

В.Г. Кузнецов, Ю.І. Тугай, В.В. Кучанський, Ю.Г. Лиховид, В.А. Мельничук

## РЕЗОНАНСНІ ПЕРЕНАПРУГИ У НЕСИНУСОЇДНОМУ РЕЖИМІ МАГІСТРАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

*Резонансні перенапруги в магістральних електричних мережах виникають внаслідок випадкового збігу параметрів схеми та режиму і можуть існувати порівняно тривалий час. Тому традиційні засоби для обмеження короткочасних комутаційних перенапруг в даному випадку не є ефективними. Метою статті є дослідження перенапруг, що виникають у магістральних електричних мережах на вищих гармонійних складових. Для цього використовувалися імітаційне та математичне моделювання в середовищі MATLAB&Simulink. Показано, що несинусоїдальні спотворення виникають при ввімкненні лінії електропередачі на невантаженому автотрансформаторі. Визначені частоти, при яких виникають перенапруги на вищих гармонійних складових. Запропоновано використання пристрою керованої комутації для запобігання перенапругам даного класу і розроблена модель для визначення відповідних налаштувань. Бібл. 10, рис. 4.*

*Ключові слова:* магістральна електрична мережа, лінія електропередачі надвисокої напруги, резонансні перенапруги, несинусоїдний режим, керовані комутації.

*Резонансные перенапряжения в магистральных электрических сетях возникают вследствие случайного совпадения параметров схемы и режима и могут существовать сравнительно длительное время. Поэтому традиционные средства для их ограничения в данном случае неэффективны. Целью статьи является исследование перенапряжений, возникающих в магистральных электрических сетях на высших гармониках. Для этого было использовано имитационное и математическое моделирование в среде MATLAB&Simulink. Показано, что несинусоидальные искажения возникают при включении линии электропередачи на автотрансформатор в режиме холостого хода. Определены соответствующие частоты. Предложено использование устройства управляемой коммутации для предотвращения перенапряжения данного класса и разработана модель для определения соответствующих настроек. Библ. 10, рис. 4.*

*Ключевые слова:* магистральная электрическая сеть, линия электропередачи сверхвысокого напряжения, резонансные перенапряжения, несинусоидальный режим, управляемые коммутации.

**Вступ.** Тенденції розвитку сучасних магістральних електричних мереж вказують на зростання ролі ліній електропередачі надвисокої напруги (ЛЕП НВН) як системоутворюючих та міжсистемних. Слід відзначити, що саме дослідження перенапруг даного класу ліній повинні виконуватись особливо ретельно, зокрема, з врахуванням впливу можливих джерел спотворень. Це пояснюється практичною відсутністю експлуатаційного запасу ізоляції, розрахованого на екстремальні значення параметрів, оскільки такий запас для надвисоких напруг має високу вартість [1-4]. Досвід експлуатації електричних мереж змінного струму вказує на те, що за певних умов в них виникають сталі коливання струмів і напруг з частотами, відмінними від нормальної робочої частоти. Як наслідок, аналіз можливості виникнення перенапруг в ЛЕП НВН повинен виконуватись не лише для нормальних, але й для аномальних (несиметричних та несинусоїдних) режимів.

Також слід відзначити, що в магістральних електричних мережах України номінальною напругою 750 кВ відбулась заміна повітряних вимикачів на елегазові (SF<sub>6</sub>). В порівнянні з повітряними вимикачами елегазові мають певні переваги, основними з яких є швидкодія та висока здатність до гасіння дуги, а також можливість керування процесом комутації. Об'єктивною причиною такої модернізації також є те, що електротехнічна промисловість України не виготовляє повітряні вимикачі, і в разі їх пошкодження відповідний ремонт та поновлення електропостачання стає складною задачею.

