

УДК 621.314:621.316

З.М. Бахор, Б.І. Дурняк, І.О. Сабадаш, О.М. Равлик
Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра ЕМС

ПЕРЕНАПРУГИ В КАБЕЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10 кВ

© Бахор З.М., Дурняк Б.І., Сабадаш І.О., Равлик О.М., 2001

Наведені результати дослідження перенапруг під час замикання фази через повторно-нестійку дугу на землю в кабельній мережі 10 кВ з ізольованою нейтраллю. Виконаний аналіз їх глибокого обмеження нелінійними обмежувачами перенапруг.

The given results of research overvoltage during short circuit of a phase to ground through overlapping arcs in 10 kV cable network with isolated neutral point. Analysis of their deep restriction by non-linear overvoltage suppressors is executed.

Для кабельних мереж 10 кВ, які працюють з ізольованою нейтраллю, властивими є внутрішні перенапруги: комутаційні, ферорезонансні та під час замикання фази на землю. Небезпечні за своєю кратністю для ізоляції мережі перенапруги, комутаційного чи ферорезонансного походження, ефективно обмежуються вентильними розрядниками (наприклад, типу РВП, РВО). Крім цього, на ізоляцію електрообладнання мережі діють перенапруги, рівень яких не перевищує напруги спрацювання вказаних розрядників і здебільшого є значно нижчі від неї. Такі перенапруги, що виникають у мережі під час замикання фази на землю через повторно-нестійку дугу, можуть тривати до декількох годин. Їх дія на ізоляцію електрообладнання мережі є небажана, оскільки призводить до прискорення деградації ізоляції електрообладнання мережі, особливо силових кабелів.

Аналіз рівня перенапруг виконаний для кабельної мережі одного з районів м. Львова (рис. 1) на цифровому комплексі [1]. Від підстанції (ПС) електроенергія по кабельній лінії Л10 пересялається до шин розподільного пункту РП-43, від якого живиться мережа, розрахунковий ємнісний струм замикання на землю (I_3) якої дорівнює приблизно 7,5 А. На шинах 10 кВ підстанції, від яких живляться по кабельних лініях споживачі з сумарним навантаженням (Н), встановлено трансформатор напруги контролю ізоляції (ТНКИ) типу НТМИ-10. Рівень перенапруг у кабельній мережі досліджено для різних можливих варіантів її схеми, яким відповідають різні ємнісні струми замикання на землю: $I_3 = 3,1$ А (від РП-43 живляться вузли 1236, 1184, 1185, 1305); $I_3 = 4,6$ А (від РП-43 живляться вузли 1236, 1184, 1185, 1305 та 1168, 1173, 1293, 1325); $I_3 = 6,1$ А (вимкнені вузли 1236, 1184, 1185, 1305, РП-46); $I_3 = 7,5$ А (від РП-43 живиться повна схема); $I_3 = 29,2$ А (на шинах 10 кВ ПС враховані еквівалентними

