

## УДК 656.259.1

Т. М. СЕРДЮК – к. т. н., доцент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru  
А. Л. ЄВДОКИМЕНКО – начальник тех. відділу НВО «Трансавтоматика», Дніпропетровськ, Україна, a8a8@ua.fm

# ВПРОВАДЖЕННЯ СИГНАЛЬНИХ ТОРОЇДАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СТ-4.ТА

*Статтю представив д. фіз. - мат. н., проф. В. І. Гаврилюк*

### Вступ

Зараз на залізницях України та країн СНД для живлення сигнальних пристроїв автоматики використовуються трансформатори типу СТ та СОБС. Сигнальні трансформатори типу СТ-4, СТ-5 та СТ-6, СОБС-2АУЗ, СТ-2А, СТ-3 і СОБС-2 призначені для живлення ламп світлофорів. З середини 90-х років по теперішній час трансформатори типу СТ-3, СТ-2А і СОБС-2 не випускаються. А в трансформаторах СТ-4 і СТ-5 було змінено схему з'єднання обмоток, позначення виводів і деякі параметри.

Слід зазначити, що існуючий сигнальний трансформатор типу СТ-4 має ряд недоліків. Так, згідно призначенню сигнальні трансформатори СТ-4 з Ш-подібними сердечниками виготовляються для використання в кліматичних виконаннях УХЛ категорії розміщення 2 по ГОСТ 15150-69; клас захисту 0 по ГОСТ 12.2.007.0-75, ступінь захисту від вологи та впливу інших зовнішніх факторів IP20 по ГОСТ 14254-80. Робоче положення в просторі будь-яке. Режим роботи під навантаженням тривалий. Навколишнє середовище вибухобезпечне, що не насичена струмопровідним пилом, яка не містить їдкі пари в концентраціях, що руйнують метали і ізоляцію.

Одним з недоліків існуючого трансформатору СТ-4 є низький ступінь захисту від вологи та інших зовнішніх факторів. Тобто сигнальні трансформаторам, встановленим в трансформаторних та колійних ящиках, карликових світлофорах, релейних шафах

характерно прискорене старіння ізоляції. Виводи (клеми) обмоток трансформатору не захищені від випадкових коротких замикань, які можуть виникнути при налагодженні та обслуговуванні апаратури залізничної автоматики (наприклад, при виконанні пуско-налагоджувальних робіт падіння ключа у електромеханіка викличе коротке замикання (к. з.), оскільки всі виводи первинної і вторинної обмоток розташовані зовні, близько один до одного і мають значні габарити).

Отже, модернізація сигнальних трансформаторів типу СТ-4 з метою покращення їх експлуатаційних та масо-габаритних показників є актуальною задачею.

Тривалий досвід використання залізничних світлофорів, де в якості джерела світла застосовуються лампи розжарювання, показує, що їхні технічні показники невисокі. Термін служби таких ламп не перевищує 2000 годин.

Використання лінз, виготовлених із звичайного скла, призводить до їх постійного пошкодження. Щорічно необхідно міняти до 10% лінзових комплектів. Використання захисних решіток і полімерного скла також не гарантує їх захист і знижує видимість вогнів світлофорів. До того ж за останні 50 років світлофори не мали істотних змін. Крім цього, в останні роки якість ламп помітно погіршилася.

Отже, одним з напрямків розвитку пристроїв залізничної автоматики є впровадження світлодіодних світлофорів замість

лінзових. Світлодіоди – це слабкострумові прилади, які випромінюють світлову енергію при низьких напругах живлення (5 В), що дозволить зменшити споживання електричної енергії, підвищити рівень безпеки і забезпечувати регулювання сили світла. Це головна перевага світлодіодних світлофорів. Видимість сигналів забезпечується завдяки швидкодії світлодіодів. Термін служби світлодіодів досягає 100000 годин. Впровадження світлодіодних пристроїв для залізниць ведеться ще з 1998 року.

Таким чином, для живлення світлодіодних схем світлофорів необхідно передбачити в трансформаторах типу СТ-4 додатковий вивід на вторинній обмотці 5 В при номінальній напрузі на вторинній обмотці 15 В. Передбачення додаткового вивода на вторинній обмотці сигнальних трансформаторів і є другою актуальною задачею, вирішення якої дозволить залишити їх в експлуатації при заміні лінзових комплектів світлофорів на світлодіодні.