Взагалі момент комутації повітряного вимикача є випадковою величиною через низьку швидкодію, в

результаті чого виконати розмикання чи замикання в обраний конкретний момент є нереальною задачею. Така невизначеність початкових умов робить перехідний процес після комутації непрогнозованим, а появу внутрішніх перенапруг неочікуваною. Під час експлуатації можливий розвиток аварійних ситуацій, в тому числі і поява перенапруг у несинусоїдних режимах [2, 5, 6]. Елегазовий вимикач дозволяє виконувати комутації в довільний момент зміни синусоїдальної напруги, який пристрій керування обирає за критерієм зменшення негативних наслідків перехідних процесів.

**Метою даної роботи** є встановлення умов появи та розвитку внутрішніх перенапруг, що виникають у магістральних електричних мережах на вищих гармонійних складових, а також вибір заходів для їх попередження. Одним з таких заходів є виконання керованої комутації за обраними критеріями, що дозволяє знизити величини перенапруг до рівня ефективної роботи традиційних захисних пристроїв, наприклад, нелінійних обмежувачів перенапруг. Для цього були визначені інтервали кутів комутації вимикача, при яких допускається виконання операції без небезпечного перевищення рівнів напруг.

**Дослідження резонансних перенапруг в ЛЕП НВН.** Головний напрямком попередніх досліджень перенапруг [2-9] з використанням математичного моделювання був сконцентрований на розробці та застосуванні математичних моделей для отримання кількісних результатів з метою обмеження перенапруг на основній частоті. В них не розглядалися фізичні процеси розвитку резонансних перенапруг на парних гармонійних складових, хоча випадки виникнення дано-

го виду перенапруг відомі вже порівняно тривалий час. Тому з отриманих результатів залишалося незрозумілим, які самі режими чи комутації приводять до резонансних перенапруг на вищих гармонічних і такі дослідження не можна вважати за вичерпні.

**Дослідження резонансних перенапруг в несинусоїдних режимах ЛЕП НВН.** Необхідною умовою виникнення резонансних перенапруг на вищих гармонічних частотах є розвиток аномального несинусоїдного режиму ЛЕП НВН [2-7]. Зазвичай джерелами спотворення форми кривої напруги і струмів в електропередачі НВН є феромагнітні шунти намагнічування трансформаторів. Слід відзначити, що коливні процеси в колах зі сталлю вимагають особливої уваги при дослідженні режимів магістральних електричних мереж, оскільки можливі як лінійні резонанси на вищих гармонічних складових, джерелом яких є нелінійна індуктивність, так і нелінійні резонанси, при яких ця індуктивність є частиною резонансного кола [2, 5, 6].

Характерним несинусоїдним режимом електропередачі НВН є підключення ненавантаженого силового автотрансформатора (АТ) до ЛЕП. Фізика процесу виникнення парних гармонічних складових в ЛЕП НВН з присьданим ненавантаженим АТ пояснюється періодичною зміною індуктивності магнітного шунта при протіканні через нього змінного струму. Ця індуктивність змінюється з подвійною частотою по відношенню до прикладеної напруги. Але слід зазначити, що хоча в теорії процес виникнення перенапруг на парних гармонічних складових загалом відомий, проте виявлення факторів та чинників аномального режиму, які впливають на кратність та тривалість перенапруг даного типу на практиці вимагає додаткових досліджень. Необхідно під час проектування та експлуатації магістральних електромереж мати засоби для перевірки можливості появи не тільки необхідних, але й достатніх умов появи аномальних перенапруг та їх можливої кратності.

Достатньою умовою виникнення перенапруг на парних гармонічних складових є збіг параметрів елементів заступного контуру ЛЕП НВН, при якому частота власних коливань буде наближена до 100 Гц. Для цього необхідно, щоб вхідний опір лінії мав ємнісний характер і був приблизно рівний середньому значенню індуктивного опору магнітного шунта автотрансформатора на цій частоті. Умова буде виконуватися тільки при певних довжинах ЛЕП НВН, які можна назвати резонансними.