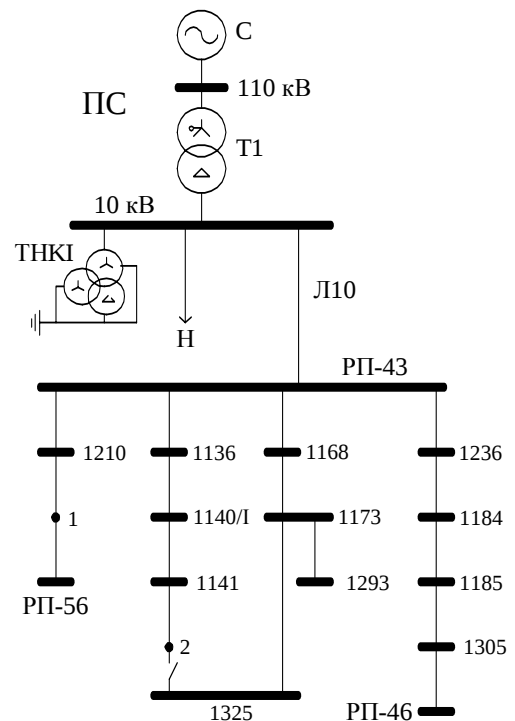


Рис. 1. Схема мережі

міжфазними ємностями та ємностями фаз на землю кабельні лінії, по яких живляться споживачі навантаженням N). Замикання фази на землю через повторно-нестійку дугу моделювалося згідно з відомою гіпотезою Белякова-Джуварли [2] і її використовували під час виконання всіх досліджень. Були враховані фактори, які впливають на характер процесу та виникнення максимальних перенапруг [3]. Замикання фази на землю моделювалося у всіх вузлах мережі, включаючи і шини 10 кВ ПС, по середині ліній (приблизно через кожні 150 м).

У місці замикання фази на землю через нестійку дугу виникають фазні та лінійні перенапруги. Їх рівень залежить від місця виникнення аварії в мережі та схеми мережі, її ємнісного струму замикання на землю. Так, для мережі з $I_3 = 7,5$ А в місці замикання на землю були отримані такі значення кратностей перенапруг: фазних 2,64–2,99 та лінійних 2,96–3,42. Максимальні значення фазних та лінійних кратностей перенапруг у мережі з ємнісним струмом замикання на землю 29,2 А не перевищували 3,56. Наведені у статті кратності перенапруг обчислені щодо амплітуди фазної напруги доаварійного режиму.

Перенапруги від місця замикання поширюються по лініях мережі та діють на всі її елементи. За рахунок коливних електромагнетних процесів у мережі вони підсилюються і часто у вузлах мережі їх значення перевищує рівень перенапруг у місці замикання. Це властиве як для фазних, так і для лінійних напруг. Наприклад, у мережі з ємнісним струмом замикання на землю 7,5 А нестійке дугове замикання фази на землю у вузлі 1168 призводить до збільшення амплітуди фазної напруги в місці аварії до 24,9 кВ, а лінійної – до 29 кВ. Напруга у вузлі 56 тоді становить: фазна – 28,2 кВ, а лінійна – 32,6 кВ. Фазні та лінійні перенапруги підсилюються приблизно в 1,12 разів. Під час досліджень подібне спостерігалось для різних вузлів схеми у всіх розглянутих випадках замикання на землю в різних місцях і властиве мережам з ємнісним струмом замикання на землю включно аж до 30 А. Найбільше отримане підсилення перенапруг у досліджуваній мережі не перевищувало 20 %. Загалом для мережі з ємнісним струмом замикання на землю 7,5 А, максимальні значення кратностей фазних перенапруг не перевищують 3,2 та лінійних – 3,85, а для мережі з ємнісним струмом замикання на землю 29,2 А, максимальні значення кратностей перенапруг зросли – фазних до 3,73 та лінійних до 4,11 раз.

Під час досліджень аналізували можливість глибокого обмеження перенапруг у кабельних мережах металооксидними нелінійними обмежувачами перенапруг (ОПН), характеристика яких показана на рис. 2. Розглядали три схеми під'єднання ОПН до мережі (рис. 3). У таблиці наведені максимальні значення кратностей фазних (K_f) та лінійних (K_L) перенапруг для характерних умов дослідження мережі: 1 – мережа з $I_3 = 7,5$ А без ОПН; 2 – мережа з $I_3 = 29,2$ А без ОПН; 3 – мережа з $I_3 = 29,2$ А з ОПН (фазна схема) на шинах 10 кВ ПС; 4 – мережа з $I_3 = 29,2$ А з ОПН (фазна схема) на шинах РП-43; 5 – мережа з $I_3 = 29,2$ А з ОПН (комбінована схема) на шинах РП-43 та РП-46; 6 – мережа з $I_3 = 29,2$ А з ОПН (комбінована схема) на шинах 10 кВ ПС, РП-43 та РП-46, РП-56.

