РОЗРОБКА ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗОНАНСНИХ ПЕРЕНАПРУГ

Владислав Володимирович Кучанський

Старший науковий співробітник канд. техн. наук Відділу оптимізації систем електропостачання

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ ІМ. Г.Є. ПУХОВА НАН УКРАЇНИ 15 травня 2020 р. м. Київ, Україна

Інститут електродинаміки Національної академії наук України

ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ національної академії наук україни

Київ, 15 травня 2020 р.

Класифікація анормальних перенапруг

Анормальні перенапруги виникають в несинусоїдальних та несиметричних режимах МЕМ



Анормальні перенапруги в несинусоїдному режимі електропередачі надвисокої напруги



Поява перенапруг на вищих гармонічних складових



Резонансний контур для другої гармоніки

$$X_{BX} = \frac{L_{P}\omega^{2}(L_{S} + L_{\Pi}l)}{2C_{M}\omega^{2}l[3(L_{S} + L_{\Pi}l) + L_{P}(1 - C_{3}\omega^{2}l(L_{\Pi}l - L_{S}\omega^{2}))] - 3} = \frac{P(\omega)}{Q(\omega)}$$

Необхідними умовами резонансних коливань на вищих гармонійних складових є:

- власна частота лінійної частини кола повинна бути близькою до частоти гармоніки, а її опір повинен носити ємнісний характер;
- амплітуда виникаючої гармоніки повинна бути достатньо великою;
- втрати активної потужності в колі на частоті гармоніки повинні бути малими.

Структурна імітаційна модель довгої лінії для моделювання гармонійних перенапруг



Структурна імітаційна модель довгої лінії для моделювання перенапруг на другій гармоніці.



Результати моделювання перенапруг на другій гармоніці

Підготовка функціонування штучної нейронної мережі

Важливу роль при моделюванні процесів з використанням ШНМ відіграє попередня підготовка моделі, яка полягає у використанні програмного інструментарію для вибору, навчання, тестування і використання ШНМ. Зокрема, для вирішення поставленої в роботі задачі вхідними даними є: значення напруги джерела живлення

$$Inp = (\Phi_0, L_{sat}, C_{\phi}, \delta, U_{\mathcal{A}\mathcal{K}})$$

*U*_{ДЖ} значення напруги джерела живлення

- , час замикання полюсів вимикача
- C_{ϕ} , ємність фази ЛЕП НВН
- L_{sat}, нахил кривої намагнічення трансформатора
- Ф₀ і залишковий магнітний потік

В четвертому блоці за результатами моделювання визначається масив кривої напруги: $Curve^{A,B,C} = (Curve^{A}, Curve^{B}, Curve^{C})$

де $Curve^{A}$, $Curve^{B}$, $Curve^{C}$ — масив значень напруги фаз A,B, та C відповідно.

Завдяки «Нейрохар» сформований масив вихідних бажаних значень ШНМ

$$Tar = (U_A^{M \not \square J}, U_B^{M \not \square J}, U_C^{M \not \square J}, Dur_A^{M \not \square J}, Dur_B^{M \not \square J}, Dur_C^{M \not \square J})$$

U^{A,B,C} максимальні значення напруги *Dur^{A,B,C}* тривалість дії напруги на ізоляцію устаткування

Отримані в результаті роботи «Нейрохар» бажані вихідні сигнали та вхідні сигнали, що згенеровані за допомогою «Нейроген», записуються в базу даних (БД) блоку 7.

Структурна схема підготовки функціонування ШНМ



Функціонування штучної нейронної мережі



навчання.