Магістральні мережі працюють з заземленою нейтраллю, тому при спрощеному аналізі резонансних властивостей електропередачі в симетричному несинусоїдному режимі можна використати однолінійну заступну схему еквівалентного двополюсника. Для пошуку критичних резонансних значень довжин ліній електропередачі вираз в знаменнику вхідного опору еквівалентного двополюсника ЛЕП, до якої підключається ненавантажений АТ, екстраполюємо поліномом третього ступеня і прирівнюємо нулю:

$$a_1 l - a_2 l^2 - a_3 l^3 - n = 0, \quad (1)$$

де  $a_1, a_2, a_3$  – коефіцієнти полінома;  $l$  – довжина лінії;  $n$  – кількість груп шунтувальних реакторів (ШР) для компенсації зарядної потужності ЛЕП НВН.

Для визначення діапазонів резонансної довжини лінії будемо варіювати параметри елементів її заступної схеми в межах, що зустрічаються в діючих магістральних електричних мережах. Відповідно отримаємо діапазони зміни значень коефіцієнтів заступного полінома:

$$a_1 = 0,084 \div 0,27; \quad (2)$$

$$a_2 = 1,996 \cdot 10^{-4} \div 3,1 \cdot 10^{-4}; \quad (3)$$

$$a_3 = 2,055 \cdot 10^{-7} \div 1,55 \cdot 10^{-6}. \quad (4)$$

Після визначення діапазонів зміни значень коефіцієнтів полінома (1) можемо знайти резонансну довжину лінії. Порівняння результатів, отриманих за виразом (1) та шляхом математичного моделювання, вказує на те, що екстраполяція призводить до похибки 3,3 %, що є цілком прийнятним для виконання попереднього експрес-аналізу можливості появи перенапруг на вищих гармонічних складових для ЛЕП НВН даної довжини.

Дослідимо, на якій саме частоті і при яких довжинах можна очікувати вищих гармонічних перенапруг при підключенні ненавантаженого АТ. Підставимо граничні значення можливих параметрів з виразів (2-4) та отримаємо граничні графіки залежності частоти від довжини лінії (рис. 1) для відповідних параметрів.

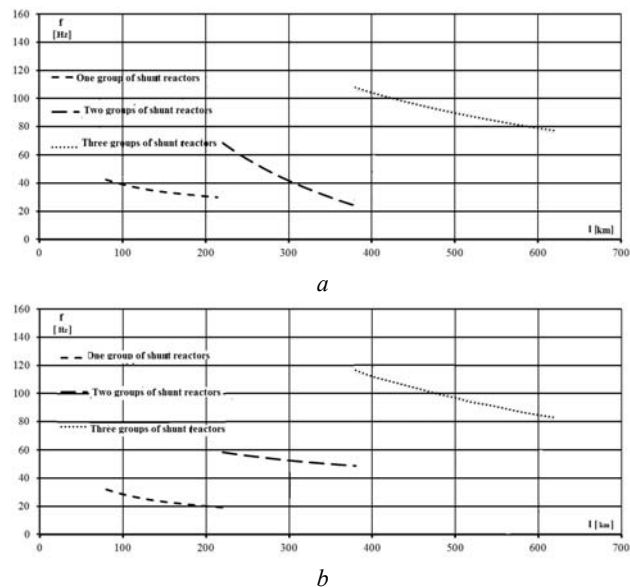


Рис. 1. Резонансна довжина ЛЕП НВН:

$a$  – графіки для нижніх значень виразів (2-4);

$b$  – графіки для верхніх значень виразів (2-4)

Реальні графіки залежності довжини лінії і частоти для відповідної кількості ШР будуть знаходитися між граничними (рис. 1,  $a$  та рис. 1,  $b$ ). Можна зробити висновок, що гармонічні перенапруги парної кратності можуть виникнути в ЛЕП НВН при встановленні на них трьох груп ШР.

