УДК 620.4

А.П. Свірідов, доц., канд. техн. наук, Т.В. Величко, асист.
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження післяаварійних режимів зв'язаного варіанту компенсуючої лінії електропередачі 750 кВ Донбас-Західна Україна

В статті проведений аналіз післяаварійних режимів лінії 750 кВ, протяжністю 1100 км з різними схемами компенсації. Пропускна здатність електропередачі в нормальному режимі з компенсуючими пристроями на лінії складає (0,72÷1,35) Рнат, а при розміщенні компенсуючи пристроїв на шинах підстанції – (0,6÷0,843) Рнат.

режим, компенсуючи пристрої, натуральна потужність, хвильовий опір, еквівалентні характеистики

Безперервне зростання концентрації виробництва електричної енергії, різке збільшення частки атомних електростанцій у структурі генеруючих потужностей, злиття окремих енергосистем в найбільші національні енергетичні об'єднання, необхідність передачі величезних обсягів потужності та енергії з окремих районів з потужними енергоресурсами в промислово розвинені райони з високою концентрацією населення - всі ці фактори визначають необхідність спорудження дальніх електропередач високих і надвисоких номінальних напруг.

Основу магістральної мережі об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України складають лінії напругою 750 кВ. Станом на початок 2006 року лінії електропередачі даного класу номінального напруги утворили дві одноланцюгові петлі в західному та східному регіонах України, пов'язаних між собою лінією електропередачі того ж класу напруги. Загальна протяжність повітряних ліній напругою 750 кВ перевищує 4 тис. км. У найближчій перспективі до 2030 року передбачається інтенсивний розвиток системоутворюючої мережі напругою 750 кВ з метою забезпечення високої пропускної здатності в перетині Захід-Схід за рахунок будівництва та введення в експлуатацію Північного і Південного поясів ліній електропередач 750 кВ.

Необхідно мати на увазі можливість експорту електроенергії з Росії. Досить перспективна передача порівняно дешевої електроенергії в ЕЕС України від теплових електростанцій, які можуть бути споруджені в Тюменському регіоні з орієнтацією на використання низьконапірного газу, що залишається в видобутих родовищах.

На сучасному рівні розвитку техніки передачі електроенергії проблема наддалекого транспорту може бути вирішена за допомогою ЕП надвисокої напруги (НВН) як постійного, так і змінного струму. Потреба в вирішенні схемно-режимних характеристик й техніко-економічних параметрів для нових типів і схем електропередачі, оцінка їх системної ефективності є досить актуальною.

Метою даної роботи є дослідження післяаварійних режимів лінії електропередачі Донбас–Західна Україна 750 кВ, протяжністю 1100 км, яка виконана за зв'язаною схемою. Фаза лінії приймалася розщепленою на чотири проводи: 4хАСО-600/72. Розміщення проводів у фазі у вершинах квадрату, крок розчеплення а=60 см, відстань між фазами складає 17,5 м [4].

При аналізі режимів лінія електропередачі моделюються каскадною схемою

© А.П. Свірідов, Т.В. Величко, 2011

чотириполюсників, що заміщують собою ділянки однорідної лінії електропередачі і компенсуючих пристроїв на лінії. Розрахунок режимів виконаний у відносних одиницях, за базисні величини прийняті хвильовий опір Z_c і натуральна потужність однорідної лінії Рнат. Напруга та струм на початку кожної ділянки визначається по слідуючому виразу:

$$\begin{vmatrix} U_{s+1} \\ I_{s+1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} ch\gamma_0 l & Z_c sh\gamma_0 l \\ \frac{1}{Z_c} sh\gamma_0 l & ch\gamma_0 l \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} U_s \\ I_s \end{vmatrix},$$

де $\dot{U}_s$ і $\dot{I}_s$ - напруга і струм в кінці ділянки лінії, яка розглядалась;

γ_0 - коефіцієнт розповсюдження хвилі;

Z_c - хвильовий опір.

Компенсуючі пристрої розміщені на лінії представляються чотириполюсником з постійними A, B, C, D (рис.1).

