

ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕДВКЛЮЧЕНИХ АКТИВНИХ ОПОРІВ ДЛЯ ПОДАВЛЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕНАПРУГ У НЕСИНУСОЇДАЛЬНИХ РЕЖИМАХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Тугай Ю. І.¹, Кучанський В. В.¹, Мельничук В. А.²

¹Інститут електродинаміки НАН України (м. Київ),

²ДВНЗ "Київський енергетичний коледж"

Резонансні перенапруги можуть спричинити пошкодження електричного силового обладнання. Поява такого роду перенапруг зумовлена властивостями мережі і може бути усунена шляхом зміни співвідношення між параметрами мережі та її режимом. В статті розглянуто один із заходів придушення резонансних перенапруг, що виникають при включенні ліній на ненавантажений автотрансформатор. Визначено діапазон величин активних опорів які є ефективними для демпфування електромагнітних перехідних процесів при комутаціях ліній даного класу.

Постановка проблеми. В загальному випадку несинусоїдність напруги та струмів спричиняє старіння ізоляції електричних машин, трансформаторів та кабелів, як правило, через нагрів. Також в ізоляції виникають та протікання іонізаційні процеси, що зумовлюють її старіння при високих частотах електричного поля. Для електричних машин, трансформаторів та кабелів найбільш суттєвим є теплове старіння ізоляції. Вплив полів вищих гармонік на іонізаційні процеси в ізоляції лише посилює старіння внаслідок того, що форми кривих напруги та струму суттєво спотворюються при збудженні автотрансформатора (АТ). Таким чином перенапруги, що виникають через насичення магнітного шунта автотрансформатора мають подвійну дію на ізоляцію обладнання. З одного боку, - через підвищення напруги, з іншого, - через дію несинусоїдальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У даній роботі розглядається випадок виникнення перенапруг на другій гармоніці ліній електропередач надвисокої напруги 750 кВ (ЛЕП НВН), який викликаний включенням малонавантаженого автотрансформатора. У [1,2] причини появи перенапруг розглянуто або коротко і плутано, або приведені інженерні методи розрахунку областей самозбудження ультрагармонік парної кратності, з яких незрозуміла фізика виникнення перенапруг на другій гармоніці. У літературі взагалі не наочно описаний механізм і фізична природа явища перенапруг на другій гармоніці, тому що відсутня інформація про повний розвиток процесу від початку і до кінця, а джерелом другої гармоніки вважають або постійну складову поточкозчеплення автотрансформатора або безперервну зміну параметрів шунта намагнічення АТ.

Мета статті. Дослідження умов протікання короткотривалих електромагнітних перехідних процесів в лініях електропередачі надвисокої напруги та пошук засобів по запобіганню можливого виникненню аварійних режимів внаслідок виникнення резонансних перенапруг у несинусоїдальних режимах.

Основні матеріали дослідження. В сучасних магістральних електричних мережах використовуються перш за все структурні заходи зниження та придушення резонансних перенапруг (РП), які пов'язані зі

зміною робочої схеми та переходу від аномального режиму до нормального. Але при необхідності можуть бути використані спеціальні пристрої або налаштування за критерієм зменшення РП пристроїв, які були встановлені з іншою метою.

Внаслідок того, що резонанс відбувається у лінійному колі з нелінійним збудженням, яким є магнітний шунт АТ, підвищення напруги може виникнути неочікувано і у великому ступені залежить від початкових умов. На рис. 1 зображена однолінійна схема контуру з трьома групами шунтувальних реакторів (ШР), оскільки, РП на другій гармоніці виникають при довжинах ЛЕП НВН від 350 км до 600 км [3]. Це відповідає застосуванню трьох груп стандартних ШР для компенсації зарядної потужності лінії. До складу цих кіл входять такі ж елементи, що й наведені на рис. 1. При несинусоїдальному режимі розглядається триприменова схема підключення ШР, на відміну від чотириприменової при режимові одно фазного автоматичного повторного включення (ОАПВ) [4,6,8],

Резонансний контур, що утворюється при підключенні фази лінії НВН на ненавантажений АТ, наведений на (рис. 1). На ньому прийняті наступні позначення елементів заступної схеми:

L_C – еквівалентна індуктивність електроенергетичної системи;

L_L – індуктивність повітряної лінії;

L_P – індуктивність ШР;

C_3 – ємність фази ПЛ відносно землі;

C_M – ємність між фазами ПЛ;

ω – кутова швидкість.

На відміну від спричинених джерелом несиметрії РП [4,6-8], що вимагають для запобігання підключення паралельних гілок до коливального контуру, в даному випадку необхідне підключення послідовних елементів. Елементом, що може бути підключений в схему послідовно та вплинути на РП шляхом не розлагодження контуру, а демпфування коливань, є активний опір.

Виробники елегазових вимикачів опціонально передбачають монтаж передквлюченого резистора в вимикач за бажанням замовника. Для обґрунтування

додаткових витрат на модернізований вимикач та вибору значення опору резистора необхідним є виконання попереднього аналізу ефективності застосування даного заходу запобігання РП.

