



УДК 621.31.622

ЛЕВИЦЬКИЙ А.С., докт.техн. наук,

БОРЩОВ П.І., канд. техн. наук,

Інститут електродинамики НАН України, м. Київ

ВИБУХОБЕЗПЕЧНИЙ ВИМІРЮВАЧ ЗУСИЛЬ В СТЯЖНИХ ПРИЗМАХ ГЕНЕРАТОРА

Окреслено основні вимоги до складових частин ємнісного вимірювача зусиль в стяжних призмах потужного турбогенератора, які знаходяться у вибухобезпечній зоні. Показано, що вимірювача зусиль, створений на базі конвертора CDC типу AD 7746, може бути застосований всередині турбогенератора з водневою системою охолодження. Описано схему та принцип роботи спеціального блоку іскрозахисту, який встановлюється на вході схеми вимірювача.

Ключові слова: турбогенератор, осердя статора, стяжна призма, зусилля, ємнісний сенсор, вторинний перетворювач, вибухобезпечність.

При створенні вимірювачів зусиль в стяжних призмах потужного турбогенератора (ТГ) необхідно враховувати специфічні вимоги, пов'язані з особливостями об'єкта контролю, а саме — потужного ТГ. Одною з таких важливих вимог є вибухобезпечність, оскільки елементи вимірювача застосовуються всередині ТГ, де для охолодження може застосовуватися водень з домішками повітря, тобто суміш, що відноситься до однієї з найвищих категорій вибухонебезпечності [1, 2].

У роботі [3] описано принципи побудови, електричну схему та особливості конструкції вимірювача зусиль з напівдиференціальним ємнісним сенсором, створеного на базі конвертора "CDC (Capacitance-to-Digital Converter) компанії Analog Devices — ІМС типу AD7746 [4].

Конструктивну схему сенсора показано на Рис. 1, а принципову електричну схему — на Рис. 2.

На Рис. 1 зображено: 1 — пружний силосприймаючий чутливий елемент (з робочою довжиною L , внутрішнім діаметром D_1 , зовнішнім діаметром D_2); 2, 3 — електроди змінного робочого конденсатора; 4, 5 електроди постійного еталонного конденсатора. Розміри електродів 2–5, а також зазори між ними d_1, d_2 вибираються такими, щоб ємність C_{10} робочого змінного конденсатора в початковому положенні (тобто при відсутності зусиль стиснення) була приблизно рівною ємності $C_{10} = C_{const}$.

Технічна характеристика напівдиференціального сенсора (Рис. 1):

1. Діапазон вимірювальних зусиль в призмах, кгс — від 50 до $44 \cdot 10^2$;
2. Величина початкових зазорів в конденсаторах, мм — від 0,9 до 1;
3. Зміна зазору в змінного конденсаторі при максимальному зусиллі, мкм — від 22 до 24;
4. Ємність постійного конденсатора, пФ — від 28 до 32;
5. Початкова ємність змінного конденсатора, пФ — від 28 до 32;

Метою даної роботи є розробка схематехнічних засобів для забезпечення роботи пристрою у вибухонебезпечному водневому середовищі.

Як зазначено в [2, 5, 6] найбільш універсальним, гнучким і економічно вигідним є вид вибухозахисту

"іскробезпечне електричне коло" Створення пристрою такого типу вимагає застосування комплексу певних конструкторських і схематехнічних рішень. Зокрема, електричні напруги і струми на електродах сенсора та інших елементах пристрою, що знаходяться у вибухонебезпечній зоні, не повинні перевищувати гранично допустимих значень — як у штатному, так і в аварійних режимах роботи. Основні принципи, якими необхідно керуватися в даному випадку, полягають в наступному:

1. На всіх елементах кола, з'єднаних гальванічно з вузлами, що перебувають безпосередньо у вибухонебезпечній зоні, ні за яких обставин (у тому числі, в аварійних режимах) не повинно виникати напруг відносно землі, здатних викликати іскроутворення.

2. Вимірювальне коло і взагалі весь вимірювальний перетворювач (ВП) не повинні містити елементи, що мають індуктивний імпеданс, тобто бути накопичувачами енергії, достатньої для утворення іскри.

3. Конденсатори, що входять до складу ВП, повинні мати мінімально можливу ємність, яка допускає нормальне функціонування пристрою (звичайно не більше часток мікрофард).

4. Значення живлячих напруг вибирається якомога нижчими. Компромісом є значення 6–12 В. У сукупності з п.3 це сприяє тому, що енергія, яка накопичується конденсаторами, не перевищує критичних значень, при яких можливе іскроутворення.

