

УДК 620.4+658.22

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

## Дослідження нормальних режимів компенсуючої лінії електропередачі 750 кВ Донбас - Західна Україна

В роботі проведений аналіз нормальних режимів лінії 750 кВ, протяжністю 1100 км з різними схемами компенсації. Пропускна здатність електропередачі з компенсуючими пристроями на лінії складає  $(1,3 \div 1,4) P_{\text{нат}}$ , а при розміщенні компенсуючих пристроїв на шинах підстанції –  $1,0 P_{\text{нат}}$ .  
**режим, компенсуючи пристрої, натуральна потужність, хвильовий опір**

Зростаючий інтерес в ряді країн світу до проблеми транспорту великих потоків потужності на наддалекі відстані 1000 – 4000 км визначається можливістю створення джерел дешевої електроенергії, віддалених від центрів навантажень. Особливий інтерес до проблеми наддалекого транспортування електроенергії існує в Росії. В Енергетичній Стратегії Росії до 2020 року підкреслюється, що розвиток міжсистемних електропередач (ЕП) 500-1150 кВ для підвищення ефективності і надійності паралельної роботи ОЕС держави являється однією з стратегічних завдань електроенергетики. При розвитку енергетики Росія вимушена подолати значний дефіцит власних енергоресурсів, обмеженість маневрової потужності, а також значну зношеність обладнання.

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.

В даній роботі проведені дослідження нормальних та післяаварійних режимів лінії електропередачі Донбас–Західна Україна 750 кВ, протяжністю 1100 км. Дана лінія була першою лінією 750 кВ СРСР. При дослідженні приймалось, що лінія виконана по зв'язаній схемі. Фаза лінії приймалася розщепленою на чотири проводи:  $4 \times \text{АСО-600/72}$ . Розміщення проводів у фазі у вершинах квадрату. Крок розщеплення  $a=60$  см. Відстань між фазами складає 17,5 м. Нижче приводиться розрахунок питомих параметрів лінії. Параметри однорідної лінії при цьому слідує:

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,0064 \text{ Ом/км}; & g_0 &= 5,9 \cdot 10^{-8} \text{ См/км}; \\ x_0 &= 0,14 \text{ Ом/км}; & b_0 &= 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ См/км}; \\ \alpha_0 &= 0,06 \text{ град/км}; & Z_c &= 133,1 \text{ Ом}. \\ P_{\text{нат}} &= 4227,58 \text{ МВт}; \end{aligned}$$

При аналізі режимів ліній електропередачі моделюються каскадною схемою чотириполюсників, що заміщують собою ділянки однорідної лінії електропередачі і компенсуючи пристрої на лінії. Розрахунок режимів виконаний у відносних одиницях, за базисні величини прийняті хвильовий опір  $Z_c$  і натуральна потужність однорідної лінії  $P_{nat}$ . Напряга та струм на початку кожної ділянки визначається по наступним виразам:

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

де  $U_s$  і  $I_s$  - напряга і струм в кінці ділянки лінії, яка розглядалась;

$\gamma_0$  - коефіцієнт розповсюдження хвилі;

$Z_c$  - хвильовий опір.

Хвильова довжина лінії 1100 км складає  $66,328^\circ$ . Однорідна лінія такої протяжності непрацездатна по умовам збереження стійкості і значного підвищення напряги на відкритому кінці лінії в режимі холостого ходу. Так розрахунки показали, що при передачі по лінії натуральної потужності перепад напряги в лінії складає 3,8%, кут зсуву між напрягою  $U_1$  і  $U_2$  в даному режимі складає  $65,4^\circ$ , а в режимі холостого ходу сильно проявляється ефект Ферранті. Отже, необхідно шляхом зміни природних параметрів лінії забезпечити їй працездатність. Із всіх можливих схем компенсації розглядаються наступні:

- а) схеми з повздовжньою ємнісною компенсацією;
- б) схеми з повздовжніми ємностями та поперечними реакторами на шинах низької напряги передаючої підстанції.

