

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

УДК 621.314

М.М. Юрченко

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВУЗЛІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ БОРТОВИХ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УСТАНОВОК

Розглянуто особливості конструювання високовольтних вузлів систем електроживлення бортових електронно-променевих бортових технологічних установок, де показано вплив електричних, електромагнітних та теплових полів, які сконцентровані в малому обсязі, на їх вихідні характеристики.

Створення систем електроживлення (СЕЖ) бортових електронно-променевих технологічних установок (БЕПТУ) належить до числа складних задач перетворювальної техніки. Це пов'язано з необхідністю забезпечення електричної міцності конструкції і безпеки експлуатації, а також врахування специфіки електромагнітних процесів у пристроях перетворення рівня напруги та наявності високої напруженості електричного поля, яка погіршує електромагнітну сумісність (ЕМС), та інше.

Характеристики цих СЕЖ не завжди можливо порівняти між собою, тому що вони суттєво залежать від частоти перетворення напруги, потужності та застосованої технології.

Такі системи належать до пристроїв, при проектуванні яких питання конструювання не менш важливе для досягнення кінцевого результату, ніж питання схемотехніки.

Розглядаючи структурну схему таких пристроїв, необхідно зауважити, що їх функціональні вузли працюють на високій частоті (20...500 кГц) з перетворенням низької напруги (23...34 В) у високу (10 кВ). У такому випадку об'єднання в одному пристрої перетворювачів, які працюють на високій частоті з їх високовольтними вузлами (ВВ), представляє з точки зору забезпечення внутрішнього теплового режиму складну науково-технічну задачу [3, 4].

Через тепловиділення в напівпровідникових елементах, осердях, провідниках, у першу чергу в обмотках, виникають теплові поля. В окремих випадках тепловиділення відбувається і в ізоляції високовольтних вузлів через протікання струмів витоку. Герметизований високовольтний модуль являє собою конструкцію з внутрішнім тепловиділенням. Інтенсивність тепловиділення пов'язана з інтенсивністю електромагнітних полів.

У свою чергу теплове поле призводить до зміни електрофізичних характеристик електроізоляційного матеріалу та перерозподілення електричного поля, необхідності зміни конфігурації та розмірів високовольтних вузлів.

Таким чином, у вузлах СЕЖ БЕПТУ присутні взаємопов'язані інтенсивні електричні, електромагнітні та теплові поля, які сконцентровані у малому обсязі.

Відомо, що у високовольтних системах електроживлення необхідно підтримувати такий тепловий режим, при якому напруженість електричного поля не повинна перевищувати допустимих значень.

На практиці часто використовують примусове охолодження. У цьому випадку заданим параметром є інтенсивність охолодження Δt . Ця величина може бути представлена математичним виразом для визначення перевищення температури у високовольтних вузлах [1]:

$$\Delta t = P / a\Pi = (P_C + P_{O1} + P_{O2} + P_D) / [a(\Pi_Y + \Pi_{ЗМБ} + \Pi_{ЗКЛ})], \quad (1)$$

де Δt – перевищення температури у найбільш нагрітій точці над навколишнім середовищем; P – сумарні втрати у високовольтних вузлах; Π – поверхня охолодження високовольтного вузла; P_{O1}, P_{O2} – втрати у первинній та вторинній обмотках; P_D – втрати у діодах; a – коефіцієнт тепловіддачі поверхні модуля; Π_Y – поверхня ярма осердя; $\Pi_{ЗМБ}$ – поверхня залитого модуля; $\Pi_{ЗКЛ}$ – поверхня каналу стержня осердя.

Аналізуючи цей вираз, можна зазначити, що перевищення температури високовольтних вузлів СЕЖ БЕПТУ залежить від втрати потужностей у високовольтному трансформаторі (ВТ) та його охолодження.

Особливо це стосується втрат у паразитних реактивностях ВТ. Навіть якщо ємність обмоток невелика, магнітна енергія W_M , яка накопичується в магнітних полях основного потоку та потоку розсіювання, буде мати максимальне значення:

$$W_M = \frac{1}{2}(L_S I_H^2 + L_0 I_0^2), \quad (2)$$

де L_0 – власна індуктивність осердя; I_0 – амплітуда струму намагнічування; L_S – індуктивність розсіювання; I_H – амплітуда струму навантаження.