5. Та частина вузлів джерела живлення (ДЖ), яка має гальванічний зв'язок з сенсорами, розташованими у вибухонебезпечній зоні, повинна отримувати живлення від окремого малопотужного джерела. При цьому схематехнічними прийомами вихідний струм цього джерела навіть при короткому замиканні його виходу обмежується значенням, декілька перевищувачими споживаний пристроєм при нормальній роботі струм, зазвичай це міліампери — десятки міліампер. Вживаються також заходи для виключення попадання напруги на вихід цього джерела. Для цього використовується додаткова обмотка силового трансформатора, відокремлена від інших обмоток заземленим екраном, виконується відповідним чином монтаж деталей цього джерела та ін.

6. Додатковим заходом захисту від попадання високої (мережевої) напруги по з'єднувальним проводах



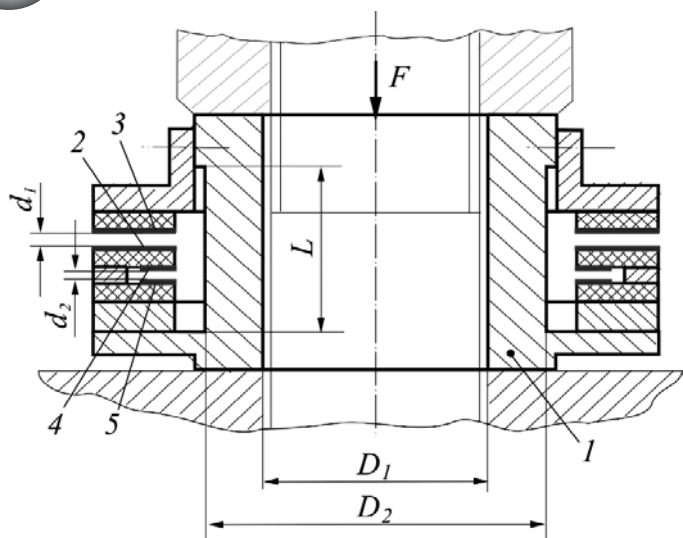


Рис. 1.

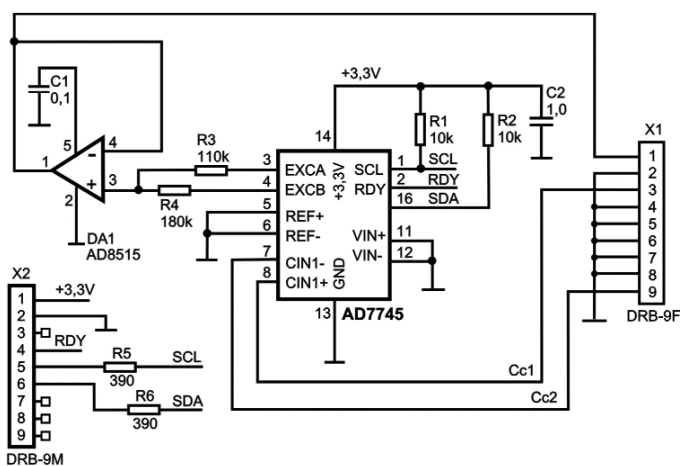


Рис. 2.

на сенсори, що знаходяться в зоні контролю, є установка в розрив кожного з цих проводів так званих бар'єрів іскрозахисту (БІЗ). Зазвичай це Т-образні ланцюжки, кожен з яких складається з двох послідовно з'єднаних резисторів і стабілітронів, включених між загальною точкою резисторів і "землею". Монтаж елементів іскрозахисту виконується за певними правилами [7–10]. Весь блок іскрозахисту заливається спеціальним ком-

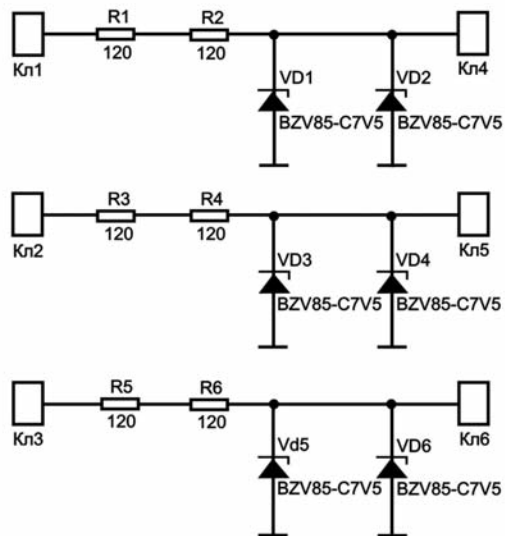


Рис. 3.

паундом і закривається металевим кожухом. Інколи для виключення можливого перегріву і руйнування БІЗ в аварійному режимі послідовно з ним з боку електронного блоку (ЕБ) включають швидкодіючий плавкий запобіжник із струмом спрацьовування меншим, ніж розрахунковий струм БІЗ при попаданні на нього з боку ЕБ мережевої напруги.