Витрата компенсуючих пристроїв (КП), а відповідно і величини тих необхідних повздовжніх та поперечних реактивних добавок, з врахуванням яких лінія набуває нових технічних характеристик, визначається наступними виразами:

$$Q_d = P_1 \alpha \cdot \left( \frac{P_1}{P_{nat}} - \frac{\alpha_1}{\alpha} \right);$$

$$Q_q = P_1 \alpha \cdot \left( \frac{\alpha}{\alpha_1} - \frac{P_{nat}}{P_1} \right),$$

де  $\alpha$  – природна хвильова довжина;

$\alpha_1$  – забезпечувана хвильова довжина;

$P_1$  – забезпечувана пропускна здатність;

$Q_d$  та  $Q_q$  – потужність повздовжніх та поперечних КП.

Для встановлення оптимальних режимів та раціональних схемних рішень приймалися до уваги такі обмежуючі фактори:

а) максимальна напряга на лінії в стаціонарних (квазістаціонарних) режимах не повинно перевищувати допустимого значення ( $U_{max} \leq U_{доп} = 1,05 U_{ном}$ );

б) повинна забезпечуватись електромеханічна стійкість в режимах максимальних навантажень ЛЕП ( $K_c \geq 0,2$ ).

Розміщення КП на лінії, їх кількість, впливає на хвильовий опір лінії електропередачі, який в значній мірі визначає її пропускну здатність. Включення КП порушує однорідність лінії, що призводить до додаткових циркуляції реактивної потужності на окремих ділянках, і тому рівність напруг в кожній точці її довжини стає неможливим. Для забезпечення кращих умов розподілу напряги вздовж лінії і

найменших втрат активної потужності в лінії електропередачі, як показали дослідження, потрібно симетричне розміщення компенсуючих пристроїв вздовж лінії. Відстані від крайніх КП до шин прийомної та передаючої підстанцій приймаються в два рази меншими у порівнянні з відстанями між іншими пунктами компенсації. Як показали дослідження, таке розміщення пристроїв забезпечує при їх кінцевому числі більш сприятливий розподіл напруги. Слід відмітити, що при попередніх дослідженнях параметри КП приймались однаковими, і в процесі розрахунку їх величина уточнювалася. Були досліджені нормальні режими лінії з двома, чотирма та шістьма КП. Пропускна здатність лінії визначається допустимим підвищенням напруги в проміжних точках ( $1,05 U_{\text{НОМ}}$ ) і складає при  $N_{\text{КП}}=4$   $P^*=1,35$ , а при  $N_{\text{КП}}=6$   $P^*=1,4$ . На рис.1 приведені результати розрахунків нормальних режимів компенсованої лінії з чотирма КП та шістьма КП.

Схема з повздовжньою компенсацією,  $N_{\text{КП}} = 4$

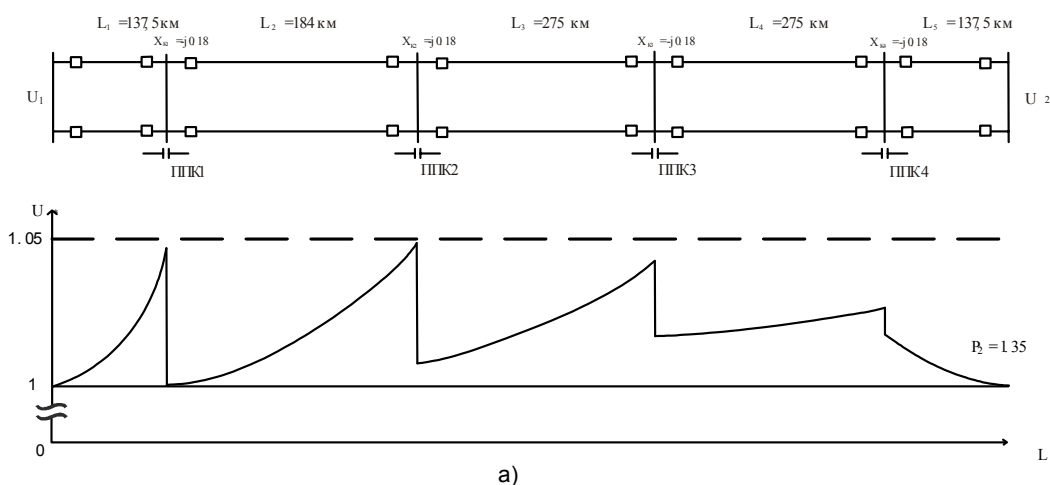
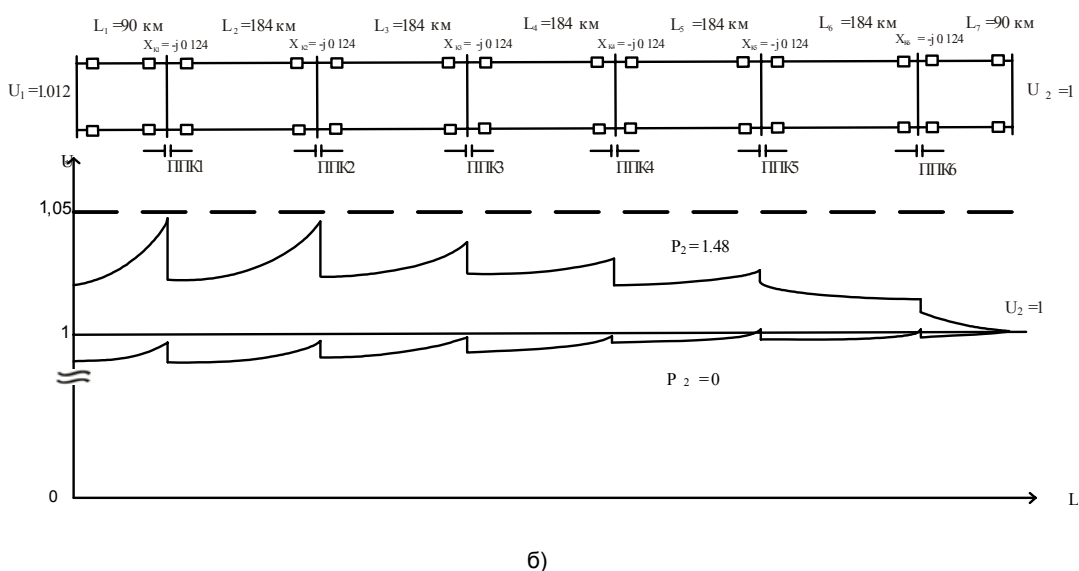