#### **Модернізація конструктивного виконання сигнального трансформатору**

Запропоновано замінити Ш-подібний сердечник сигнального трансформатору типу СТ-4 замінити на тороїдальний (кільцевий), як показано на рис. 1. Такий крок дозволяє зменшити масо-габаритні показники трансформаторів приблизно в 2 рази і, таким чином, знизити їх вартість, бо тороїдальні магнітопроводи дозволяють найбільш повно використовувати магнітні властивості матеріалу, забезпечують слабке зовнішнє магнітне поле трансформатора і здійснюють незначний електромагнітний вплив на суміжні пристрої та вузли.

Так, розсіювання магнітного поля приблизно на 85...95 % менше у порівнянні із звичайними трансформаторами. Низьке значення розсіювання є важливим аспектом для розробників обладнання, оскільки це явище може створювати небажані впливи

на чутливі електронні кола. Тороїдальний трансформатор забезпечує загальне зниження рівня магнітних завад в співвідношенні 8:1 порівняно з традиційними трансформаторами рамкової форми [1, 7].



Рис. 1. Сигнальний трансформатор типу СТ – 4.ТА

Тороїдальний сердечник має ідеальну форму, що дозволяє виготовити трансформатор з використанням мінімальної кількості матеріалів. Усі обмотки рівномірно розподілені по колу сердечника, завдяки чому значно зменшується їх довжина. Це веде до зменшення опору обмотки і підвищенню ККД [1, 6].

В тороїдальних трансформаторах можливе використання сталі, що забезпечить більш високий рівень магнітної індукції, оскільки магнітний потік проходить в тому ж напрямку, в якому орієнтовані домени сталі сердечника. Можна використовувати більш високу щільність струму в проводах, бо вся поверхня сердечника дозволяє ефективно охолоджувати обмотки тороїдального трансформатора. Втрати в осерді вельми низькі – типове значення складає 1,1 Вт при індукції 1,7 Тл і частоті 50/60 Гц. Низький струм намагнічування забезпечує відмінні температурні характеристики тороїдального трансформатора [1].

В ряді випадків застосування тороїдальних трансформаторів дозволяє зменшити електроспоживання. Так, на холостому ходу економія електроенергії досягає 86 %, а при роботі під навантаженням до 36%.

Термін окупності застосування тороїдальних трансформаторів у складі різних приладів за рахунок високого ККД становить 2...3 роки. В сучасному світі, де враховується кожен споживаний Ватт потужності, застосування тороїдальних трансформаторів може бути перевагою перед конкурентами.

Щодо монтажу, запропонованого типу трансформатору, то він є стандартним для трансформаторів потужністю до 1 кВА і здійснюється за допомогою однієї металеві шайби і монтажного болта або клемника, що проходить крізь центральний отвір тороїдального трансформатора. Все це забезпечує швидкий і простий монтаж.

Допускаються і інші способи монтажу:

- заливання компаундом центрального отвору з латунними втулками;
- вбудування в пластмасовий або металевий корпус з подальшою заливкою компаундом;
- застосування монтажних рейок (використовується для трансформаторів потужністю від 200 ВА до 7,5 кВА).

Враховуючи вказаний вище недолік, пов'язаний із передчасним старінням ізоляції через значний вплив вологи із зовнішнього середовища, пропонується у подальшому випускати сигнальні трансформатори типу СТ-4 залиті компаундом.

Для виключення недоліку, пов'язаного із виникненням випадкових коротких замикань під час експлуатації, технічного обслуговування чи виконанні пусконаладжувальних робіт передбачено використання WAGO клемних колодок (рис.2).

Порівняльні характеристики трансформаторів: існуючих аналогів (СТ-4, СТ-5) [3-5] і нового покоління (СТ-4.ТА) наведено в табл. 1.

Сигнальний трансформатор СТ-4.ТА призначений для живлення електричних кіл автоблокування та електричної централізації в мережах змінного струму частотою 50 Гц на залізниці.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики  
 сигнальних трансформаторів СТ-4,  
 СТ-5 та СТ-4.ТА