7. При проектуванні принципової схеми пристрою розрахунок електричних режимів і вибір елементів, що використовуються проводиться так, щоб кожен елемент кола в нормальному режимі роботи був навантажений не більше, ніж на 2/3 своєї допустимої потужності розсіювання або 2/3 допустимої напруги пробою.

У даному перетворювачі (Рис. 2) споживачами електричної потужності є мікросхема CDC (DA1) та операційний підсилювач (DA2). Струм споживання мікросхеми при напрузі живлення 3,3 В AD7745 не перевищує 0,85 мА. Споживання операційного підсилювача AD8515 при такій же напрузі не перевищує 0,5 мА. Разом обидві мікросхеми споживатимуть струм не більше 1,35 мА. При напрузі живлення 3,3 В вторинний перетворювач разом з сенсором споживає не більше 5 мВт, що є суттєво нижчим за допустиме значення 1 Вт. Займання середовища від нагрітої поверхні у робочому режимі виключається.

Для виключення можливості іскрового займання середовища при короткому замиканні між будь-якими точками електричних кіл вторинного вимірювального перетворювача приймаються заходи,

- спеціальне виконання мережевого трансформатора живлення;
- включення між вибухобезпечною та вибухонебезпечною зонами блока іскрозахисту. електрична принципова схема якого показана на Рис. 3

Прийнято такі позначення: Кл1–Кл3 – вхідні клеми, на які подаються сигнали з вторинного вимірювального перетворювача (Рис. 2), Кл4–Кл6 – вихідні клеми, до яких підключаються електроди сенсора, R1–R6 – резистори, що забезпечують обмеження струму на захисні стабілітрони VD1–VD6. Інколи для виключення можливого перегріву і руйнування БІЗ в аварійному режимі послідовно з ним з боку електронного вторинного перетворювача (ЕВБ) включають швидкодіючий плавкий запобіжник із струмом спрацьовування меншим, ніж розрахунковий струм БІЗ при попаданні на нього з боку ЕВБ мережевої напруги.

Іскрозахисні шунтуючі кола включаються у лінію "+3,3 V" (Рис. 2) та в інформаційні лінії.

Після введення блока іскрозахисту кожна з вказаних ліній представляє собою ємнісне коло групи II (згідно додатка А нормативного документа [2]).

Заходом захисту від попадання високої (мережевої) напруги через з'єднувальні провідники на сенсори, які знаходяться в зоні контролю, є установка в розрив кожного з цих проводів так званих



бар'єрів іскрозахисту БІЗ. Одним з таких бар'єрів є бар'єр Зенера, узагальнена схема якого показана на Рис. 4 [4–7].

Принцип роботи бар'єра іскрозахисту полягає в наступному. У нормальному режимі роботи вимірювального приладу напруга пробою стабілітронів не перевищується – стабілітрони не проводять струм (Рис. 5).

При виникненні аварії у вторинній частині вимірювальної системи, розташованої в безпечній зоні, і при перевищенні зовнішньою напругою пробою стабілітрона (робочою областю стабілітронів є ділянка на зворотній гілці вольт-амперної характеристики) він переходить в режим стабілізації рівня напруги при зміні величини протікаючого через нього струму (Рис. 6).

Стабілітрон починає проводити струм. Послідовно включений резистор обмежує струм в колі вибухонебезпечної зони. При досягненні струмом певного значення спрацьовує вбудований запобіжник F , що запобігає передачі неприпустимо великої електричної потужності з безпечної зони в електричні кола обладнання, розташованого у вибухонебезпечній зоні.

Таким чином забезпечується іскробезпечний струм (напруга, потужність або енергія) в електричному ланцюзі, при якому не може статися займання у вибухонебезпечній зоні, і в той же час зберігаються нормальні умови для проходження через бар'єр електричних сигналів без їх шунтування.

В ідеальному випадку стабілітрони не повинні взагалі пропускати струм в зворотному напрямку до тих пір, поки не буде досягнуто значення напруги пробою. На практиці стабілітрони допускають невеликий струм витoku, значення якого збільшується зі зростанням прикладеної напруги.

Отже, напруга робочої області БІЗ має бути нижче напруги стабілізації, так щоб протікаючий через стабілітрон струм був обмежений до мінімуму.