Фазна схема (рис. 3, а) ефективно обмежує перенапруги, які виникають чи наводяться у вузлі її під'єднання. У мережі з ємнісним струмом замикання на землю 29,2 А встановлення ОПН на шинах ПС обмежило кратність перенапруги на них фазних з 3,26 до 2,85 та лінійних з 3,56 до 3,45. В інших вузлах мережі спостерігалось зменшення фазних пере-

напруг у 1,08–1,3 раза, а лінійних – у 1,03–1,06 раза. Подібне було отримано і при встановленні ОПН в інших вузлах мережі, але кратності фазних та лінійних перенапруг все ж у деяких вузлах мережі обмежувалися недостатньо – до 3,51 фазні та 3,94 – лінійні. Лінійні перенапруги обмежувалися незначно, хоч вони такого ж рівня, як і фазні. Встановлення ОПН лише на лінійну напругу (рис. 3, б) призводило до схожості процесу, але відносно лінійних перенапруг.

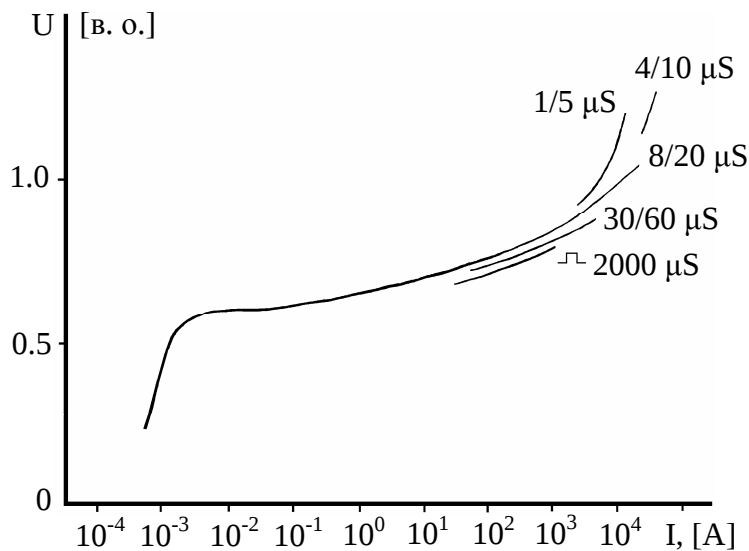


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика ОПН

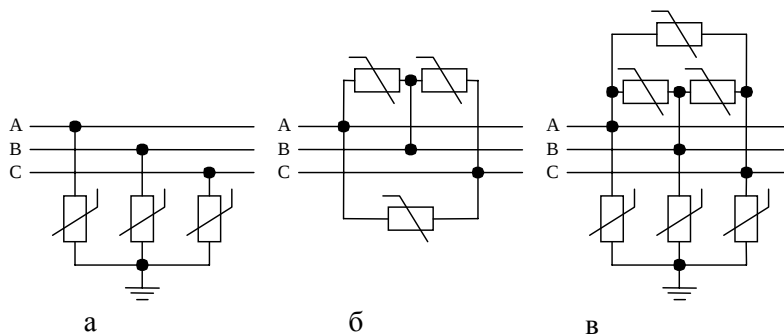


Рис. 3. Схеми під'єднання ОПН до вузлів мережі
а – фазна; б – лінійна; в – комбінована

Комбінована схема з шести ОПН (рис. 3, в) ефективно обмежує фазні та лінійні перенапруги в мережі: максимальні фазні перенапруги – до рівня 3,17 та лінійні – до рівня 3,46, проти 3,73 фазних і 4,11 лінійних в мережі без ОПН; та 3,51 фазних і 3,94 лінійних – з ОПН, ввімкненими на фазну напругу.

Після встановлення ОПН (комбінована схема) на шинах 10 кВ ПС, РП-43, РП-46, РП-56 перенапруги в досліджуваній мережі були глибоко обмежені – до 2,67 фазні та 2,84 лінійні. Зменшення вказаної кількості ОПН, чи зміна вузлів їх під'єднання в мережі призводили до збільшення кратностей перенапруг.