**Імітаційне моделювання несинусоїдних аномальних режимів ЛЕП НВН.** При дослідженні гармонічних перенапруг кожен окремо взятий чинник не

може вважатись незалежним. Зміна одного параметра може призвести до зміни іншого, інакше кажучи, у даному випадку існує кореляція як між параметрами режиму конкретної мережі, так і параметрами її устаткування [5]. Наявність цієї взаємозалежності не дозволяє отримати чіткі залежності, які могли б бути використані для цілком коректного аналізу перенапруг на другій гармоніці в магістральній електричній мережі і вибору заходів по їх попередженню, і в цьому випадку, як показує досвід досліджень [3], ефективним засобом для моделювання таких невизначених систем є імітаційне моделювання [5].

В роботі була розроблена імітаційна модель електропередачі НВН для реалізації в середовищі MATLAB/Simulink [10] (рис. 2). Особливість її полягає в наявності моделей трьох груп ШР, оскільки вище було показано, що перенапруги на парних гармоніках виникають при довжинах ліній, які потребують для компенсації своєї зарядної потужності саме таку кількість груп ШР [4-6].

Полюси вимикачів в моделі розглядаються окремо для кожної з фаз: кожний полюс моделюється ідеальним вимикачем. Це дає можливість незалежно змінювати моменти замикання кожного з полюсів під час моделювання. Повітряна лінія моделюється еквівалентною заступною схемою з параметрами, що відповідають довжині ЛЕП НВН. Електроенергетична система задається трифазним джерелом напруги та еквівалентним реактивним опором.

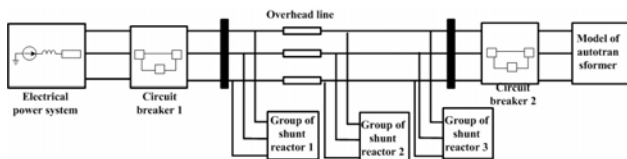


Рис. 2. Імітаційна модель ЛЕП НВН

За допомогою моделі (рис. 2), зокрема, були досліджені діапазони кутів комутації при яких виникають небезпечні перенапруги. Дослідження виконувались при варіації довжини лінії від 415 до 525 км. Момент комутації лінії на невантажений АТ змінювався протягом повного періоду синусоїди  $\delta \in [0; 360]$  з метою виявлення критичних значень для появи резонансних перенапруг. Показано, що необхідна умова виникнення перенапруг – це збіг двох факторів: довжини ЛЕП НВН і кута замикання полюсів вимикача. Слід відзначити, що довжина ЛЕП НВН є одним з визначальних факторів для перенапруг не тільки в несинусоїдальних, але також і в несиметричних режимах [6-9], хоча і джерело спотворень режиму, і поява відповідних резонансних контурів в цих випадках різні. Але довжина лінії визначається при проектуванні траси лінії, і фактор можливості появи перенапруг при цьому не враховують. Таким чином, для кожного виду перенапруг заходи щодо їх попередження на даній ЛЕП НВН доводиться розробляти та реалізувати окремо. Захід, який буде ефективним для перенапруг в несинусоїдальному режимі, буде неефективним в несиметричному режимі і навпаки [6-8]. В сучасних магістральних електричних мережах в першу чергу повинні використовуватись структурні заходи,

які пов'язані зі зміною робочої схеми та попередження появи аномального режиму. Також при необхідності можуть бути використані спеціальні налаштування за критерієм зменшення резонансних перенапруг пристроїв, які були встановлені з іншою метою.

Як показали дослідження, перенапруги при комутації невантаженого АТ суттєво залежать від моменту його включення. Таким чином, резонансні перенапруги можуть бути обмежені при використанні блоку керованої комутації, налаштованого на замикання контактів поблизу від нульового значення струму холостого ходу АТ, що попереджує появу гармонійних складових. В загальному випадку керована комутація являє собою засіб попередження небезпечних перехідних процесів за допомогою виконання операцій включення та/або відключення в заздалегідь визначений момент часу.

