

СЕКЦІЯ 7: ТЕХНІКА І ЕЛЕКТРОФІЗИКА ВИСОКИХ НАПРУГ

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДПРОВІДНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Бех Д.В., студент; Бржезицький В.О., д.т.н., професор; Маслюченко І.М., к.т.н., доцент; Холоєвський Н.І., студент
НТУУ «КПІ», кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Вступ. У 1911 році голландський фізик Х. Камерлінг-Оннес відкрив явище надпровідності. Він проводив вимірювання електричного опору ртуті при низьких температурах. Оннес хотів з'ясувати, наскільки малим може стати опір речовини електричному струму, якщо максимально очистити речовину від домішок і максимально знизити «тепловий шум», тобто зменшити температуру. Результат цього дослідження виявився несподіваним: при температурі нижче 4,15 К опір майже миттєво зник [1].

Надпровідність виникає стрибком при зниженні температури. Температура T_c , при досягненні якої відбувається стрибок, називається критичною. Тертя рухомих електронів зникає незалежно від «чистоти» зразка, але чим зразок «чистіше», тим різкіше стрибок опору, його ширина в самих «чистих» зразках менше сотої частки градуса. У цьому випадку говорять про «хороші» зразки або надпровідники; в «поганих» зразках ширина переходу може досягати одиниць-десятків градусів [1].

Температури 0...20 К дістали назву області наднизьких температур, а матеріали, критична температура яких $T_c < 20$ К, називають «низькотемпературними надпровідниками» (НТНП). У більшості випадків стійкий стан надпровідності для НТНП досягають при їх зануренні у рідкий гелій (He), температура кипіння якого при атмосферному тиску складає 4,2 К.

У 1938 р. Г. Беднортц та А. Мюллер відкрили явище надпровідності у певних керамічних матеріалах при температурі кипіння рідкого азоту (N_2), що складає 77 К. Невдовзі після того була відкрита надпровідність широкого класу матеріалів (при 140 К і більше). Такі матеріали дістали назву «високотемпературних надпровідників» (ВТНП) [1].

З 80, 90-х років дослідження надпровідності починають стрімко розвиватись у напрямках:

- промислового виготовлення НТНП- та ВТНП-провідників [2];
- створення унікальних надпровідних магнітних систем для одержання магнітних полів з індукцією ~ 10 Т в установках керованого термоядерного синтезу та в установках фізичних досліджень [3];
- розробка надпровідних обмежувачів струмів короткого замикання;
- створення надпровідних індуктивних накопичувачів енергії (НПН);
- освоєння надпровідних кабелів високої потужності [4];

- розробка електричних машин з використанням надпровідних елементів;
- освоєння високочутливої вимірювальної техніки еталонного типу;
- розробка надпотужних обчислювальних машин з елементами «надпровідної» пам'яті;
- створення систем «левітації» обертових деталей, транспортних засобів [1].

Мета роботи. На основі матеріалів детального огляду [1] та інших публікацій, з урахуванням досвіду викладання питань надпровідності (на кафедрі ТЕВН свого часу викладалась дисципліна «Надпровідні пристрої ТВН») сформулювати наукові задачі, які можуть вирішуватись в напрямку розвитку тематики застосування надпровідності в електротехніці та електроенергетиці.

Матеріали та результати досліджень. На розвиток «надпровідної електротехніки» в найбільш технологічно передових країнах (США, Німеччина, Японія) виділяються величезні кошти [5], створені фірми, які спеціалізуються на розробці, виготовленні та впровадженні надпровідної техніки (наприклад, фірми ASC, SI в США). Ринок розробок НППН у США складає близько 500 млн. доларів на рік [5]. В Україні успішно проводяться наукові розробки матеріалів ВТНП (Інженерно-фізичний факультет НТУУ «Київський політехнічний інститут», Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАНУ). Тому розвиток досліджень з «надпровідної електротехніки» на основі координації з вищезазначеними центрами є обґрунтованим та необхідним.

В подальшому виділимо ті напрямки, які можуть розвиватись на базі кафедри техніки і електрофізики високих напруг.

Надпровідні обмежувачі струмів короткого замикання. Недоліком існуючих електричних мереж є те, що в режимах коротких замикань (КЗ) струм обмежується лінійними елементами (реакторами, резисторами), при цьому струми КЗ досягають значних величин та мають тривалий час відключення. В протилежність цьому перенапруги обмежуються практично миттєво за допомогою обмежувачів перенапруг нелінійних (ОПН). «Включення» ОПН в режим обмеження перенапруг відбувається за доли мікросекунди за рахунок нелінійних властивостей матеріалу його варисторів. Після припинення дії перенапруг, ОПН «автоматично» відключається від режиму обмеження перенапруг.

Основою дії надпровідного обмежувача струмів КЗ є обмотка з надпровідного матеріалу, що включена послідовно в коло лінії. Якщо струм в лінії менше допустимого значення, опір надпровідної обмотки дорівнює нулю для постійного струму та є близьким до нуля для змінного струму. Як тільки струм перевищує граничне значення, миттєво відбувається втрата надпровідного стану, опір обмотки зростає (для змінного струму на десятки порядків), і струм в лінії «автоматично» обмежується. Після усунення причини КЗ опір обмотки з надпровідного матеріалу миттєво повертається у початкове положення. При різкому зростанні опору обмежувача струму на ньому буде відбуватись сплеск напруги, який може бути поглинутий за допомогою

відповідного ОПН (кафедра ТЕВН є базовою установою з ОПН, нею за договором з НЕК «УКРЕНЕРГО» підготовлений та виданий стандарт України з вибору ОПН [6]).

Таким чином, поєднання надпровідного обмежувача струмів в комплексі з вибором відповідного ОПН може бути принципово новим засобом обмеження струмів КЗ в електричних мережах.