6

Результати моделювання анормальних перенапруг на штучній нейронній мережі

Результати для десяти наборів вхідних даних представлені в таблиці:

N₂	Uдж.	С _{Ф,} 10 ⁻⁸ ,	δ	Lsat	Φ ₀ .	U _{мдл}	U	E _U	Dur _{MДЛ}	Dur _{ШHM}	E _{Dur}
	B.O.	Φ	град	B.0	B.O.	В.О.	в.о.	%	с	с	%
1	0,95	1,245	279	0,2	0,4	1,083	1,043	3,954	0,232	0,215	2,978
2	0,975	1,284	105	0,3	0,5	1,406	1,374	2,290	0,167	0,170	1,859
3	1.025	1,271	77	0,3	0,3	1,404	1,386	0,510	0,391	0,394	0,844
4	0.975	1,235	108	0,3	0,7	1,417	1,411	0,397	0,351	0,347	1,254
5	1	1,266	74	0,4	0,6	1,129	1,108	1,859	0,402	0,388	3,487
6	1,075	1,247	81	0,3	0,5	1,506	1,485	1,387	0,102	0,103	1,276
7	1,1	1,242	282	0,3	0,8	1,642	1,628	0,897	0,158	0,159	0,696
8	0.95	1,267	118	0,3	0,6	1,515	1,476	2,676	0,176	0,166	5,899
9	1.05	1,271	303	0,3	0,3	1,452	1,509	3,816	0,197	0,189	3,919
10	1.025	1,261	68	0,3	0,4	1,181	1,157	2,092	0,226	0,216	4,421



Порівняння ефективності штучної нейронної мережі та цифрової моделі лінії :
а) перевірка ефективності визначення величини перенапруг на ШНМ
б) перевірка ефективності визначення тривалості величини напруги на ШНМ

Зони існування анормальних перенапруг в несинусоїдному режимі



Діапазони кутів, при яких досягаються значення перенапруг: максимальні $\delta \in [0;140] \cup [200;240]$ електричних градусів; мінімальні $\delta \in [140;215] \cup [275;355]$ електричних градусів. Як видно з графіку, перенапруги досягають максимальних значень в зонах екстремумів синусоїди напруги (0;140) та (200;240).

Ввімкнення передвключеного активного опору в силовий вимикач

 L_{PI}

Схема заміщення резонансного кола з шунтувальним резистором силового вимикача



шунтувального резистора

 L_{P3}

Керована комутація вимикача, як захід зниження перенапруг



Графіки залежностей перенапруг від кута вмикання вимикача



Блок контролю керованої комутації силового вимикача



Напруги при вимикачах різного виконання

Висновки

1.В результаті проведеного критичного аналізу літературних джерел та за результатами експериментальних розрахунків на основі існуючих методів, сформульовано вимоги щодо удосконалення методів, імітаційних і математичних моделей дослідження перенапруг анормальних режимів з урахуванням джерел вищих гармонічних складових та несиметрії ЛЕП. На відміну від існуючих, запропоновані в роботі моделі є трифазними з нелінійними елементами, оскільки передбачають існування неповнофазних несинусоїдних режимів в ЛЕП НВН.

2.На основі досліджень за допомогою запропонованої в роботі удосконаленої нелінійної моделі електропередачі НВН визначено, що для анормальних несинусоїдних режимів ЛЕП НВН характерними є перенапруги на парних гармонічних складових, джерелом яких є автотрансформатор. Встановлено, що для нелінійного резонансного процесу характерною рисою є велика тривалість перехідного процесу (до п'яти секунд). Ця особливість зумовила вибір методів моделювання.

3.За допомогою досліджень на спеціально розробленій ШНМ підготовлені рекомендації для виконання процедури керованої комутації, що відрізняється від стандартної, оскільки має на меті запобігти перенапругам не тільки на основній частоті, а і на частотах парних гармонічних складових.

4.Розроблені моделі та методи були використані для підготовки і впровадження в експлуатацію рекомендацій по запобіганню анормальним режимам в електропередачах 750 кВ магістральної електричної мережі НЕК "Укренерго", зокрема: порядок підключення ненавантаженого АТ на Рівненській АЕС; заходи для створення неповнореакторного режиму на лінії підстанція Київська-750 – Хмельницька АЕС. Також подані висновки аналізу перенапруг на парних гармоніках в електропередачі Хмельницька АЕС – Жешув (Польща), яку планується ввести в експлуатацію в процесі інтеграції ОЕС України в енергосистеми UCTE.