Параметр	СТ-4/ СТ-5	СТ-4.ТА
Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	110x81x94/ 129x81x94	75x80x95
Маса: не більше, кг	1,5/ 1,65	1
Ступінь захисту, IP	20/20	00
Електрична потужність, ВА	16/25	21
Частота струму, Гц	50...60	50...60
Номінальна напруга первинної обмотки ВН, В	110,195,220/ 110,185,220	110,195,220
Номінальна сила струму первинної обмотки ВН, А	0,11/ 0,16	0,1
Напруга вторинної обмотки НН1 при хх, В	25	15,3
Напруга вторинної обмотки НН2 при хх, В	17,5/ 15,8	5,6
Номінальна сила струму вторинної обмотки НН1, А	1,25/2,1	1,25
Сила струму холостого ходу, А	0,018/ 0,025	0,018
Номінальна напруга вторинної обмотки НН1, В	12,5/1,4/1,4 13/1,5/1,5	13,8
Номінальна напруга вторинної обмотки НН2, В	-	5,0
ККД, %, не менше	73/76	80

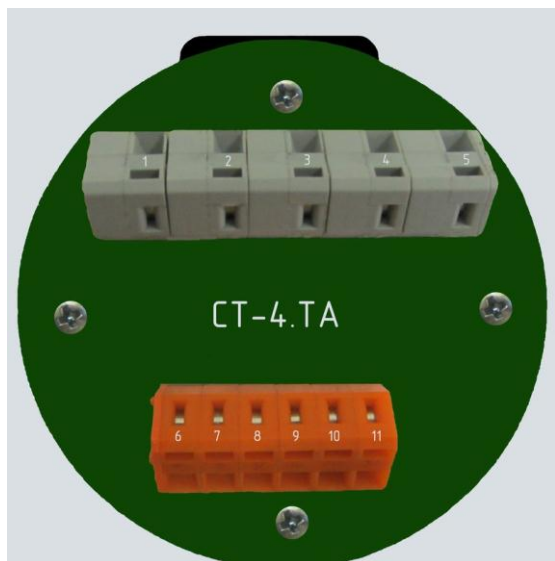


Рис.2. Дослідний зразок тороїдального сигнального трансформатора типу СТ – 4.ТА (вид зверху)

Сигнальний трансформатор СТ-4.ТА може бути встановлений на стінку трансформаторного ящика (ТЯ), або на дно колійного ящика (КЯ) та в іншому залізничному устаткуванні. Середній строк експлуатації виробу не менше 30 років при температурі навколишнього середовища від - 45° до + 55 °С. Кліматичне виконання У категорії розташування 3 згідно ГОСТ 15150-69, класифікаційна група КЗ згідно СОУ 45.20-00034045.

#### Електрична схема з'єднання обмоток СТ-4.ТА

Електрична схема з'єднання обмоток сигнального трансформатора СТ-4.ТА приведена на рис. 3. Номінальні напруги та найменування виводів обмоток, місця встановлення перемичок нового трансформатора СТ-4.ТА вказано в табл. 2. Для живлення світлодіодних схем світлофорів передбачено в трансформаторах типу СТ-4.ТА додатковий вивід на вторинній обмотці 5,6 В, що дозволить у подальшому залишити їх в експлуатації при заміні лінзових комплектів світлофорів на світлодіодні.

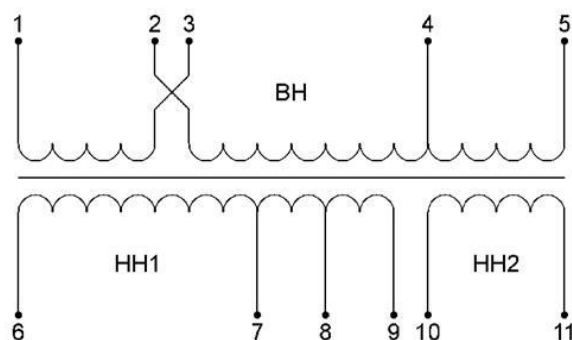


Рис.3. Електрична схема з'єднання обмоток сигнального тороїдального трансформатора нового покоління СТ-4.ТА

Таблиця 2

Номінальні напруги та найменування виводів обмоток трансформатора СТ-4.ТА

Найменування обмотки	Параметр		
	Номінальна напруга, В	Клеми	Перемичка
Первинна обмотка ВН	220	1-5	2-3
	195	1-4	2-3
	110	1-5	1-2, 3-5
Вторинна обмотка НН1	11,3	6-7	-
	1,3	7-8	-
	1,3	8-9	-
Вторинна обмотка НН2	5	10-11	-

#### Зовнішній вигляд та склад виробу, монтаж, умови експлуатації

Зовнішній вигляд сигнального трансформатора СТ-4.ТА показано на рис. 4. Тороїдальний трансформатор 1 через гумову прокладку 2 розташовано на металевій основі 3, яка має прямокутний отвір для підвішування.