Надпровідні індуктивні накопичувачі енергії (НПН). Дія НПН заснована на тому, що при збудженні струму у котушці з надпровідного матеріалу та замиканні її після того «саму на себе», в ній відбувається практично незатухаюча циркуляція постійного струму (за один рік збуджений струм у надпровідному кільці зменшується на $\sim 1\%$ [1]). Таким чином, НПН може виконувати роль високоефективного накопичувача для відновлювальних джерел енергії [7], запасного джерела живлення при короткочасних перервах електропостачання [5], засобу «вирівнювання у часі» навантаження потужних дизельних двигунів для транспортних засобів [8].

НПН для транспортних засобів [8] є порівняно компактними, але дорогавартісними, оскільки в них використовують НТНП-провідники та гелійове охолодження.

НПН для застосувань в електроенергетиці повинні мати стаціонарне виконання, використовувати ВТНП-провідники та охолодження рідким азотом. Серед задач досліджень даного типу НПН можна виділити наступні:

- оскільки ВТНП-провідники більш подібні до шин, виникає питання їх електричного з'єднання;
- необхідна розробка питання підсилення механічної міцності конструкцій обмоток з ВТНП-провідників;
- для випадку раптової втрати стану надпровідності необхідне «теплове розвантаження» ВТНП-провідників;
- «нульові втрати» енергії у надпровідників можливі тільки в режимі зберігання енергії, але в режимах «закачування енергії» або її відбору виникають додаткові втрати енергії, які потребують дослідження;
- стаціонарні системи НПН великої потужності повинні разом працювати з замкнутим циклом рефрижераторів рідкого азоту;
- енергія, яка зберігається у НПН, та передається від НПН у навантаження є енергією постійного струму, що визиває певні особливості її використання;
- необхідна розробка комутуючих пристроїв, які забезпечують приєднання НПН до зовнішньої мережі, або замикання його обмотки «саму на себе»;
- експлуатація НПН потребує розробки та створення спеціалізованих автоматизованих систем керування.

Надпровідні кабелі високої потужності. Унікальною особливістю таких кабелів є те, що при передачі енергії постійного струму, втрати енергії в них, принципово, можуть бути мінімальними.

Застосування надпровідності дозволяє підвищити густину струму у струмопровідних жилах, приблизно, на півтора – два порядки (подальше збільшення густини струму руйнує стан надпровідності пов'язаним зі струмом

магнітним полем). Таким чином, при тій же потужності робоча напруга кабелю може бути відповідно знижена, але все ж таки вона буде залишатись на рівні десятків кіловольт. При цьому виникає питання вибору, розрахунку, відповідних випробувань та діагностування високовольтної ізоляції у середовищі рідкого гелію (або азоту).

При значній довжині надпровідного кабелю виникає ускладнення прокачування по його довжині холодоагенту, наприклад рідкого азоту.

Виправити дане ускладнення можливо при застосуванні надтекучості (наприклад, рідкого гелію). В цьому випадку явища надпровідності струмопровідних жил кабелю та надтекучості холодоагенту будуть доповнювати один одного.

Висновки

1. Розробки технічних застосувань надпровідності викликають необхідність розвитку наукових досліджень електротехніки надпровідних кіл при дії сильних електричних та магнітних полів.

2. Специфіка явищ надпровідності потребує трансформування техніки і електрофізики високих напруг в область збільшених струмів та деякого зменшення робочих напруг, які все ж таки залишаються високими при значній потужності електроустаткування.

3. Сформульовані актуальні задачі розвитку наукових досліджень в галузі надпровідної електротехніки для техніки і електрофізики високих напруг.

Перелік посилань

1. Гинзбург, В. Л. Сверхпроводимость. 2-е изд. / Гинзбург, В. Л., Андрюшин, Е. А. // М.: Альфа-М, 2006. - 110 с.

2. Malozemoff, A. High-temperature superconductor wire / Malozemoff, A. // Advanced Materials & Processes. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.asminternational.org/documents/10192/1897116/amp16509p035.pdf/d1575671-14c7-4184-9ec6-dd1244fe7218/AMP16509P035>.

3. Егоров, С. А. Разработка сверхпроводящих магнитных систем индуктивных накопителей энергии и термоядерных установок: автореф. дис. д-ра техн. наук : 01.04.13 / С. А. Егоров; [Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова]. – М., 2006. – 51 с.

4. Lue, J. W. Test of two prototype high-temperature superconducting transmission cables / Lue, J. W., Lubell, M. S., Jones, E. C., Demko, J. A and other // IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 7, No. 2, - 1997, p. 302-305.

5. Лутидзе, Ш. И. Эффективные направления разработок сверхпроводящих индуктивных накопителей энергии для энергетики / Лутидзе, Ш. И., Джафаров, Э.А., Юлдашев Ф. Ф. // ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://fps04.lebedev.ru/jobs/Section_A/Dzhafarov_279.pdf.

6. СОУ-Н ЕЕ 40.12-00100227-47:2011 Обмежувачі перенапруг нелінійні напругою 110-750 кВ. Настанова щодо вибору та застосування. Затверджено Міненерговугілля України. Наказ № 136 від 19.05.2011. Розроблено: НТУУ «КПІ» (кафедра техніки і електрофізики високих напруг) / В. Бржезицький, Д. Крисенко. - Київ: ДП «НЕК» «Укрэнерго», 2011. - 44 с.

7. Кудря, С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. / С. О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.

8. Носков, В. Н. Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии в энергоустановках железнодорожного транспорта: автореф. дис. к-та техн. наук : 05.22.07 / В.Н. Носков; [Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения» (ПГУПС)]. – М., 2010. — 23 с.