'$, $d_{23}' \neq d_{32}'$.

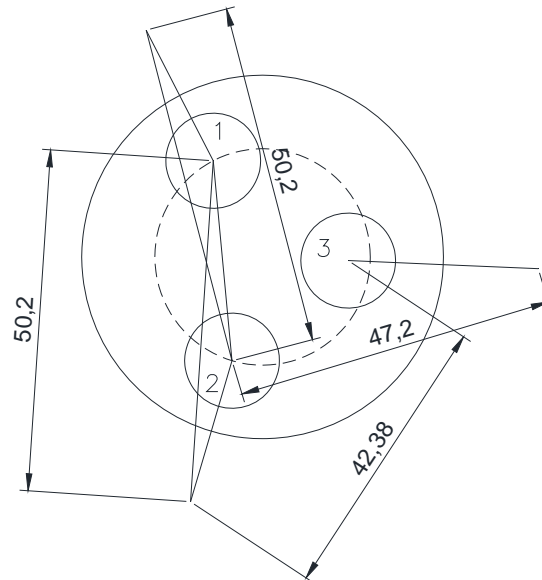


Рис. 4 Трьохжильний кабель з рівновіддаленими центрами жил відносно осі симетрії кабелю

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. В залежності від напрямку перпендикуляру можливо отримати не тільки очікувану від'ємні значення ємнісних коефіцієнтів але також і додатні значення.

2. Рівність різнойменних ємнісних коефіцієнтів виконується тільки для рівновіддалених фіктивних зарядів.

В подальшому дослідження будуть спрямовані на знаходження значень коефіцієнтів в області від'ємних значень.

Список літератури

1. В.С. Хілов, К.П. Фофанов Основні вимоги до безперервного контролю опору ізоляції в мережі з ізолюваною нейтраллю напругою до 1000 В та тенденції розвитку даних систем. Форум гірників -2014: матеріали між нар. конф., 1-4 жовт. 2014 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: ТОВ «Лізунов Прес», 2014. – Т.3. 232с.

2. Дослідження можливості використання інформаційно-вимірювальної системи для визначення складових частин опору ізоляції кабельної мережі / Хілов В.С. В.С., Фофанов К.П./Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. 2015.

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов – М. : Высшая школа, 1996. – с. 575.

4. К.М. Поливанов Теоретические основы электротехники. М.: «Энергия», 1969, т. 3, с. 352.

5. Сычев Л.И. Шахтные гибкие кабели и электробезопасность сетей / Л.И. Сычев, Е.Ф. Цапенко. – М. : Недра, 1978. – 215с.

6. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией : ГОСТ 16442-80. – Введ. 01-01-82

7. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией : ТУ 16.К71.322-2002

8. Покровы защитные кабелей : ГОСТ 7006-72. – Введ. 01-01-75