

УДК 621.38

А.С. Рогозін

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ОБЛАДНАННЯ СПОЖИВАЧІВ ВІД ПЕРЕНАПРУГ

У статті розглядаються шляхи підвищення захищеності обладнання найбільш відповідальних споживачів електричної енергії. Обґрунтовано спосіб підвищення захищеності обладнання від імпульсних перенапруг за рахунок використання запропонованих нових схемних рішень.

захист, імпульсні перенапруги, сапресори, схемні рішення

Вступ

Постановка проблеми. Причиною пошкодження обладнання споживачів у 80...90% випадків є імпульсні перенапруги в мережі. Високовольтні стрибки напруги поширене явище в мережах електроенергетичної системи та інформаційних лініях різного призначення.

Імпульсні перенапруги виникають внаслідок природних явищ (удар блискавки), технічних несправностей промислового обладнання, перехідних процесів, що мають місце при комутації потужного навантаження, яке має індуктивний або ємнісний характер.

У зв'язку з тенденцією збільшення обсягів ви-

користання високотехнологічного обладнання, яке має підвищену чутливість до імпульсних перенапруг, питання щодо підвищення захищеності цього обладнання набувають особливої гостроти.

Розробка пристроїв захисту від перенапруги є важливою проблемою не тільки для нашої країни. У країнах Європи існують досить жорсткі норми зі швидкодії різних видів захисту від перенапруги. Так, із січня 1996 року Європейським комітетом із стандартизації (CENELEC) запроваджені стандарти, які забороняють продаж деяких видів апаратури на ринку ЄС без вбудованих захисних елементів, що підкреслює актуальність розробки нових та вдосконалення існуючих технічних рішень щодо захисту обладнання від імпульсів високої напруги.

Аналіз літератури. Проблеми захисту обладнання споживачів від різного роду перенапруг присвячено достатньо багато публікацій.

В [1, 2] розглянуті основні принципи та підходи до побудови такого захисту. У [3] наведені результати досліджень фізичних принципів виникнення та впливу імпульсних перенапруг на обладнання споживачів. У [4] наведено аналіз сучасної елементної бази призначеної для здійснення захисту від перенапруг.

Метою статті є обґрунтування можливості підвищення захищеності обладнання від перенапруг за рахунок використання нових схемних рішень.

Основна частина

Практично всі споживачі електричної енергії в тій чи іншій мірі вимагають вживання спеціальних заходів захисту для обмеження до безпечної величини будь-яких перенапруг, що виникають у колі живлення. Окрім здатності розсіяти потужність імпульсу напруги, одним з важливих параметрів захисного обладнання є час його спрацювання, від якого залежить ефективність системи захисту. Електромеханічні захисні пристрої через свою низьку швидкодію для захисту від імпульсних завад мало ефективні – час спрацювання захисних автоматів, як правило, становить не менше 10 мс, а для потужних комутуючих пристроїв складає 0,1 – 0,2 с. Низька швидкодія таких пристроїв обумовлена, перш за все, наявністю механічних частин, що рухаються, та їх обмеженими міцнісними характеристиками.

Принцип роботи всіх пристроїв швидкодіючого захисту полягає в створенні короткозамкненого кола, через яке здійснюється проходження імпульсу перенапруги та розсіяння енергії, яку несе хвиля перенапруги (рис. 1), на захисному елементі підключеному паралельно відповідному колу, що захищається.

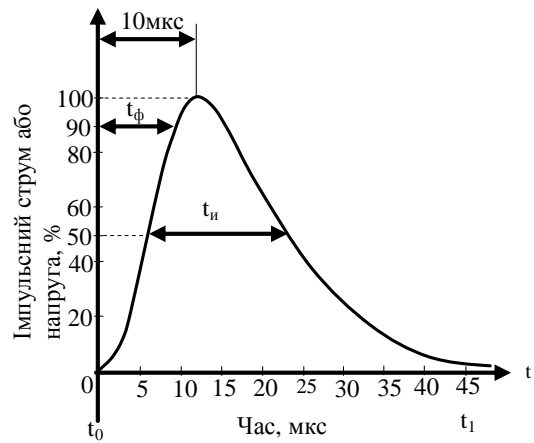


Рис. 1. Вид стандартної форми імпульсу, для відношення тривалості фронту до його ширини на рівні 0,5 ($t_{\phi}/t_{11}=8/20$ мкс)

