

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА РИНКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

УДК 621.11

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2024.67.022>

ЗАСОБИ РОЗРАХУНКУ ТА ВИБОРУ УСТАВОК ДИФЕРЕНЦІЙНО-ФАЗНОГО ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ЗАХИСТІВ L60 В СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ДО 10 000 ВУЗЛІВ

І.В. Блінов*, докт. техн. наук, Н.Ф. Колесникова**, О.І. Козлова***

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Берестейський, 56, Київ, 03057, Україна
e-mail: mes@ied.org.ua

Наведено опис розроблених засобів для розрахунку та вибору уставок диференційно-фазного захисту повітряних ліній мікропроцесорних захистів L60 фірми General Electric в складних електричних мережах до 10000 вузлів. Показано, що створені засоби дають можливість вибору уставок за можливими видами змішаних сигналів: з пуском по прямій послідовності та з пуском по зворотній послідовності, а також з пуском за додатковими критеріями. Програма розрахунку дає можливість перевірити забезпечення чутливості органів пуску та відключення за симетричних та несиметричних коротких замикань, за максимальних реверсних протікань потужності в умовах різних змішаних пусків. Бібл. 3, рис. 5.

Ключові слова: електроенергетична система, диференційно-фазний захист, уставки, повітряна лінія.

Вступ. У зв'язку з постійним розвитком мережі Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України [1] забезпечення її надійності покладається на новітні, більш складні і досконалі мікропроцесорні (МП) засоби захисту. Згідно зі Стандартом підприємства та технічною політикою НЕК «Укренерго» як оператора системи передачі [2], кожна лінія має бути обладнана пристроями основного та резервного захисту. Це також стосується і кожної електричної лінії видавання потужності вітровою електростанцією (ВЕС) та сонячною електростанцією (СЕС). Переважним та широко застосовуваним типом основного захисту повітряних ліній (ПЛ) є мікропроцесорний диференційно-фазний захист (ДФЗ) L60 фірми General Electric Multilin [3] з точки зору надійного спрацювання та забезпечення абсолютної селективності при зовнішніх пошкодженнях. ДФЗ L60 – це вид диференціального захисту, який порівнює фази струмів по кінцях лінії, що захищається. Схема диференціально-фазного захисту здійснює порівняння фазних кутів струмів по кінцях лінії та відключає відповідні вимикачі при короткому замиканні (КЗ) у зоні захисту. У ДФЗ терміналу L60 є такі можливості: завдання пускових умов функції ДФЗ по змішаному сигналу: $I2-k-I1$ або $I1+I2/k$ та за додатковими умовами. У даній статті розглядається виконана розробка програмного забезпечення для вибору уставок ДФЗ по змішаному сигналу: $I2-k-I1$.

За основу розробки програми ДФЗ МП захистів L60 взято наступні фактори: складні індуктивні магнітні зв'язки, ємнісні провідності ПЛ, реактори поперечної компенсації, коефіцієнти трансформації трансформаторів і автотрансформаторів (АТ), відмінність електрорушійній силі (ЕРС) генераторів, з'єднання елементів (як правило, вимикачів) нульового опору, а також необхідні при розрахунках аварійних режимів для уставок ДФЗ комплексні опори елементів електричної мережі, перехідні активні опори в місці КЗ, параметри навантажувальних режимів (НР). У вихідній розрахунковій схемі ПЛ можуть бути представлені гілками кінцевого опору без додаткових параметрів і з додатковими параметрами – з взаємною індукцією, з ємнісною провідністю, з взаємною індукцією і ємнісною провідністю.



Метою цієї роботи є опис розроблених засобів для розрахунку та вибору уставок диференційно-фазного захисту фірми General Electric Multilin як основного захисту повітряних ліній терміналу L60, що дає можливість вибору уставок пускових органів за змішаним сигналом I2-k'I1: з пуском по зворотній послідовності. Розроблена програма розрахунку та вибору уставок МП засобів захисту ДФЗ L60 фірми General Electric Multilin, що працює в середовищі інтелектуалізованої системи, була інтегрована в програмний Комплекс ІЕДКК10-GW.