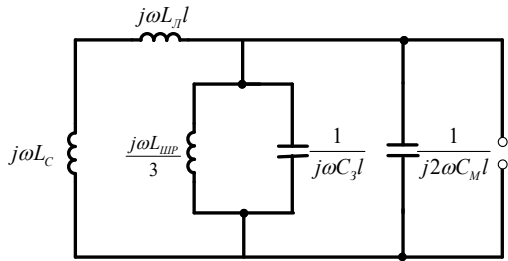


Рисунок 1 – Резонансний контур для другої гармоніки

Як показав практичний досвід, для запобігання виникнення гармонічних перенапруг можуть застосуватись активні опори, що вмикаються перед вмиканням вимикача та мають значення 100–200 Ом. Для ЛЕП НВН, в яких значення струму можуть досягати порядку 1000 А, втрати активної потужності в опорах на час вмикання кінця ПЛ на ненавантажений АТ досягають істотних значень, що забезпечує демпфування коливань.

Принцип дії передвключеного опору до вимикача зображено на рис. 2. Резистори, які застосовуються для зниження комутаційних перенапруг входять до складу так званих передвключених резисторів. Опір таких резисторів становить від десятків Ом до декількох тисяч Ом. Величини опорів, що знижують перенапруги входять до цього діапазону.

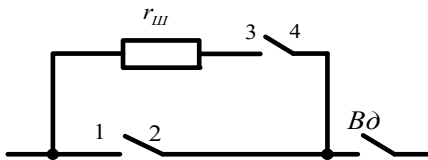


Рисунок 2 – Принцип дії передвключеного резистора

На рис. 2 наведено: 1, 2 – головні контакти; 3, 4 – допоміжні контакти, що комутують шунтувальний резистор.

Головні контакти 1, 2 (рис. 2) за наявності віддільника (Вд) або відповідних допоміжних контактів можуть після їх розмикання замикатися пружинами. У всіх схемах головні контакти відключаються раніше допоміжних або Вд, а включаються пізніше (якщо, звичайно, контакти 1 і 2 залишалися роз'єднаними).

Розмикання допоміжних контактів, що розривають ланцюг шунтувального резистора, має відбуватися з запізненням по відношенню до головних контактів 1, 2 на час, який більше максимальної тривалості горіння дуги на цих контактах. Час проходження струму через шунтувальний резистор з урахуванням часу гасіння дуги на допоміжних контактах в більшості вимикачів становить 0,03–0,08 с.

Згідно з дослідженнями [5] його величина повинна бути близька хвильовому опору лінії, тобто становить близько 300–400 Ом, а по нашим результатам величина такого опору менше в два рази.

Вимикач з передвключеним активним опором може застосовуватись для гасіння великих кратностей перенапруг на другій гармоніці. Як показали дослідження, перенапруги на другій гармоніці можуть існувати тривалий час, тому вирішальним фактором при визначенні енергії розсіювання являється час існування аномального режиму з ненавантаженим АТ.

На рис. 3 наведені результати розрахунків необхідної від резистора здатності розсіювати енергію при включенні на час, який достатній для гасіння другої гармонійної складової. Якщо вимикач має кілька послідовних розривів, кожен з яких оснащений резистором, то вимогам (рис. 3) має відповідати сумарний опір всіх резисторів.

Як видно з результатів на рис. 4 максимальні значення перенапруг досягаються при певних значеннях опорів, які мало залежать від параметрів та характеристики лінії.

Таким чином, знизити значення перенапруг можливо в діапазоні зміни опорів від 200 до 250 Ом.

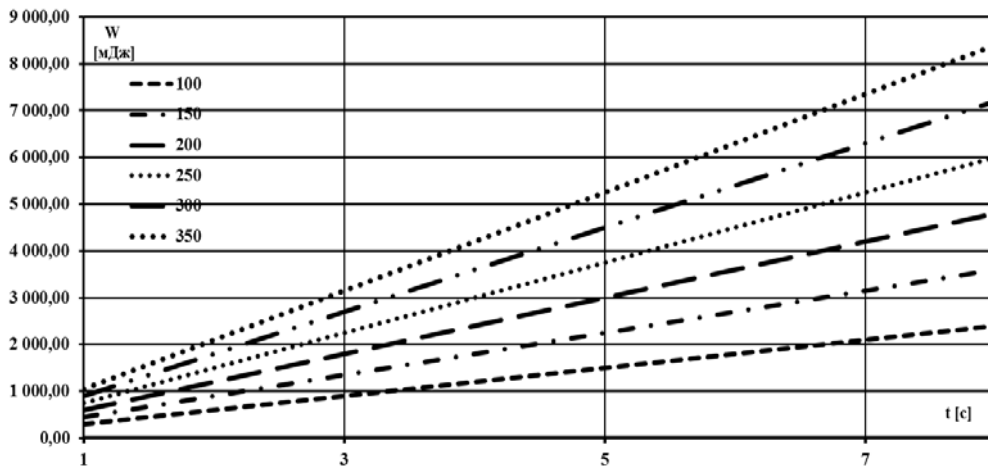


Рисунок 3 – Залежність енергії розсіювання від часу вмикання передвключеного резистора