Як захисні елементи використовуються газові розрядники, варистори, сапресори, різноманітні комбінації активних та реактивних елементів. Кожний з перелічених елементів має свої переваги та недоліки стосовно захисту обладнання споживачів від перенапруги, що обумовлює використання для якісного захисту обладнання декілька різних захисних елементів. Також слід зазначити, що чутливе до перенапруг обладнання вже має елементи захисту від коливальних напруг, але, як правило, можливості таких вузлів з розсіювання енергії завади обмежені. У ряді випадків недостатня захищеність обладнання може бути обумовлена використанням застарілої елементної бази. Цей факт обумовлює доцільність використання багатоступінчатого зовнішнього захисту. У цілій низці обладнання, з метою зниження його вартості, вузли швидкодіючого захисту, як правило, не встановлюються, а захист забезпечується за рахунок застосування однокаскадних LC або RC-фільтрів, які спроможні лише зменшити амплітуду імпульсу перенапруги. Зрозуміло, що забезпечення надійної роботи складного обладнання без використання додаткового захисту неможливе. Надійний захист обладнання споживачів можливо отримати шляхом використання трикаскадних схем захисту (рис. 2).

Трикаскадний захист використовують у тих випадках, коли ймовірно пряме попадання розряду блискавки в повітряну лінію електропередачі. При цьому в найгіршому випадку з ладу може вийти тільки блок захисту, а обладнання залишиться неушкодженим. Для зменшення часу формування електричного розряду в розрядниках пропонується встановлювати послідовно колу, що захищається, індуктивні елементи, що сприятиме збільшенню швидкості наростання напруги.

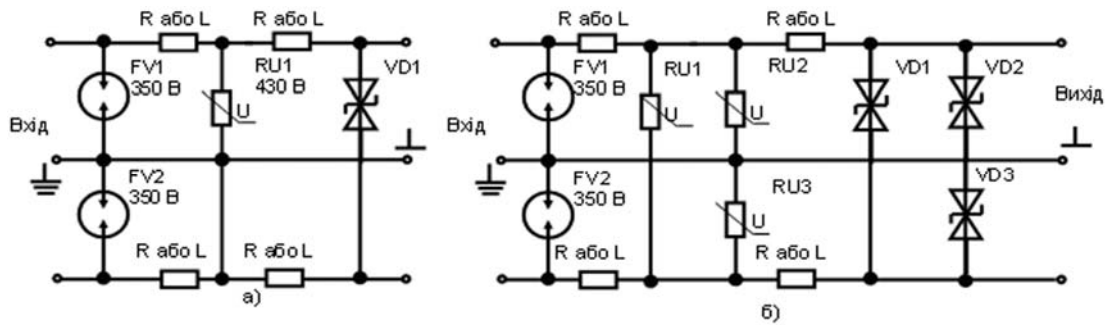


Рис. 2. Трикаскадна схема захисту від перенапруги мережі

Для відносно потужних споживачів у деяких випадках доцільно використовувати інші технічні рішення, оскільки існуючі схеми захисту не здатні забезпечити належний рівень захисту. Це обумовлено тим, що характеристики елементної бази у випадку потужної хвилі перенапруги не дозволяють вчасно відвести потужність імпульсу. Схема для підвищення захисту від перенапруги для таких випадків показана на рис. 3. Відмінною особливістю цієї схеми захисту є застосування керованих індуктивностей L1.1, L2.1, L1.2, L2.2, які входять до блоків захисту K1 та K2. Застосування керованих індуктивностей дозволяє, по-перше, збільшити темп наростання напруги на розряднику, що прискорює формування пробою розрядного проміжку, та, по-друге, використовувати енергію хвилі напруги для збільшення електрорушійної сили самоіндукції керованих індуктивностей.

Керованість індуктивностей досягається за рахунок розміщення на магнітопроводі дроселя додаткових обмоток L1.2, L2.2, які підключаються через сапресори VD1, VD2.