Розглянемо вибір критеріїв управління комутацією на прикладі розповсюджених в магістральних мережах об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України елегазових вимикачів на номінальну напругу 750 кВ – LTB 800E4 компанії ABB (Asea Brown Boveri Ltd.). Компанія комплектує вимикачі свого виробництва пристроями керованої комутації SwitchSync F236. Вони призначені для видачі команд на замикання і/або розмикання полюсів вимикача в точці синусоїди струму або напруги, яка визначається за умовами усунення небажаного розвитку перехідних процесів при планових комутаціях джерел реактивної енергії, шунтувальних реакторів, автотрансформаторів та ін. Слід зауважити, що рекомендації по вибору моменту комутації за критерієм запобігання перенапругам на вищих гармонійних складових до цього часу були відсутні.

Для дослідження впливу кутів комутації на розвиток перехідних процесів була розроблена відповідна імітаційна модель (рис. 3), яка, на відміну від розробленої в [6], дозволяє досліджувати комутації як у нормальному, так і в аномальному режимах.

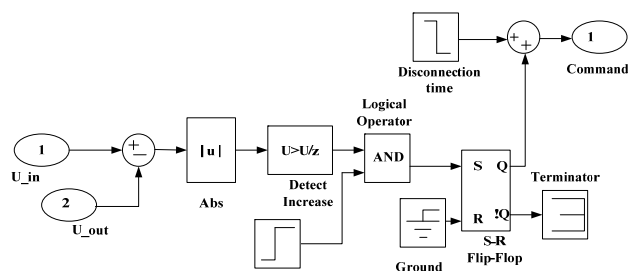


Рис. 3. Імітаційна модель пристрою керованої комутації Switchsync F236

Блок здійснює постійний контроль над модулем струму холостого ходу АТ. Як тільки крива струму холостого ходу досягає нульового значення (в блоці наявні модулі, де визначається тенденція зміни значення струму), підтверджується зовнішня команда та подається вихідний сигнал на вимикач, який, в свою чергу, миттєво замикає свої контакти. В самому блоці керованого вимикача можна задати момент замикання його полюсів, зазвичай замикання контактів відбувається, як тільки різниця між напругою джерела та на-

пругою на кінці лінії досягне мінімального значення, після часу замикання, яке визначене в самому блоці.

З метою оцінки ефективності заходу застосування керованої комутації для попередження перенапруг на гармонійних складових парної кратності розглянемо дві ЛЕП НВН з однаковими параметрами та характеристиками. Кожна з цих двох ліній комутується своїм вимикачем. Перша лінія комутується вимикачем з заводським налаштуванням, а друга - вимикачем з вибраним за критерієм мінімізації гармонічних перенапруг парної кратності. Момент комутації першої лінії потрапляє в інтервали кутів [0; 140] та [200; 240], а другої – в інтервали кутів [140; 215] та [275; 355]. На рис. 4 наведені графіки напруг в першій та другій ЛЕП НВН після підключення ненавантаженого АТ (амплітудне значення для номінальної робочої фазної напруги ЛЕП 750 кВ складає 612 кВ).