При цьому реактивна потужність ВТ з урахуванням індуктивності розсіювання буде

$$P_p = I_H^2 \cdot X_{LS} = 2\pi f \cdot I_H^2 \cdot L_S. \quad (3)$$

Прийmemo, що

$$\frac{P_p}{P_H} = const, \quad (4)$$

де P_H – потужність у навантаженні СЕЖ БЕПТУ.

Тоді при проектуванні ВВ відношення P_p до P_H залишається постійним при зміні потужності, рівня напруги та частоти.

Розглядаючи безпеку експлуатації та конструкції ВТ, необхідно звернути увагу на якість ізоляції при його виготовленні.

У високовольтних вузлах СЕЖ БЕПТУ, як правило, застосовують тверду ізоляцію. До неї пред'являють природні вимоги:

- здатність забезпечити електричну міцність конструкції при тривалій експлуатації;
- механічна міцність, достатня для кріплення високовольтних вузлів;
- термостійкість, яка наближається до термостійкості інших вузлів та елементів СЕЖ;
- технологічність;
- сумісність з елементами та матеріалами, які входять у СЕЖ, хороша адгезія.

Серед великої кількості діелектриків (керамічні матеріали, слюда, скло та інші) перевага віддається одному класу твердих діелектриків – епоксидним компаундам. Вони мають виключно високі електричні та механічні властивості, хорошу термостійкість та адгезію.

Широкий асортимент модифікуючих домішок та наповнювачів дозволяє змінити властивості епоксидних компаундів у необхідному напрямку.

Іншими специфічними характеристиками, що впливають на вибір матеріалу, є такі:

- теплопровідність, майже цілком визначається складом та відсотковим змістом наповнювача;
- високий питомий опір, тому що у протилежному випадку в недопустимій мірі зростають втрати в ізоляції.

Важливою характеристикою електроізоляційних матеріалів та епоксидних компаундів є їх довговічність при роботі під високою напругою.

Головною причиною старіння ізоляції є наявність часткових розрядів, які призводять до появи мікродефектів у товщині ізоляційного проміжку [2].

Дослідженню часткових розрядів присвячено велику кількість робіт, висновки з яких можуть бути зведені до наступних положень: часткові розряди виникають при наявності в обсязі ізоляції мікродефектів: бульбашок, тріщин (шпарин), раковин, які є наслідком недосконалої технології.

При детальному дотриманні технологічного циклу та грамотному проектуванні високовольтних пристроїв з епоксидною ізоляцією термін їх служби складає десятки років.

Оцінюючи наведене вище, необхідно зауважити, що при створенні високовольтних вузлів СЕЖ для БЕПТУ особливу увагу потрібно приділяти електричним, електромагнітним та тепловим полям, які сконцентровані в малому обсязі. Використовуючи примусове охолодження високовольтних вузлів, необхідно звертати увагу на втрати магнітної енергії, яка накопичується в реактивностях високовольтних вузлів, а також на втрати в ізоляції від температури.

Застосування епоксидної ізоляції при конструюванні високовольтних вузлів СЕЖ дозволяє досягти тривалого терміну їх служби.

Рассмотрены особенности конструирования высоковольтных узлов систем электропитания бортовых электронно-лучевых технологических установок, где показано влияние электрических, электромагнитных и тепловых полей, которые сконцентрированы в малом объеме, на их выходные характеристики.

It is considered particularities of designing high-voltage modules for supply system of on-board electron-beam technological set-ups. It is showed the influence of electric, electromagnetic and heat fields, concentrated in small volume, on output characteristics.

1. *Иерусалимом М.Е., Ильенко О.С.* Математическая модель многофакторного старения высоковольтной изоляции // *Электричество*. – 1979. – № 7. – С. 28–31.
2. *Кулаковский В.Б., Самородов Ю.Н.* Расчет долговечности высоковольтной изоляции при действии нескольких старящих факторов // *Электричество*. – 1979. – № 7. – С. 25–28.
3. *Юрченко М.М.* Системи високовольтного бортового живлення електронно-променевої установки технології безтигельного зонного переплаву // *Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр.* – К.: ІЕД НАНУ. – 2009. – № 22. – С. 86–89.
4. *Юрченко Н.Н., Юрченко О.Н.* Системи електропитання бортових технологічних установок, працюючих в космосі. – К.: Євроіндекс, 2000. – 144 с.

Надійшла 16.03.2010