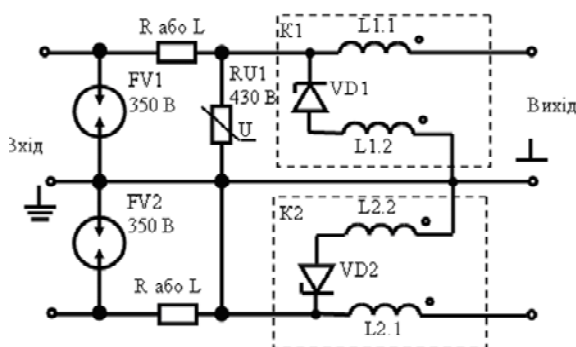


Рис. 3. Трьохкаскадна схема захисту потужного обладнання

При виникненні імпульсу перенапруги збільшення струму через індуктивності L1.1 або L2.1 призводить до збільшення магнітного потоку в магнітному осереді, що у свою чергу збільшує електрорушійну силу, разом з тим при спрацюванні сапресорів струм протікає через додаткові обмотки L1.2, L2.2 та створює магнітний потік, що направлений сумісно з потоком, який створений L1.1 або L2.1. У результаті цього електрорушійна сила збільшується, та більша частина енергії хвилі

перенапруги розсіюється через розрядник та варистори. Зменшення часу наростання струму досягається збільшенням кількості додаткових обмоток, підключених паралельно, та зменшенням їх індуктивності. При побудові захисту необхідно також вибирати магнітопроводи з відповідними частотними характеристиками. Для того щоб не було погіршення техніко-економічних характеристик при здійсненні захисту обладнання змінного струму, послідовно з додатковими обмотками слід вмикати загороджуючий фільтр, налаштований на першу гармоніку живлячої напруги. Такий підхід може бути використаний і для побудови захисту від перенапруги для споживачів постійного струму. На рис. 4 представлена еквівалентна схема заміщення пристрою захисту, який розглядається.

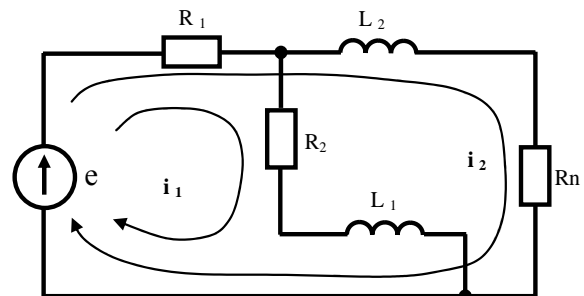


Рис. 4. Еквівалентна схема заміщення пристрою захисту

Система рівнянь, що описують перехідний процес, для схеми, яка розглядається має такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} i_1 R_1 + i_2 R_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt} &= e \\ i_1 R_1 + i_2 R_1 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} + i_2 R_n &= e \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Розв'язання системи рівнянь (1) для струму i_2 для випадку, коли стум i_1 дорівнює нулю, має такий вигляд:

$$i_2 = \frac{R_2 E}{r_n (R_2)} - \frac{1}{4a_9} \left((a_{10} + a_1 R_2)(a_{11} + \frac{(a_2 + \sqrt{a_1})t}{2(M^2 + L_2 L_1)}) + \sqrt{a_1} R_n i_2(0) \right) e^{2(M^2 + L_2 L_1)t} + ((a_1 R_2 -$$

$$-a_{10})(a_{11} - \sqrt{a_1} R_n i_2(0)) e^{\frac{(a_2 - \sqrt{a_1})t}{2(M^2 + L_2 L_1)}}$$