Висновок. Розроблений вимірювач зусиль в стяжних призмах потужного ТГ, в якому використано перетворювач "ємність – код" типу AD7746, може бути використаний у турбогенераторах з водневою системою охолодження.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ EN 60079-0:2017 (EN 60079-0:2012, IDT). Вибухонебезпечні середовища. Частина 0. Устаткування. Загальні вимоги. Дата введення в дію: 26.07.2017. Наказ 2017-07-25 № 192.
2. ДСТУ EN 60079-11:2016 (EN 60079-11:2012, IDT). Вибухонебезпечні газові середовища. Частина 11. Захист електричного обладнання за допомогою іскробезпечного електричного кола "І". – К.: Держстандарт України. – 2017.
3. Левицький А.С., Новик А.И., Зайцев Е.А. Цифровой емкостный измеритель усилий в стяжных шпильках сердечника статора генератора на основе конвертера AD7745/46 // Гідроенергетика України. – 2018. – № 1–2. – С. 66–69.
4. AD7745/AD7746 24-Bit Capacitance-to-Digital Converter with Temperature Sensor (rev.0). Available at:

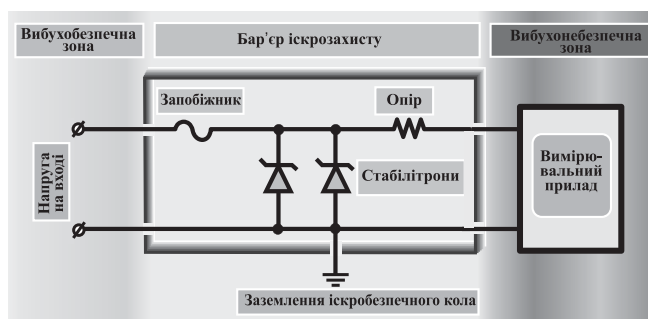


Рис. 4.

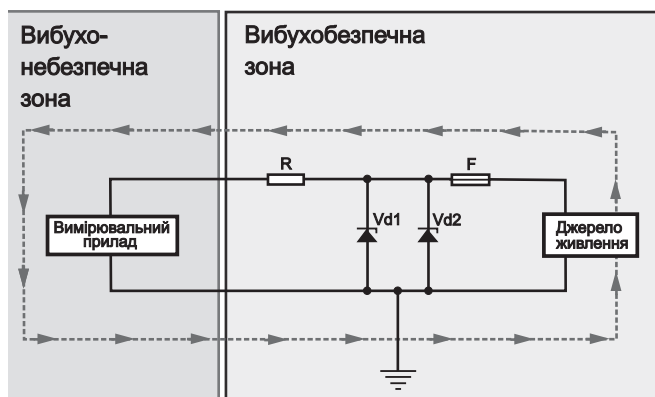


Рис. 5.

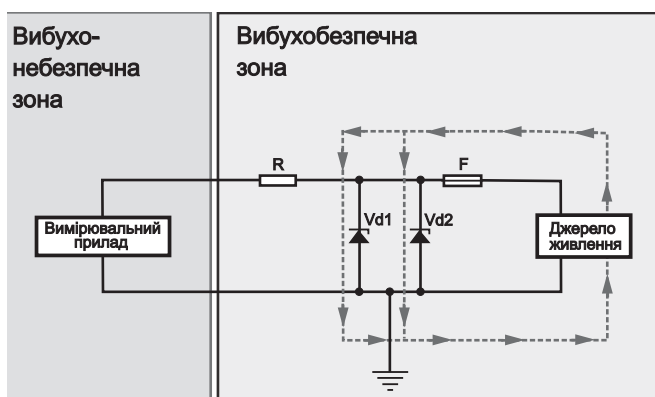


Рис. 6.

http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/ata-sheets/AD7745_7746.pdf (accessed 28.10.2018).

5. Жданкин В.К. Некоторые вопросы обеспечения взрывобезопасности оборудования // Современные технологии автоматизации. – 1998. – № 2. – С. 98–106.
6. Жданкин В.К. Вид взрывозащиты "искробезопасная электрическая цепь" // Там же – 1999. – № 2 – С. 72–83.
7. Барьер Зенера. Режим доступу: http://e2s.ru/osnovnye_svedeniya/barer_zenera1/ (дата звернення 24.10.2018).
8. Трёмбицкий А.Л., Шатило А.А. Исследование барьеров безопасности на стабилитронах. Режим доступу: http://www.giab-online.ru/files/Data/2013/4/286-295_Trembitskiy_-_10_str.pdf (дата звернення 24.10.2018).
9. Ерыгин А.Т., Шатило А.Н., Спасов М.С. Разработка расчетного метода оценки искробезопасности барьеров безопасности на стабилитронах. Режим доступу: http://www.giab-online.ru/files/Data/2014/08/57_349-353_Erigin.pdf (дата звернення 24.10.2018).
10. Жданкин В. Барьеры искрозащиты на стабилитронах: критерии выбора и особенности применения // Современные Технологии Автоматизации. – 2003. – №2. – С. 72–84.

© Левицький А.С., Борщов П.І., 2018