З протилежного боку трансформатор через іншу гумову прокладку за допомогою шайби великого діаметру 4 притиснуто до основи гвинтом та гайкою (не показані). Зверху до шайби 4 гвинтами 5 через дистанційні гайки прикріплена клемна плата 6.

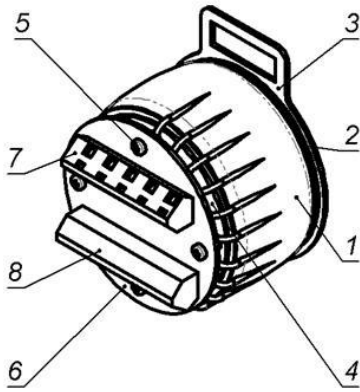


Рис.4. Зовнішній вигляд:

1 – тороїдальний трансформатор; 2 – гумова прокладка; 3 – металева основа; 4 – шайба; 5 – гвинт;  
6 – клемна плата; 7 – клеми первинної обмотки;  
8 – клеми вторинної обмотки.

В трансформаторі застосовано вмонтовані клеми WAGO (пружинні) 7 первинної обмотки та клеми 8 вторинних обмоток. Виводи тороїдального трансформатора приєднані до плати 6 згідно електричної схеми.

Сигнальний трансформатор СТ-4.ТА монтується в шафах, кабельних ящиках (КЯ), трансформаторних ящиках (ТЯ) та на стативах за допомогою гачкового підвісу або розташовується на дні.

Приєднання трансформатора до електричних кіл здійснюється натисканням викруткою або іншим схожим ізольованим інструментом на важіль у спеціальному отворі пружинної клеми WAGO для звільнення дроту.

В процесі експлуатації сигнальний трансформатор СТ-4.ТА не потребує спеціального огляду та обслуговування. Його перевірка повинна виконуватись одночасно з перевіркою елементів, які розташовані з ним в одному корпусі згідно інструкцій ЦШ-0060 [2]. При цьому візуальним оглядом перевіряється цілісність елементів конструкції трансформатора, а також надійність усіх кріплень та з'єднань.

## Метод обслуговування сигнальних трансформаторів

Сутність запропонованого методу полягає в тому, що при подачі прямокутних імпульсів на трансформатори, в залежності від їх стану, осцилограма відрізнятиметься від прямокутних імпульсів і за характерними ознаками можна визначити характер ушкодження.

В деяких випадках доцільно поєднати схему дистанційної перевірки трансформаторів зі схемою перевірки стрілочних електродвигунів для збільшення коефіцієнта використання вимірювального обладнання.

На вхід трансформатору слід подавати прямокутні імпульси частотою  $f = 2$  кГц (100 мВ) з генератора звукових частот, наприклад, ГЗ-Ш. На виході трансформатору необхідно включити осцилограф. На початку проведення вимірів на осцилографі потрібно виконати спеціальну настройку, щоб на екрані осцилографу були отримані чітко виражені прямокутні імпульси. Даний метод дозволяє визначити наступні несправності в сигнальному трансформаторі СТ-4 і в жилах кабелю:

- обрив вторинної обмотки або перегорання лампи;
- повне коротке замикання первинної обмотки або повне коротке замикання жил кабелю;
- часткове коротке замикання первинної обмотки;
- обрив в первинній обмотці і поєднання із «землею» або обрив зворотної жили і поєднання її з «землею»;
- поєднання із «землею» первинної обмотки або поєднання з «землею» прямий жили кабелю.

Осцилограма справного стану сигнального трансформатора і жил кабелю залежно від стану кабелю і відстані до сигналу, буде видозмінюватися, тобто товщина горизон-

тальної частини кривої буде більш товстою або тонкою. Більшою мірою товщина лінії залежить від стану кабелю.

При повному короткому замиканні однієї обмотки трансформатора або ж повному к. з. прямої і зворотної жил кабелю в кінці лінії, осцилограма також буде видозмінюватися. Чим більше відстань від поста електричної централізації (ЕЦ) до сигнальної точки ( $l$ ), тим ближче до осі  $X$  буде підніматися позитивна частина осцилограми і відповідно збільшиться відстань ( $d$ ) між потовщеними горизонтальними відрізками осцилограми (крок масштабування).

