

Кільцевий волоконно-оптичний датчик струму

Балакін О. В., Григоруk В. І., Онисько Ю. Т., Пугач І. П., Скалига О. С., Слінченко Ю. А., Шанойло В.С.

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
радіофізичний факультет*

Швидкий розвиток та поширення ліній електропередач і електрофізичних пристроїв високої і надвисокої напруги (1200 кВ і вище) спричинив появу нових методів та засобів (датчиків) вимірювання характеристик цих об'єктів. Зокрема, перспективними є електрооптичні методи, засновані на перетворенні вимірюваних електричних величин у параметри оптичного випромінювання і застосуванні оптичних каналів зв'язку для передачі вимірювальної інформації з зони високої напруги на низьковольтну частину вимірювального пристрою. Перевагами цих методів є висока швидкодія, захищеність від електромагнітних перешкод, а також надійна природна електрична ізоляція між високовольтною і вторинною вимірювальною зонами внаслідок їхньої повної електричної розв'язки.

Сучасні волоконно-оптичні датчики (ВОД) дозволяють вимірювати майже всі характеристики фізичних полів, але їх параметри, природно, потребують покращення, а схеми застосування - вдосконалення. Так, вже досить давно застосовуються волоконно-оптичні датчики електромагнітного поля. Зараз найбільш поширені два типи таких датчиків, один на основі ефекту Фарадея, інший – Поккельса. Але жоден не відповідає сучасним вимогам компактності, зручності у використанні, енергозбереження та ін. Тому нами була запропонована схема волоконно-оптичного датчика електромагнітного поля, яка практично виключає всі недоліки попередніх схем, і задовольняє сучасним вимогам до подібних пристроїв.

Принципову схему датчика наведено на рис. 1. Джерелом випромінювання виступає лазерний діод ЛД (ЛД105 або його аналог). Він випромінює світло довжиною 0.65 мкм, що має на виході лінійну поляризацію. Торці відрізка волоконного світловода довжиною приблизно 2 м, що утворює основний контур, контактують з випромінюючими гранями напівпровідникового кристалу. Причому випромінювання, що вводиться у волокно з обох торців, має однакову інтенсивність і поляризацією. Таким чином, відрізок волокна став продовженням резонатора лазера. При виготовленні моделі датчика використовувалось типове кварцове волокно (постійна Верде $V_g = 0,000003$ рад/м).

Для роботи датчика, випромінювання в його плечах 1 та 2 повинно мати циркулярну поляризацію різного напрямку. Для цього було реалізовано два волоконних котушкових поляризатори, на виході з яких отримано ліво- та правоциркулярно поляризоване випромінювання. Плечі датчика були з'єднані за допомогою волоконно-оптичного пасивного відгалу-

жувача Х-типу з приведеними на рис. 2 властивостями.

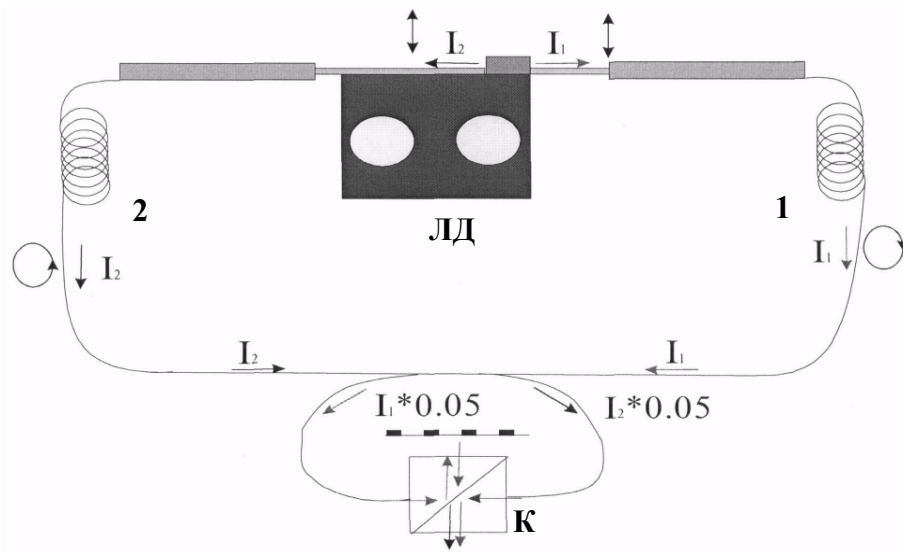


Рис. 1.