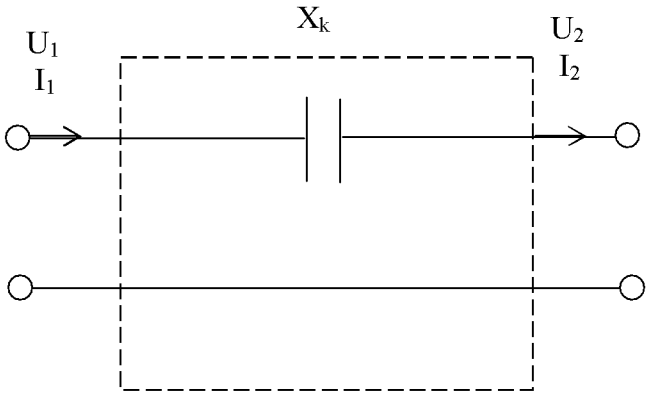


Рисунок 1 – Схема компенсуючого пристрою

Рівняння для чотириполюсника мають вигляд:

$$U_1 = AU_2 + BI_2;$$

$$I_1 = CU_2 + DI_2,$$

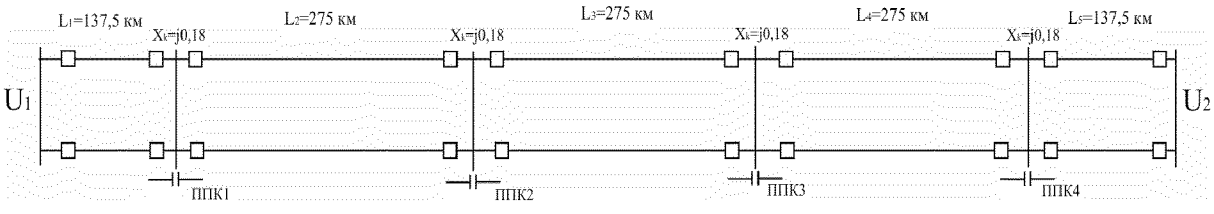
де *A, B, C, D*– постійні чотириполюсника.

Хвильова довжина лінії 1100 км складає 66,328°. Однорідна лінія такої протяжності природно непрацездатна по умовам збереження стійкості і значного підвищення напруги по кінцям лінії в режимі холостого ходу. Так розрахунки показали, що при передачі по лінії натуральної потужності перепад напруги в лінії складає 3,8%, кут зсуву між напругою U_1 і U_2 в даному режимі складає 65,4°. Отже, необхідно шляхом зміни природних параметрів лінії забезпечити їй працездатність. Із всіх можливих схем компенсації розглядаються слідуючи:

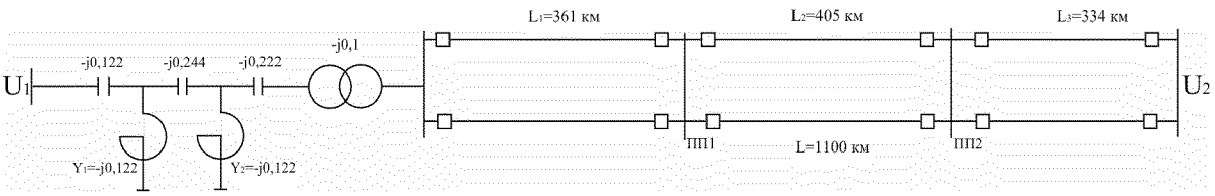
а) схеми з повздовжньою ємнісною компенсацією, Nкп=4;

б) схеми з повздовжніми ємностями та поперечними реакторами на шинах низької напруги передаючої підстанції. [4]

На рисунку 2 приведена схема лінії, що досліджується.



а) - схема з повздовжньою компенсацією, Nкп=4



б) - схеми з КП на шинах низької напруги

Рисунок 2 – Схеми електропередачі 750 кВ

Для зв'язаного типу електропередачі, що має відомі переваги і недоліки, доцільність здійснення якого залежить від багатьох факторів технічного і економічного порядку, доводитися рахуватися з тим, що в післяаварійному режимі в результаті відключення ланцюга однієї з ділянок істотно змінюються еквівалентні характеристики лінії. Ця зміна носить несприятливий характер за низкою обставин, в тому числі, за умовами електромагнітної і електромеханічної стійкості і режиму напруги.