За результатами цілого ряду виконаних вимірювань може бути побудований графік залежності зміни довжини  $l$  від відстані  $d$ , який має лінійний характер. За графіком можна визначити приблизну відстань до місця короткого замикання в кабелі, знаючи заздалегідь, що, наприклад, на кожні 100 м величини  $l$  приблизно припадає 1,5 мм величини  $d$ . При достатньо точному визначенні величин  $l$  і  $d$  можна встановити місце короткого замикання жил кабелю з точністю до 10 м за отриманим графіком.

### Висновки

Запропоновано модернізувати сигнальний трансформатор типу СТ-4 з метою покращення технічних характеристик і покращення обслуговування.

В роботі дано обґрунтування впровадження модернізованого сигнального трансформатора типу СТ-4.ТА з тороїдальним сердечником, що дозволяє зменшити масу та габарити приблизно в 2 рази, зменшити вплив електромагнітних завад, випромінюваних трансформатором, на суміжні пристрої.

Для виключення передчасного старіння ізоляції через значний вплив вологи зовнішнього середовища пропонується у

подальшому випускати сигнальні трансформатори типу СТ-4.ТА залиті компаундом.

З метою зменшення відмов у трансформаторах виду «випадкове к.з.» при виконанні пусконаладжувальних робіт або експлуатації в трансформаторі СТ-4.ТА застосовано WAGO клемні обмотки.

На вторинній обмотці трансформатору передбачено додаткову вторинну обмотку з номінальною напругою 5,6 В для реалізації можливості живлення світлодіодних світлофорів.

Застосування тороїдального сердечника дозволить підвищити ККД трансформатору до 80% за рахунок зменшення втрат.

Лабораторні випробування сигнального трансформатора СТ-4.ТА були виконані на базі ТОВ «НВО «ТРАНСАВТОМАТИКА», м. Дніпропетровськ комісією у складі Комісія у складі: голова комісії – головний інженер Карнауха В.Л. і членів комісії: начальник технічного відділу Євдокименко А.Л., провідний інженер Теліпка А.В., інженер 2 категорії Корчевський Ю.П.

Дослідний зразок трансформатору типу СТ-4.ТА було виконано підприємством ТОВ «НВО «Трансавтоматика», м. Дніпропетровська, Україна.

### Бібліографічний список

1. Котенёв, Е. С. Расчет и оптимизация тороидальных трансформаторов [Текст] / Е. С. Котенёв, А. Н. Евсеев – Москва: Горячая линия – Телеком, 2011. – 287 с.
2. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШ/0060 [Текст]: Затв. Міністерства транспорту та зв'язку України, Держ. адм. залізн. трансп. України, Укрзалізниця. Гол. управл. автомат., телемех. та зв'язку. Затв. Наказ Держ. адмін. залізн. трансп. України від

- 07.10.2009. №090-ЦЗ – Київ, 2009. – 111 с.
3. Стислий довідник на елементи та пристрої залізничної автоматики: ЦШ-0036 [Текст]: затв. наказом Держ. адмін. залізн. транс. України від 23 .06 2005 №175-Ц. – Київ: [б. и.], 2005. – 238 с. – (Мін. транс. та зв'язку України. Укрзалізниця. Гол. упр. АТЗ).
  4. Сороко, В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 2 кн. – 3-е изд. [Текст] / В. И. Сороко, В. А. Милуков – Москва: НПФ «Планета», 2000 – 823 с.
  5. Архипов, Е.В. Справочник электромонтера СЦБ: 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Е.В. Архипов, В.Н. Гуревич – Москва: Транспорт, 1999 – 351 с.
  6. Prieto, R. Influence of Winding Strategy in Toroidal Transformers [Text]/ R. Prieto, V. Bataller, J. A. Cobos, and J. Uceda // 24th Annual IEEE Conference of the Industrial Electronics Society IECON'98, August 31 – September 4, 1998, pp. 359-364.
  7. Мартынихин, Г. Расчет тороидальных трансформаторов [Текст] / Г. Мартынихин // Радио. – 1972. –№ 3. – С. 42.

**Ключові слова:** сигнальний трансформатор, тороїдальний сердечник, обмотка, метод обслуговування.

**Ключевые слова:** сигнальный трансформатор, тороидальный сердечник, обмотка, метод обслуживания.

**Keywords:** signal transformer, toroidal core, winding, method of servicing.

Надійшла до редколегії 15.03.2012