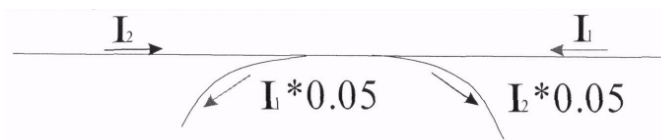


Рис. 2.

Таким чином, в роботі було реалізовано експериментальну модель волоконно-оптичного датчика електричного струму кільцевого типу, яка використовує дві волоконно-оптичних котушки та вимірювання сигналу на різницевій частоті $\Delta\nu$.

Для вимірювання сигналу на різницевій частоті $\Delta\nu$ (з протилежних гілок відгалужувача) два вихідних променя направлялися на світоподільний кубік К, з виходу якого випромінювання надходило до фотоприймача, а далі – на оптичний частотомір, де і фіксувалась різниця частот. За відсутності електромагнітного поля різниця частот повинна бути рівна нулю, але при проведенні експерименту була зафіксована незначна різниця частот. Це пояснюється наявністю сторонніх електромагнітних полів в лабораторному приміщенні та, відповідно, не досить високим рівнем екранування від них установки.

В середину волоконно-оптичного кільця датчика вводився провідник зі струмом, величина якого (струму) і підлягала вимірюванню. Різниця частот $\Delta\nu$ зустрічних хвиль в такому резонаторі визначається величиною магнітного поля, створюваного струмом, який протікає по провіднику, що проходить через центр контуру. Другий волоконний контур оптично з'єднаний з першим і дозволяє відгалужувати сигнал та вимірювати $\Delta\nu$.

Для даної схеми електромагнітного датчика фаза для право- і ліво-поляризованих хвиль матиме вигляд:

$$\varphi^{\pm} = \frac{2\pi\nu}{c} \int_0^L n^{\pm} dz$$

де n^{\pm} - показник заломлення для лівої і правої гілки, $\nu = qC/L$ - довжина резонатора, q - ціле число яке характеризує моди, що розповсюджуються вздовж вісі резонатора.

Відповідно частота для право- і ліво-поляризованих хвиль матиме вигляд:

$$\nu^{\pm} = q \frac{c}{L} - \frac{c}{L} \frac{\varphi^{\pm}}{2\pi}$$

а різниця частот:

$$\Delta\nu = \nu^{+} - \nu^{-} = \frac{c}{L} \frac{1}{2\pi} (\varphi^{-} - \varphi^{+})$$

При дії магнітного поля на певні матеріали (до яких відносять і оптичне волокно), виникає індукований зовнішнім впливом поворот площини поляризації, якщо магнітне поле має компоненту в напрямку поширення випромінювання в матеріалі – ефект Фарадея. Поворот відбувається на кут:

$$\alpha = V_r \int_0^L \vec{H} dl$$

де V_r - постійна Верде, рад/А.

Для нашої схеми, при умові існування різно-поляризованих хвиль кут α буде дорівнювати:

$$\alpha = V_r \int_0^L \vec{H} dl = \frac{\varphi^{-} - \varphi^{+}}{2}$$

А отже, і різниця частот:

$$\Delta\nu = \nu^{+} - \nu^{-} = \frac{c}{L} \frac{1}{2\pi} (\varphi^{-} - \varphi^{+}) = \frac{c}{L\pi} V_r \int_0^L \vec{H} dl = \frac{c}{L\pi} V_r I$$

де I - струм, що створює магнітне поле.

Використовуючи останню формулу були отримані теоретичні розрахунки $\Delta\nu$, які наведено у таблиці в порівнянні з експериментальними даними.

Електричний струм, А	Різниця частот, КГц теоретична	Різниця частот, КГц експериментальна
0	0	4,2
1	0,143	4,6
5	0,716	5,2
10	1,432	8,7

12	1,719	9,1
15	2,149	10,4
17	2,435	12,6
20	2,865	13,2
22	3,151	14,5
25	3,581	15,3
27	3,867	16,7
30	4,297	15,4
32	4,584	16,6
35	5,013	17,5
37	5,300	18,2
40	5,730	19,2
42	6,016	20,1
45	6,446	20,8
47	6,732	20,4
50	7,162	20,7

На рис. 3 зображено графіки експериментальну (А) і теоретичну (Б) залежності різницевої частоти від величини струму.