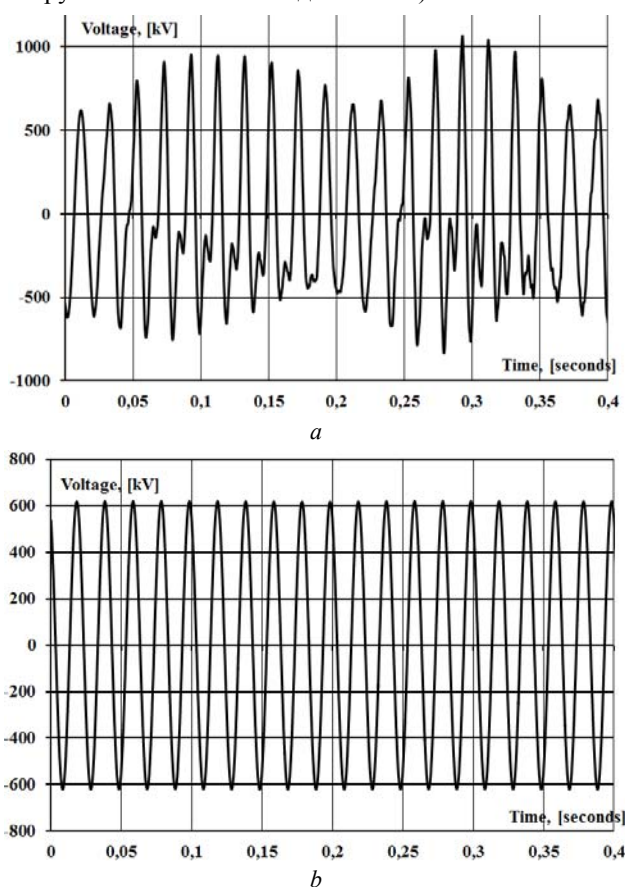


Рис. 4. Напруги ЛЕП НВН при налаштуваннях пристрою Switchsync F236:

*a* – стандартне налаштування;  
*b* – налаштування на нерезонансні кути комутації

Команди включення або відключення, що подаються на вимикач, виконуються таким чином, щоб замикання контактів відбувалося в відповідний момент часу по відношенню до фазового кута. В даний час точність керованої комутації складає  $\pm 2$  мс, що не можна вважати цілком достатнім для забезпечення мінімізації струмів при вимиканні короткого замикання, але для попередження появи гармонійних складових в струмі ненавантаженого АТ такий розкид не є критичним. Як можна бачити, керована за критерієм зниження гармонічних перенапруг комутація

(рис. 4,*b*) суттєво обмежує їх кратність в порівнянні зі стандартним налаштуванням, коли момент замикання може потрапити в діапазон появи парних гармонійних складових в струмі АТ.

#### Висновки.

1. Необхідною умовою розвитку перенапруг в не-синусоїдних режимах магістральних електричних мереж є поява автопараметричного джерела нелінійних спотворень при включенні ненавантаженого автотрансформатора на лінію електропередачі надвисокої напруги, причому характерною є генерація вищих гармонійних складових парної кратності.

2. Резонансне налаштування електричного контуру заступної схеми лінії електропередачі є достатньою умовою появи перенапруг на відповідній гармонійній складовій. Визначальною характеристикою цієї умови є довжина лінії електропередачі.

3. За типовими значеннями параметрів елементів електропередачі номінальною напругою 750 кВ було отримано вираз для експрес-аналізу наявності достатніх умов появи резонансних перенапруг. Показано, що перенапруги на гармонічних складових парної кратності можна очікувати, якщо на кінцевих підстанціях ЛЕП НВН сумарно встановлено три групи шунтувальних реакторів.

4. Для попередження резонансних перенапруг або зниження їх до безпечного рівня доцільно використовувати пристрій керованої комутації елегазовим вимикачем. Інтервали безпечних кутів включення можуть бути визначені за допомогою розроблених імітаційних моделей ЛЕП НВН та пристрою керування вимикачем.