Схема з повздовжньою компенсацією,  $N_{\text{КП}} = 6$



а) лінія з  $N_{\text{КП}}=4$  ; б) лінія з  $N_{\text{КП}}=6$

Рисунок 1 – Розподіл напруги вздовж лінії

Компенсувати параметри лінії можна за допомогою ланцюгової схеми, що представляється набором повздовжніх та поперечних реактивних елементів (Т, Г та П схеми). Найкращі характеристики (найменший витрати потужності КП, рівномірний розподіл напруги) схема має при наявності великого числа елементів. В цілому випадку схема може бути замінена довгою лінією “від’ємною хвильовою довжиною”, матриця узагальнених постійних має вид:

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha' & -jZ_c \sin \alpha' \\ -j\frac{1}{Z_c} \cdot \sin \alpha' & \cos \alpha' \end{bmatrix}$$

В реальних схемах, що складаються з кінцевого числа Т, П Г-подібних ланцюгів, прийнята витрата КП й сприятливий розподіл напруги має місце при 3-4 ланцюгах. На рис.2 приведені результати розрахунку режимів лінії з двома Т-подібними ланцюгами. Потужність, що передається по лінії дорівнює натуральній  $P^*=1$ , перепад напруг на лінії складає 3,8%. Істотного підвищення напруги в кінці лінії не спостерігається ( $U_{1*}=0,902$ ,  $U_{2*}=1$ ).