**Максимальні значення кратностей фазних (K_f) та лінійних (K_l) перенапруг
для характерних умов дослідження мережі**

Вузли	Умови досліджень схеми мережі											
	1		2		3		4		5		6	
	K_f	K_l	K_f	K_l	K_f	K_l	K_f	K_l	K_f	K_l	K_f	K_l
ПС	3,01	3,42	3,26	3,56	2,85	3,45	2,95	3,44	2,73	2,93	2,69	2,83
РП43	2,73	3,40	3,36	3,67	3,03	3,53	2,96	3,37	2,82	2,82	2,65	2,66
1210	2,82	3,47	3,50	3,74	3,11	3,59	2,97	3,59	2,83	2,82	2,65	2,75
РП56	3,14	3,63	3,64	4,00	3,27	3,94	3,14	3,83	2,87	2,83	2,65	2,66
1136	2,81	3,57	3,41	3,74	3,12	3,60	3,08	3,50	2,86	2,94	2,66	2,78
1140	2,87	3,57	3,51	3,81	3,22	3,66	2,71	3,66	2,86	3,10	2,66	2,75
1141	2,95	3,65	3,56	3,89	3,29	3,75	3,37	3,59	2,86	3,01	2,66	2,72
1168	2,88	3,50	3,46	3,81	3,14	3,65	3,01	3,49	2,84	2,87	2,66	2,67
1173	3,06	3,64	3,54	3,94	3,25	3,79	3,15	3,66	2,85	2,91	2,66	2,74
1293	3,13	3,69	3,56	4,02	3,51	3,83	3,20	3,76	2,86	2,93	2,67	2,91
1325	3,10	3,70	3,56	3,94	3,27	3,76	3,17	3,69	2,85	2,92	2,66	2,75
1236	2,82	3,62	3,50	3,79	3,15	3,64	3,06	3,64	2,83	2,80	2,66	2,75
1184	2,81	3,59	3,59	3,80	3,25	3,80	3,21	3,80	2,82	2,78	2,68	2,84
1185	3,03	3,63	3,66	3,89	3,33	3,88	3,30	3,88	2,77	2,77	2,65	2,83
1305	3,20	3,78	3,71	4,01	3,30	3,76	3,18	3,91	2,77	2,75	2,65	2,75
РП56	3,03	3,85	3,73	4,05	3,40	3,92	3,40	3,92	2,78	2,75	2,66	2,74
2	3,16	3,85	3,69	4,11	3,39	3,94	3,53	4,10	2,97	3,01	2,72	2,97
1	2,94	3,54	3,59	3,76	3,18	3,71	3,07	3,71	2,86	2,83	2,66	2,67

Висновки. 1. Під час замикання фази на землю через нестійку дугу в кабельних мережах 10 кВ виникають як фазні, так і лінійні перенапруги, які можуть перевищувати в 4 рази амплітуду фазної напруги доаварійного режиму мережі. Кратності фазних та лінійних перенапруг є співвимірними, тому доцільно обмежувати як одні, так і інші.

2. На рівень обмеження перенапруг у мережі впливає схема під'єднання ОПН до мережі. Для ефективного обмеження фазних та лінійних перенапруг у мережі доцільно використовувати комбіновану схему ОПН.

3. Рівень обмеження перенапруг, кількість ОПН та місця їх встановлення повинні визначатися для кожної конкретної мережі з врахуванням експлуатаційних факторів та технічних можливостей обладнання мережі.

1. Равлик О.М., Гречин Т.М., Лисяк Г.М. Програмний комплекс для дослідження електротехнічних систем // Тез. доп. 1-ї Міжнар. наук.-тех. конф. Математичне моделювання в електротехніці й електроенергетиці. – Львів, 1995. – С. 79. 2. Гиндуллин Ф.А., Гольдштейн В.Г., Дульзон А.А., Халилов Ф.Х. Перенапряжения в сетях 6-35 кВ. – М., 1989. – 192 с. 3. Варецький Ю.О., Равлик О.М., Бахор З.М. Особливості моделювання процесів при замиканнях на землю у мережах з ізольованою нейтраллю // Технічна електродинаміка. – 1994. – № 2. – С. 23–25.