де

$$a_1 = (L_1(R_n + R_1) + L_2(R_1 + R_2))^2 + 4M^2(-R_2(R_1 + R_n) - R_n R_1);$$

$$a_2 = L_1((R_1 + R_n) + L_2(R_1 + R_2));$$

$$a_3 = M(R_2 + R_n) + L_2(R_1 + 2R_2) + L_1 R_1;$$

$$a_4 = R_2 R_n(1 + R_2 R_n^{-1} + R_1 R_2^{-1});$$

$$a_5 = 2i_2(0)(L_1 + L_2);$$

$$a_6 = 2E(M + 2L_2 - i_2(0)a_3 E^{-1});$$

$$a_7 = 2E(L_1 + L_2 - i_2(0)a_3 E^{-1});$$

$$a_8 = 2i_2(0)(L_2 + M);$$

$$a_9 = a_1 a_4 (a_3 - a_2);$$

$$a_{10} = \sqrt{a_1}((2M + 2L_2)R_2^2 + (2a_2 - a_3)R_1 + (a_2 - 2a_3)R_2 + (2L_2 + 2L_1)R_1 R_2);$$

$$i_1 = R_n(a_6 - 4EL_2 + i_2(0)(2a_3 + a_2)) + R_1 R_2(-2i_2(0)M + a_8 + a_5) + R_2^2 a_8 + a_4 i_2(0)M - 0,5a_4 a_8 + R_1 a_7 - 2i_2(0)a_2 + R_2 a_6 + R_1^2 a_5;$$

$i_2(0)$ - струм до виникнення перенапруги.

На рис. 5 представлені графічні залежності струмів i_2 та i_1 від часу.

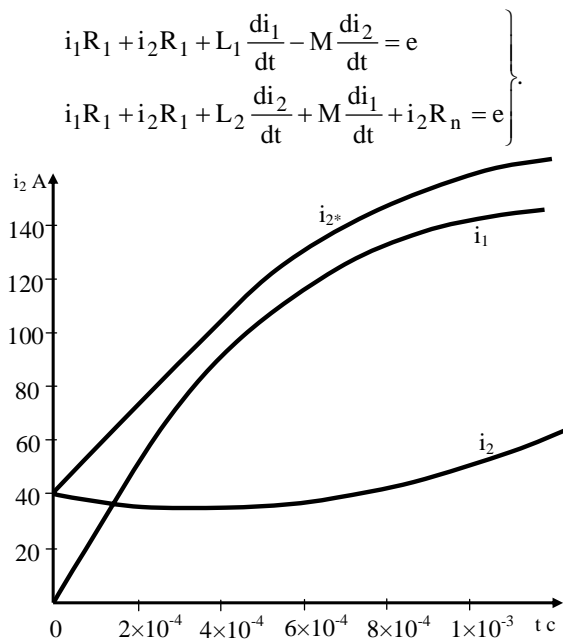


Рис. 5. Залежності зміни струмів основної та додаткової обмоток під час виникнення перенапруги

На рис. 5 прийняті такі позначення:

i_1 – струм додаткової обмотки, обумовлений виникненням перенапруги;

i_2, i_2^* – струм основної обмотки під час виникнення перенапруги, при наявності магнітного зв'язку з додатковою обмоткою та при відсутності додаткової обмотки відповідно.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що в початковій стадії перехідного процесу відбувається зниження величини струму i_2 , обумовлене магнітним зв'язком індуктивностей L_1 та L_2 . Тим самим обмежується струм через навантаження та створюються умови для проходження імпульсу перенапруги через більш потужні захисні елементи варистори та газові розрядники. Подальші дослідження стосовно підвищення захисту споживачів від перенапруги слід направити на аналіз впливу на рівень захисту обладнання характеру навантаження, відносного часу виникнення та форми імпульсу перенапруги.

Висновки

Використання керованих індуктивностей дозволяє суттєво обмежити струм навантаження на початку перехідного процесу, обумовленого виникненням імпульсу перенапруги.

Наведені розрахункові співвідношення дозволяють вибрати необхідні характеристики елементів захисту для випадку активного навантаження.

Список літератури

1. Машкиллейсон Л.Е. Переходные процессы и перенапряжения в электрических цепях. – М.: Физматгиз, 1938. – 288 с.
2. Цапенко Е.Ф. Перенапряжение в системах электроснабжения. – М.: Высшая школа, 1992. – 120 с.
3. Сиротинский Л.И. Перенапряжения и защита от перенапряжений в электрических установках. – М.: АН СССР, 1937. – 516 с.
4. Рейхердт А.А., Лавров Ю.А., Кадомская К.П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них. – Новосибирск.: НГТУ, 2006. – 368 с

Надійшла до редколегії 11.09.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.