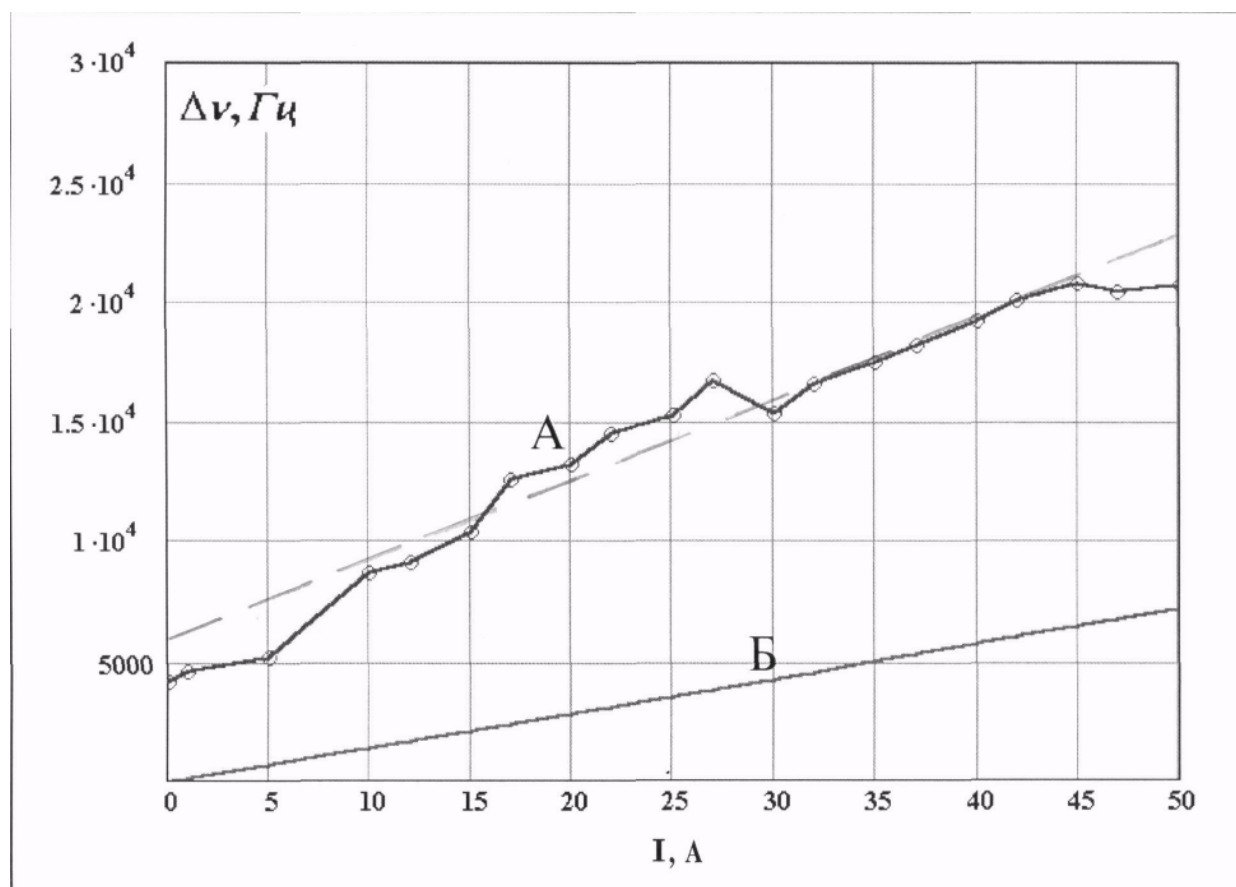


Рис. 3.

Як видно з графіків, експериментальні результати узгоджуються з теоретичними розрахунками – в обох випадках має місце лінійна залежність різницевої частоти від величини

струму при зміні останнього в межах 0 – 50 А. Розбіжність у значеннях теоретичних розрахунків та експериментальних даних може бути викликана магнітним полем Землі та деякими технічними аспектами і потребує подальшого дослідження.

Таким чином, вперше експериментально реалізовано схему кільцевого волоконно-оптичного датчика струму з напівпровідниковим лазером. Запропонованому датчику не притаманні недоліки вже існуючих датчиків струму (кільцеві схеми з газовими лазерами): відносна громіздкість і велике енергоспоживання, інерційність в підготовці до початку вимірювань.