Для розрахунку і вибору уставок ДФЗ в розроблених засобах передбачено розрахунок аварійних режимів: КЗ (двофазні і трифазні без землі; однофазні, двофазні і трифазні КЗ на землю), неповнофазні КЗ (металеві та з перехідними опорами) на кінцевих шинах ПЛ та АТ і в відсутніх в явному вигляді в вихідній розрахунковій схемі проміжних точках ПЛ, можуть розглядатися як з обох сторін, так і з однієї зі сторін гілок (однофазні відключення та двофазні, представлено у вигляді таблиці); задаються відповідні коефіцієнти та константи: це коефіцієнти відлаштування для пускового органу та органу, що відключає, коефіцієнт чутливості для перевірки вибраних уставок на чутливість спрацювання, коефіцієнт змішення сигналів, довжину лінії та питомий ємнісний струм, максимальний струм навантаження та максимальний аварійний струм для лінії, що розглядається, коефіцієнт трансформатора струму $k_{ТТ}$:

$$k_{\text{відл}} = 1.1 \text{ <коэф. відлаштування FDL=1.1-1.2>} \quad k_{\text{зм}} = 0.1 \text{ <коэф. змішен. сигналів=0.1-0.2>} \\ k_{\text{отсн}} = 2.0 \text{ <коэф. відлаштування FDH=1.7-2.0>} \quad k_{\text{чуб}} = 1.5 \text{ <коэф. чутливості=1.5-2.0>} \\ k_{\text{нб}} = 0.03 \text{ <коэф. небалансу =0.02-0.03>} \quad L=44.0 \text{ <довжина лінії в км>} \\ I_{\text{нагр.об.мак}} = 1100 \text{ <макс. струм навантаження линии (A)>} \\ I2_{\text{нагр.об.мак}} = 1210 \text{ <макс. струм навантаження парал. лінії (A)>} \\ I_{\text{макс.ФДН}} = 2507 \text{ <макс. аварійн струм лінії для FDH>} \quad k_{\text{ТТ}} = 2000/1.$$

Розрахунки уставок ДФЗ виконуються в залежності від ідентифікатора розрахунку; у даній статті розглянуто використання сигналу по змішаному струму I2-k'I1. Короткі замикання (КЗ) представлені: «КЗ⇒» - КЗ на шинах металеве.

У разі перевищення струмом у місці встановлення захисту порогових значень уставок відбувається спрацювання чутливого пускового органу FDL, який залишається у спрацьованому стані на час існування аварійних параметрів.

Розрахунок уставок пускових (FDL) та органів, що відключають (FDH), проводиться у первинних величинах, з наступним перерахуванням їх у вторинні. Розрахунок можна проводити як для вузла з КЗ з одного боку лінії, так і задавши в одному завданні розрахунок 2 – розглянути КЗ з другого боку (у запропонованому прикладі саме цей випадок розрахунку іде як для вузла 2520 ш330кВ, так і для вузла 89 330 кВ 1СШ. Для розрахунку уставок ДФЗ використовуються такі види КЗ: трифазне КЗ – пряма послідовність (I1); двофазне КЗ – пряма та зворотна послідовності (I1 та I2); однофазне КЗ – пряма та зворотна послідовності (I1 та I2); двофазне КЗ на землю – пряма та зворотна послідовності (I1 та I2).

Розраховані струми КЗ оформлюються у вигляді таблиці струмів: трифазний, двофазний, однофазний та двофазний на землю з описом режимів, що відображають картину реального результату відповідного КЗ, наприклад: при КЗ у вузлі 2520 можливі підрежими відключення і заземлення лінії та паралельної ПЛ. Струм зворотної послідовності є присутнім у всіх видах несиметричних пошкоджень як у разі замикань фаза-фаза, так і у випадку замикань фаза-земля. Використання змішаного сигналу як пускового критерію захисту накладає свої особливості на вибір уставок пускових органів. Вибір уставок по змішаному струму I2-k'I1, виходячи з вимог керівних вказівок щодо розрахунку уставок ДФЗ, представлено на прикладі двох паралельних ліній 750 кВ одного з РДЦ України.

Уставка чутливого пускового органу FDL повинна бути:

1. відлаштована від струму небалансу зворотної послідовності в режимі навантаження:

$$I2_{\text{ф}} = \frac{k_{\text{отсн}} k_{\text{з}}}{k_{\text{с}}} K2_{\text{нб}} I_{\text{нагр.об.мак}} (A), \quad (1)$$

де $k_{отс} = 1.1$, $k_z = 2$, $k_p = 0.97$, $k_{нб} = 0.03$ – коефіцієнти відлаштування, запасу, повернення, небалансу; $I_{наг.раб.мах} = 1100$ – максимальний струм навантаження; $I_{наг.раб.мах} = 1210$ – максимальний струм навантаження (для паралельних ПЛ); $I_{2p} = 75(A)$; $I_{2p}=82$ (A) (для паралельних ПЛ).