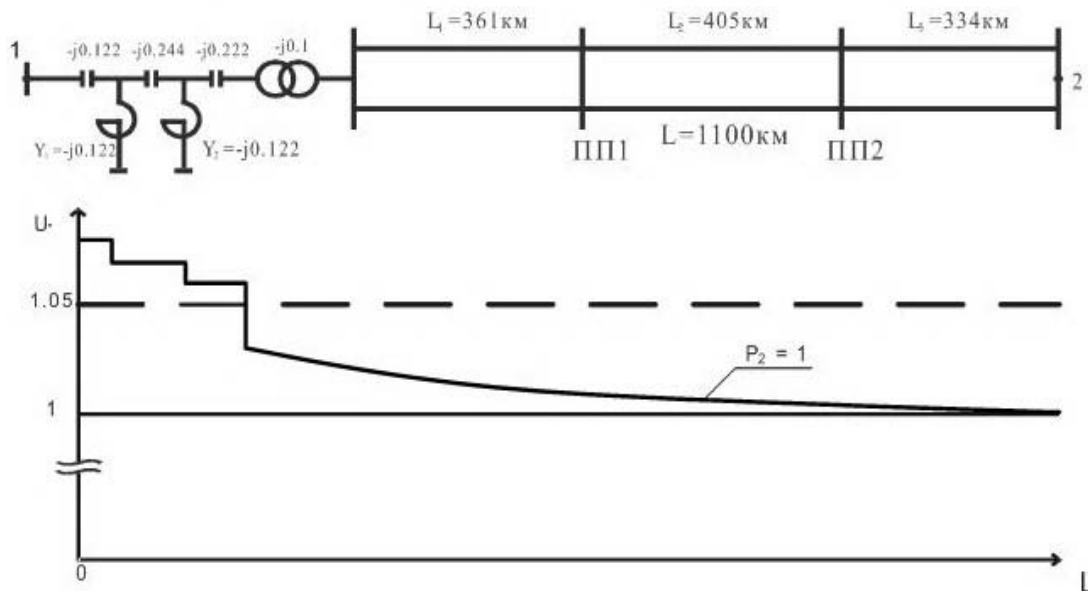


Рисунок 2 – Схема електропередачі з КП на шинах НН передаючої підстанції

Слід відмітити, що параметри Т-схеми приймались однаковими, за виключенням першої повздовжньої ємності, яка повинна компенсувати реактивний опір трансформатора.

Питома витрата КП для даної схеми складає всього  $Q_{\text{пит}} = 0,88$ .

Попередній техніко-економічний розрахунок даної лінії з різними схемами компенсації показав, що кращі показники має схема з КП на низькій стороні передаючої підстанції, з пропускну здатністю  $P^*=1$ . Для забезпечення пропускну здатності більшу за натуральну  $P^*=1,2 \div 1,35$  прийнятні показники має лінія з чотирма повздовжніми КП.

Приведені розрахунки режимів та їх аналіз показали, що забезпечити працездатність магістральної лінії 750 кВ, протяжністю 1100 км можливо, приймаючи компенсований тип лінії електропередачі з приладами КП на самій лінії, або ж на шинах низької напруги передаючої підстанції.

## Список літератури

1. Веников В.А., Сиуда И.П. Расчёт режимов дальних электропередач переменного тока.– М.: Высшая школа, 1966.
2. Дальние электропередачи 750 кВ. В 2 ч. 4.1. Д 15. Воздушные линии. / Под общ. Ред. А.М. Некрасова и С.С. Рокотяна.– М. Энергия, 1974.
3. Щербаков В.К., Свиридов А.П. Линии электропередач переменного тока сверхвысокого напряжения протяжённостью более 3000 км с полуволновой характеристикой. // Тр. СИБНИИЭ.– Вып. 18.– Новосибирск, 1969.
4. Красильникова Т. Г., Самородов Г.И., Яценко Р.А. Оценка технико-экономических показателей передачи электроэнергии из Тюменского региона в Украину. // Труды 2-й Международной научно-технической конференции “Энергетика, экология, электробережение, транспорт” .– Тобольск, 2004.
5. Самородов Г.И. Нетрадиционные электропередачи переменного тока повышенной надежности для передачи электроэнергии на дальние и сверхдальние расстояния. // Энергетическая политика.– 2003.– Вып. 1.

*А. Свиридов, Т.Величко, А.Корогвин*

### **Исследование нормальных режимов компенсирующей линии электроснабжения 750 кВ Донбасс - Западная Украина**

В работе проведен анализ нормальных режимов линии 750 кВ протяженностью 1100 км с различными схемами компенсации. Пропускная способность электропередачи с компенсирующими устройствами на линии составляет  $(1,3 \div 1,4) P_{нат}$ , а при размещении компенсирующих устройств на шинах подстанции –  $1,0 P_{нат}$ .

*A. Sviridov, T.Velichko, A.Korogvin*

### **Research of the normal modes of compensating line of elektrosnabgeniya is 750 kV Donbas - Zapadnaya Ukraine**

The analysis of the normal modes of line is in-process conducted 750 kV by an extent a 1100 km with the different charts of indemnification. The carrying capacity of electricity transmission with compensating devices on a line makes  $(1,3 \div 1,4) P_{nat}$ , and at placing of compensating devices on the tires of substation –  $1,0 P_{nat}$ .

Одержано 14.12.09