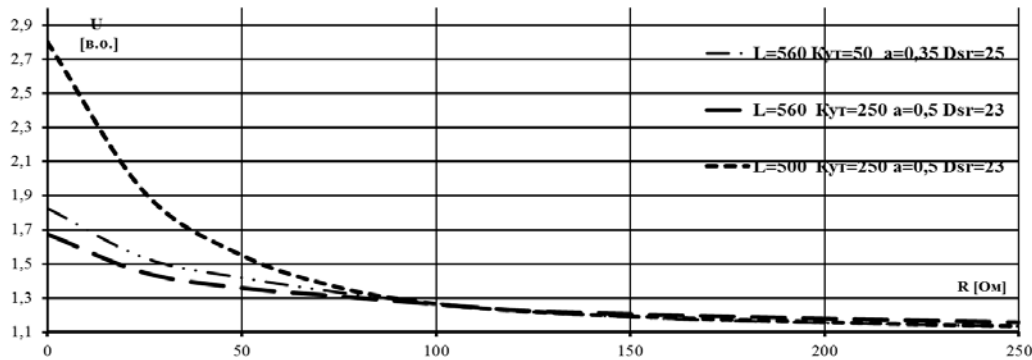


Рисунок 4 – Вплив передвключеного резистора на перенапруги

Висновки. Резонансні перенапруги є небажаним явищем, яке може виникнути при включенні ненавантаженого АТ. Використання передвключеного резистора в вимикачі є ефективним заходом для запобігання РП. В той же час використання передвключеного резистора не спричиняє негативних наслідків на режим роботи магістральних електричних мереж.

Список використаних джерел

1. Sadeghkhan I. New approach to harmonic overvoltages reduction during transformer energization via controlled switching / I. Sadeghkhan, A. Ketabi, R. Feuillet // Proceedings of in Proc. 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, Curitiba, Brazil, 2009. – P. 1589–1595.
2. Zgainski F. Validation of power plant transformers re-energization schemes in case of black-out by comparison between studies and field tests measurements / F. Zgainski, B. Caillault, V. Renouard // Proceedings of International Conference on power systems Transients. – 2007, October. – P. 11–23.
3. Kuchansky V. The application of controlled switching device for prevention resonance overvoltages in nonsinusoidal modes / V. Kuchansky // IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). – 2017, April – P. 394–399.
4. Kuchansky V. The prevention measure of resonance overvoltages in open-phase mode in extra high voltage transmission lines / V. Kuchansky // Zbirnyk "Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrainy". – №47 – P. 23-28.
5. Heiermeier H. Power testing of preinsertion resistors: limitations and solution / H. Heiermeier, R. B. Balam // IEEE Transactions on Power Delivery (Volume: 32, Issue: 4, Aug. 2017). – P. 1688 – 1695.
6. Y. Tugay. The resonance overvoltages in EHV network. Proceedings of IEEE Sponsored Conference EPQU'09 – International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, Poland, Lodz, September 15-17, 2009. – pp. 14–18.
7. Тугай Ю. І. Перехідні процеси в розподільчих пристроях електростанцій з елегазовими вимикачами / Ю. І. Тугай В. А. Мельничук // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2014. – №39. – С. 5-8.
8. Тугай Ю. І. Моделювання впливу коронного розряду на перенапруги в несиметричних режимах

ліній електропередачі надвисокої напруги / Ю. І. Тугай, Ю. Г. Лиховид // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2016. – Вип. 45. – С. 16-20.

Аннотация

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДВКЛЮЧЕНИХ АКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПРЕДАЧ

Тугай Ю. И., Кучанский В. В., Мельничук В. А.

Резонансные перенапряжения могут привести к повреждению электрического силового оборудования. Появление перенапряжений обусловлено свойствами сети и может быть устранено путем изменения соотношения между параметрами сети и ее режимом. В статье рассмотрено мероприятие подавления резонансных перенапряжений, возникающих при включении линий на ненагруженный автотрансформатор. Определен диапазон величин активных сопротивлений, которые эффективны для демпфирования электромагнитных переходных процессов при коммутации линий данного класса.

Abstract

APPLICATION OF PRE-INSERTION ACTIVE RESISTANCE FOR SUPPRESSION RESONANCE OVERVOLTAGES IN NONSINUSOIDAL MODES OF LINES

Yu. Tugay, V. Kuchansky, V. Melnychuk

Resonant overvoltages can damage electrical power equipment. The emergence of overvoltage is due to network properties and can be eliminated by changing the relationship between network parameters and its mode. In the article the measure of suppression resonance surges, which arise at the lines connection on an unloaded autotransformer is considered. The range of active resistance values which are effective for damping electromagnetic transients during the commutation of the lines of this class is determined.