2. відлаштована від максимального навантажувального струму, що протікає в місці установки терміналу:

$$I_{1pн} = \frac{k_{отс}}{k_p} \cdot I_{наг.раб.мах} (A), \quad (2)$$

де $k_{отс} = 1.1$, $k_p = 0.97$, $I_{наг.раб.мах} = 1100A$ – максимальний струм навантаження, $I_{1pн} = 1247 A$; $I_{наг.раб.мах}=1210 A$ – максимальний струм навантаження; $I_{1pн} = 1372 A$ (для паралельних ПЛ);

$$|k \cdot I1| = k \cdot |I_{1pн}| (A); |k \cdot I1| = 125 (A); |k \cdot I1| = 137 (A) \text{ (для паралельних ПЛ)}, \quad (3)$$

де $k = 0.1 \dots 0.2$ – коефіцієнт змішування.

Уставка пускового органу FDH (орган, що відключає) повинна бути:

3. відлаштована від складових зворотної та прямої послідовностей, ємнісного струму, обумовлених короткостроковою несиметрією при включенні ПЛ під напругу:

$$I_{2срз} = 0.26(\text{табл.}) L = 44.0 \quad k_{отс} = 2; \\ I1_c = I2_c = L \cdot I_{2срз} (A); \quad (4)$$

$$I1_c = I2_c = 11.44 (A); \\ |I2| = k_{отс} \cdot I2_c (A) \text{ – струм зворот. посл.}; \quad (5)$$

$$|I2| = 23 (A); \\ |k \cdot I1| = k_{отс} \cdot k \cdot I1_c (A) \text{ – струм прям. посл.}; \quad (6)$$

$$|k \cdot I1| = 2 (A); \quad k=0.1,$$

де $k = 0.1 \dots 0.2$ – коефіцієнт змішування.

4. відлаштована від струму небалансу зворотної послідовності в режимі навантаження:

$$I_{2p} = \frac{k_{отс} \cdot k_z}{k_p} \cdot k_{нб} \cdot I_{мах. авар. FDH} (A), \quad (7)$$

де $k_{отс} = 1.1$ – коефіцієнт відлаштування; $k_{нб} = 0.03$ – коефіцієнт небалансу; $I_{мах. авар. FDH} = 2507 (A)$; $k_z = 2$ – коефіцієнт запасу; $k_p = 0.97$ – коефіцієнт повернення; $I_{2p} = 171 (A)$.

5. відлаштована від максимального струму навантаження в місці встановлення терміналу:

$$I_{1pн} = \frac{k_{отс}}{k_p} \cdot I_{мах. авар. FDH} (A), \quad (8)$$

де $k_{отс} = 1.1$; $k = 0.1$; $I_{мах. авар. FDH} = 2507$; $I_{1pн} = 2843(A)$.

$$|k \cdot I1| = k \cdot |I_{1pн}| (A), \quad (9)$$

де $k = 0.1 \dots 0.2$ – коефіцієнт змішування; $|k \cdot I1| = 284 (A)$.

6. відлаштована від сумарного струму у найгіршому випадку, при великих перетоках потужності складові $I2$ та $k \cdot I1$ можуть підсумовуватися. Уставку обираємо виходячи з сумарного струму:

$$\begin{aligned} I_{FDL} &= |I2| + |k \cdot I1| (A); & I_{FDL} &= 75 + 125 = 200 (A); \\ I_{FDH} &= |I2| + |k \cdot I1| (A); & I_{FDH} &= 171 + 284 = 455 (A); \\ I_{FDL} &= |I2| + |k \cdot I1| (A); & I_{FDL} &= 82 + 137 = 219 (A); \\ I_{FDH} &= |I2| + |k \cdot I1| (A); & I_{FDH} &= 171 + 284 = 455 (A). \end{aligned} \quad (10)$$

Необхідно перевірити співвідношення: $k_n = [I_{FDH}] / [I_{FDL}]$ ($k_n = 1.5 : 2.0$).

Тому остаточно приймаємо: уставка $I_{FDL} = 230 (A)$, вторинна уставка $0.12 (A)$;
уставка $I_{FDH} = 460 (A)$, вторинна уставка $0.23 (A)$.

Розраховані уставки пускових органів FDL, FDH повинні забезпечувати достатню чутливість при всіх видах КЗ на всіх кінцях лінії.

У програмі розроблено спосіб вибору оптимального коефіцієнта змішування сигналів, який знаходиться в межах $k=0.1 \dots 0.2$. За менших значень k має місце переважне порівняння при КЗ на лінії по струмах зворотної послідовності $I2$, коли фази струмів по кінцях лінії

практично збігаються, таким чином не залежать від навантаження у доаварійному режимі. У разі використання змішаного пуску по I2-k-I1, мале значення k обмежує чутливість схеми при трифазних КЗ. Виходячи з цього, значення коефіцієнта змішування k повинно забезпечувати наступні умови: забезпечення чутливості органів FDL (FDL) при несиметричних КЗ на кінці лінії, що захищається, в мінімальному режимі системи з боку установки терміналу L60, при максимальних реверсивних перетіканнях потужності:

$$I_y \leq k \cdot \frac{I_p}{k_{\chi}}, \tag{11}$$

де I_y – уставка пускового органу FDL; I_p – струм при симетричному трифазному КЗ прямої послідовності; k – коефіцієнт змішування; $k_{\chi} = 1.5 \dots 2.0$ – коефіцієнт чутливості.