5. Якщо кут вмикання вимикача потрапляє в визначені інтервали, то навіть при налаштуванні його за іншим критерієм (наприклад, за величиною аперіодичної складової в струмі) вдається або повністю запобігти появі перенапруг, або знизити їх кратність до рівнів ефективної роботи традиційних захисних заходів.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І., Шполянський О.Г. Використання керованої комутації для підвищення надійності роботи ЛЕП НВН // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2012. – №32. – С. 123-128.
2. Naumkin I., Balabin M., Lavrushenko N., Naumkin R. Simulation of the 500 kV SF6 circuit breaker cutoff process during the unsuccessful three-phase autoreclosing // Proceedings of International Conference on Power Systems Transients. – Kyoto, Japan. – 2011. – pp. 5-11.
3. Наумкин И.Е. Аварийные отказы элегазовых выключателей при коммутации компенсированных ВЛ 500-1150 кВ // Электричество. – 2012. – № 10. – С. 22-32.
4. de Mattos L.M.N., Mendes A.M.P., Tavares M.C., de Lima Filho J.F. Enhanced analysis of oscillatory undamped overvoltages in transformer energization // Electric Power Systems Research. – 2016. – vol.138. – pp. 72-77. doi: 10.1016/j.epsr.2016.03.034.
5. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І., Кучанський В.В. Дослідження впливу транспозиції лінії електропередачі надвисокої напруги на аномальні перенапруги // Технічна електродинаміка. – 2013. – №6. – С. 51-56.
6. De A., Debnath D., Chakrabarti A. A study on the impact of low-amplitude oscillatory switching transients on grid connected EHV transformer windings in a longitudinal power supply sys-

- tem // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2009. – vol.24. – no.2. – pp. 679-686. doi: 10.1109/tpwr.2008.2008417.
7. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.І., Кучанський В.В. Перенапруги при неповнофазному режимі // Технічна електродинаміка. – 2012. – №2. – С. 40-41.
8. Esmeraldo P.C.V., Amon F J., Carvalho F.M.S., Carvalho A.C.C., Morais S.A. Circuit-breaker requirements for alternative configurations of a 500 kV transmission system // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1999. – vol.14. – no.1. – pp. 169-175. doi: 10.1109/61.736710.
9. Morched A., Gustavsen B., Tartibi M. A universal model for accurate calculation of electromagnetic transients on overhead lines and underground cables // IEEE Transactions on Power Delivery. – 1999. – vol.14. – no.3. – pp. 1032-1038. doi: 10.1109/61.772350.
10. Ketabi A., Feuillet R. New approach to harmonic overvoltages reduction during transformer energization via controlled switching // 2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems. – Curitiba, Brazil. – 2009. – pp. 1589-1595. doi: 10.1109/isap.2009.5352837.

#### REFERENCES

1. Kuznetsov V.G., Tugay Yu.I., Shpolyansky O.G. The using of controlled switching to improve the reliability of the EHV transmission lines. *Works of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2012, no.32, pp. 123-128. (Ukr).
2. Naumkin I., Balabin M., Lavrushenko N., Naumkin R. Simulation of the 500 kV SF6 circuit breaker cutoff process during the unsuccessful three-phase autoreclosing. *Proceedings of International Conference on Power Systems Transients*, Kyoto, Japan, 2011, pp. 5-11.
3. Naumkin I.E. Emergency failures of gas-insulated circuit breakers for switching compensated lines 500-1150 kV. *Electricity*, 2012, no.10, pp. 22-32. (Rus).
4. de Mattos L.M.N., Mendes A.M.P., Tavares M.C., de Lima Filho J.F. Enhanced analysis of oscillatory undamped overvoltages in transformer energization. *Electric Power Systems Research*, 2016, vol.138, pp. 72-77. doi: 10.1016/j.epsr.2016.03.034.
5. Kuznetsov V.G., Tugay Yu.I., Kuchansky V.V. Investigation of the effect of transposition of the extra high voltage transmission line on abnormal overvoltage. *Technical electro-dynamics*, 2013, no.6, pp. 51-56. (Ukr).
6. De A., Debnath D., Chakrabarti A. A study on the impact of low-amplitude oscillatory switching transients on grid connected EHV transformer windings in a longitudinal power supply system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2009, vol.24, no.2, pp. 679-686. doi: 10.1109/tpwr.2008.2008417.
7. Kuznetsov V.G., Tugay Yu.I., Kuchansky V.V. Overvoltages in single-phase mode. *Technical electro-dynamics*, 2012, no.2, pp. 40-41. (Ukr).
8. Esmeraldo P.C.V., Amon F J., Carvalho F.M.S., Carvalho A.C.C., Morais S.A. Circuit-breaker requirements for alternative configurations of a 500 kV transmission system. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1999, vol.14, no.1, pp. 169-175. doi: 10.1109/61.736710.
9. Morched A., Gustavsen B., Tartibi M. A universal model for accurate calculation of electromagnetic transients on overhead lines and underground cables. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1999, vol.14, no.3, pp. 1032-1038. doi: 10.1109/61.772350.