Для однорідної лінії, розбитою на n однакових ділянок, коефіцієнти чотириполюсника дволанцюгових ділянок дорівнюють:

$$A = D = \cos\alpha/n; \quad B = j\,1/2\sin\alpha/n; \quad C = j2\sin\alpha/n.$$

При відключенні одного ланцюга $к$-ї ділянки, якщо звіт вести від початку лінії, коефіцієнти заміщення чотириполюсника мають вигляд:

$$A_K = D_K = \cos\alpha/n; \quad B_K = j\sin\alpha/n; \quad C_K = j\sin\alpha/n.$$

Отже, еквівалентна матриця коефіцієнтів запишеться наступним чином:

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 \cdot \mathbf{A}_2 \ldots . \mathbf{A}_\mathbf{K} \ldots . \mathbf{A}_{n-1} \cdot \mathbf{A}_n .$$

Вхідний опір з боку затисків генератора, що визначає параметричну нестійкість останнього, знаходиться:

$$X_{вх} = B/D .$$

У випадку ємнісного характеру $X_{вх}$ можлива небезпека самозбудження генератора.

Ще одним несприятливим наслідком зміни характеристик електропередачі, внаслідок відключення ланцюга однієї з ділянок, є небезпека виходу за межі зони стійкості роботи. Коефіцієнт запасу статичної стійкості в післяаварійному режимі $Ку$ залежить від місця відключення ділянки і числа ділянок. Розрахунки показали, що найбільш важким випадком виявляється відключення крайніх ділянок, особливо це помітно при невеликій кількості ділянок (рис.2.б).

Найбільш несприятливим фактором, що впливає на пропускну здатність електропередачі в післяаварійному режимі, є режим напруги. Відключення одної з ділянок лінії веде до підвищення еквівалентного хвильового опору і, отже, до зниження гранично допустимої потужності. Поява несиметрії схеми при відключенні крайніх ділянок пов'язано зі значними потоками реактивної потужності, необхідними для підтримки перепаду напруги в допустимих межах, що також відбивається на режимі напруги лінії. Для підтримання режиму напруги в межах допустимого необхідно знижувати потужність, яка передається.

Є інший шлях збереження гранично допустимої потужності - це додаткова компенсація параметрів лінії після відключення ділянки таким чином, щоб довести характеристики електропередачі до нормального або близького до нього рівня. Тут

можна говорити про компенсацію кінцевими пристроями параметрів лінії в цілому або окремих її ділянок. Разом з тим компенсація параметрів окремої ділянки пов'язана з необхідністю мати установки реактивної потужності на кожному з них, що, очевидно, знизить ефективність такого способу. Взагалі, застосування допоміжної компенсації в післяаварійному режимі навряд чи може розглядатися з практичної точки зору, оскільки це дорогий спосіб збереження пропускної здатності, який помітно знижує економічну доцільність пов'язаного варіанту.

В таблиці 1 наведені результати дослідження післяаварійних режимів зв'язаного варіанту лінії електропередачі з чотирма пристроями поздовжньої компенсації. Схема має чотири перемикальних пункти (рис.2.а). Залежно від місця розташування відключаємої ділянки пропускна здатність коливається в широких межах від0,72Рнат до 1,35Рнат. Напруга на лінії не перевищує допустиму 1,05Uном. Значне зниження пропускної здатності має місце при відключенні III і IV ділянок лінії.

При дослідженні післяаварійних режимів лінії з КП на низькій стороні передавальної підстанції (рис.2.б) приймалося, що на лінії споруджено два перемикальних пункти, отже, всього три ділянки різної довжини. Пропускна здатність у післяаварійних режимах коливається від 0,6Рнат до 0,843Рнат (таблиця 2).

Таблиця 1 – Результати розрахунків післяаварійних режимів лінії з повздовжньою ємнісною компенсацією

Номер відключення і потужність, що передається	Напруги на лінії U_{i*}, в.о									
	Ділянка V		Ділянка IV		Ділянка III		Ділянка II		Ділянка I	
	U_2	$U_н$	$U_к$	$U_н$	$U_к$	$U_н$	$U_к$	$U_н$	$U_к$	U_1
Відключення ділянки I, P_2=1,35	1	1,017	1,025	1,017	1,042	1,008	1,042	1,008	1,048	1,022
Відключення ділянки II, P_2=1,212	1	1,013	1,024	1,003	1,038	0,982	1,037	1,05	1,009	1,036
Відключення ділянки III, P_2=0,72 Q_2=0,184	1	0,974	1,027	0,921	1,012	0,807	0,855	0,953	1,014	1,05
Відключення ділянки IV, P_2=0,875	1	1,003	1,022	1,033	1,022	1,021	1,048	0,987	1,05	0,993
Відключення ділянки IV, P_2=1,115 Q_2=0,2	1	0,982	1,03	1,02	0,996	1,028	1,031	1,021	1,05	1,02
Відключення ділянки V, P_2=0,876	1	1,003	1,019	1,022	1,046	0,988	1,05	0,936	1,031	0,948
Відключення ділянки V, P_2=1,23… Q_2=0,18	1	1,019	1,009	1,024	1,036	1,015	1,049	0,996	1,049	1

Таблиця 2 – Результати розрахунків післяаварійних режимів

Номер відключення ділянки і потужність, що передається	Напруги на лінії					
	Ділянка III		Ділянка II		Ділянка I	
	U_{2*}	$U_{н*}$	$U_{к*}$	$U_{н*}$	$U_{к*}$	U_{1*}
Відключення ділянки I, P_{2*}=0,843	1	0,996	0,996	0,954	0,954	1,05

Відключення ділянки II, P_{2*}=0,756 Q_{2*}=0,1	1	0,954	0,954	0,983	0,983	1,05
Відключення ділянки III, P_{2*}=0,6	1	1,044	1,044	1,019	1,019	0,901
Відключення ділянки III, P_{2*}=0,757 Q_{2*}=0,12	1	1,026	1,026	1,046	1,046	0,992

Видача в лінію незначної реактивної потужності в її кінці Q_{2*} дозволяє дещо збільшити пропускну здатність з 0,6Рнат до 0,757Рнат при відключенні III ділянки.

З проведених досліджень післяаварійних режимів лінії 750 кВ протяжністю 1100 км можна зробити наступні висновки:

- пропускна здатність лінії в післяаврійному режимі вище, ніж у напів блочного варіанту виконання лінії та складає (0,72÷1,35) Рнат;
- лінія має достатній запас по статичній стійкості;
- напруга на лінії не перевищує 1,05Uном;
- техніко-економічні показники лінії електропередачі 750 кВ находяться на прийнятому рівні.

Список літератури

1. Сулейманов В.М. Электрические сети и системы. Учеб./ В.М. Сулейманов, Т.Л. Кацадзе. Киев: НТУУ «КПИ». – 2007.
2. Веников В.А., Сиуда И.П. Расчёт режимов дальних электропередач переменного тока. М., Высшая школа, 1966.
3. Дальние электропередачи 750 кВ. В 2 ч. 4.1. Д 15. Воздушные линии. Под общей редакцией А.М. Некрасова и С.С. Рокотяна. М. Энергия, 1974.
4. Щербаков В.К., Свиридов А.П. Линии электропередач переменного тока сверхвысокого напряжения протяжённостью более 3000 км с полуволновой характеристикой. Новосибирск, 1969. (Труды сибнииэ, №18).
5. А.П. Свірідов, Т.В.Величко, А.О.Корогвін. Дослідження нормальних режимів компенсуючої лінії електропередачі 750 кВ Донбас - Західна Україна. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник, вип. 40, част. II - Кіровоград: КНТУ, 2010. - С. 215-218.

А.Свиридов, Т.Величко

Исследование послеаврийных режимов связанного варианта компенсированной линии электропередачи 750 кВ Донбасс-Западная Украина

В статье проведен анализ послеаварийных режимов линии 750 кВ протяженностью 1100 км с различными схемами компенсации. Пропускная способность электропередачи с компенсирующими устройствами на линии составляет (0,72÷1,35) Рнат, а при размещении компенсирующих устройств на шинах подстанции – (0,6÷0,843) Рнат.

A.Sviridov, T.Velichko

Study post-emergency regimes associated variant compensated 750 kV transmission line Donbass-Western Ukraine

The article analyzes the post-emergency mode 750 kV line length of 1100 km with different compensation schemes. Bandwidth transmission with compensating devices on the line is (0,72 ÷ 1,35) Pnat, while placing compensating devices on the tires of substation - (0,6 ÷ 0,843) Pnat.

Одержано 07.04.11