10. Ketabi A., Feuillet R. New approach to harmonic overvoltages reduction during transformer energization via controlled switching. *2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems*, Curitiba, Brazil, 2009, pp. 1589-1595. doi: 10.1109/isap.2009.5352837.

Надійшла (received) 14.02.2018

Кузнецов Володимир Григорович<sup>1</sup>, д.т.н., чл.-кор. НАН України,  
Тугай Юрій Іванович<sup>1</sup>, д.т.н., с.н.с.,  
Кучанський Владислав Володимирович<sup>1</sup>, к.т.н.,  
Лиховід Юрій Григорович<sup>2</sup>,  
Мельничук Валентина Анатоліївна<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup> Інститут електродинаміки НАН України,  
03680, Київ, пр. Перемоги, 56,  
тел/phone +380 44 2230450,  
e-mail: kuznetsov@ied.org.ua; tugay@ukr.net;  
skilldur@ukr.net; yit@ua.fm  
<sup>2</sup> ДП «НЕК «Укренерго»,  
01032, Київ, вул. С. Петлюри, 25,  
тел/phone +380 44 3662538,  
e-mail: re\_nim\_tor@ukr.net

V.G. Kuznetsov<sup>1</sup>, Yu.I. Tugay<sup>1</sup>, V.V. Kuchanskiy<sup>1</sup>,  
Yu.G. Lyhovyd<sup>2</sup>, V.A. Melnichuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> The Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine,  
56, prospect Peremogy, Kiev-57, 03680, Ukraine.

<sup>2</sup> UKRENERGO NPC SE,  
25, Symona Petliury Str, Kyiv, 01032, Ukraine.

#### The resonant overvoltage in non-sinusoidal mode of main electric network.

**Purpose.** The resonant overvoltage arises in main electrical networks as a result of random coincidence of some parameters of circuit and its mode and it may exist for a relatively long time. Therefore, the traditional means of limitation of short duration commutation surges are not effective in this case. The study determines conditions of appearance and development of non-sinusoidal mode after switching idle autotransformer to the overhead line of extra high voltage. The purpose of the paper is to choose measures for prevention overvoltage, too. **Methodology.** The study has used the result of extra high voltage line testing, the methods of electric circuit theory and the simulation in the MATLAB & Simulink package. **Results.** The simulation model of the extra high voltage transmission line for the study of resonant non-sinusoidal overvoltage is developed. The conditions for the appearance of resonant circuits in the real power line are found and harmonic frequency in which overvoltage arises are obtained. The study proposes using the controlled switching device as a measure to prevent resonance surges and determines the appropriate settings. **Originality.** The expression for calculation of resonant length of extra high voltage line was derived. The special investigation of processes in the resonant circuit of the extra high voltage transmission line for higher harmonic components of voltage is carried out. The program of switching for control apparatus that prevents non-sinusoidal overvoltage has been developed at the first time. **Practical value.** The using of the proposed settings of controlled switchgear will prevent the occurrence of hazardous resonant surge on higher harmonic components of voltage. References 10, figures 4.

**Key words:** main electric network, extra high voltage transmission line, resonant overvoltage, nonsinusoidal mode, controlled switching.