The screenshot shows a software window titled "ied3.dfx.2 * - Выбор и проверка уставок DFZ-G". The main content is a table with the following data:

Выбор коэфіц. змішення сигналів за умовою забезпечення чутливості FDL (FDH) при симетричному 3ф КЗ		K*I <= K*	I _p	K = 0.10-0.20
		K _χ	I _p	I _p при 3ф КЗ
		K _χ = 1.5-2.0		
N p/n	Режими	K=0.10 K _χ =1.5	IFDL= 230 (A)	IFDH= 460 (A)
КЗ 2520	НАП.750 Ш.330КВ	Струм 3фКЗ I1A	Визначення	Забезпеч.чут
1	Нормальний режим	3255	217	(-)
2	на АЕС з блока	3213	214	(-)
3	вігкл і заз // ПЛ	4225	282	(+)
4	вігкл і заз Л229	2447	163	(-)
5	3 вігкл і заз Л229+// ПЛ	3266	218	(-)
6	вігкл АТ	3201	213	(-)
7	3 вігкл АТ	4161	277	(+)
КЗ 89	ДЦ 330 1СШ	Струм 3фКЗ I1A	Визначення	Забезпеч.чут
10	Нормальний режим	4789	319	(+)
12	на АЕС з блока	4642	309	(+)
13	вігкл і заз // ПЛ	5973	398	(+)
14	вігкл АТ	4138	276	(+)
15	13 вігкл і заз// ПЛ, АТ	5262	351	(+)
16	14 вігкл АТ, Л АЕС-Нп	3994	266	(+)
17	16 вігкл АТ, Л АЕС-Нп, Л268	3749	250	(+)
18	16 вігкл АТ, Л АЕС-Нп, Л231	3334	222	(-)

Чутливість при симетричних КЗ забезпечується не у всіх заданих режимах, забезпечення чутливості показано (+), не забезпечення (-).

Рис. 1

На рис. 1 показано забезпечення чутливості органів FDL при симетричному КЗ (при трифазному КЗ) в кінці ПЛ.

Результат перевірки вибраного k змішування при сигналі I2-k-I1 за умови симетричного трифазного КЗ в кінці ПЛ в мінімальному режимі системи з боку встановлення терміналу по формулі (11) показує, в яких режимах при трифазному КЗ забезпечується чутливість (рис. 1). Як видно з результату розрахунку, зображеного на рис. 1, чутливість при симетричних КЗ забезпечується не у всіх ремонтних режимах. Забезпечення чутливості показано як (+), незабезпечення – як (-).

Є необхідність перевірити надійність маніпуляції переважного порівняння фаз струмів зворотної послідовності при несиметричних КЗ та максимальних реверсних перетоках потужності:

$$I_p \leq k_n \cdot \frac{I_{2p}}{I_{1p} + I_n}, \tag{12}$$

де I_{1p} та I_{2p} – розрахункові значення струмів прямої та зворотної послідовностей при КЗ на лінії, що захищається, в режимі, де має місце найменше співвідношення зазначених величин з урахуванням перетікань потужності на лінії; I_n – максимальний струм навантаження; $k_n = 0.6...0.7$ – коефіцієнт надійності.

На рис. 2 показано забезпечення чутливості при несиметричних КЗ з урахуванням максимальних перетікань потужності на лінії. Вибирається такий режим, де має місце найменше співвідношення зазначених величин з урахуванням режиму навантаження на лінії.

Вибір коефіц. змішення сигналів за умовою забезпечення переважного порівняння фаз струмів зворотної послідов. при несиметричних КЗ з урахуванням впливу навантаження

N p/n	Режими	2ф КЗ		1ф КЗ		1.1ф КЗ	
		Кн= 0.6	Кн= 0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
КЗ 2520	НАП.750 Ш.330КВ						
1	Нормальний режим на АЕС 3 блока	0.36	0.42	0.30	0.35	0.19	0.22
2	відкл і заз // ПЛ	0.35	0.41	0.30	0.35	0.19	0.22
3	відкл і заз Л229	0.40	0.46	0.35	0.40	0.20	0.24
4	відкл і заз Л229+// ПЛ	0.32	0.37	0.26	0.31	0.17	0.20
5	відкл і заз Л229+// ПЛ	0.36	0.43	0.31	0.37	0.19	0.22
6	відкл АТ	0.36	0.41	0.30	0.35	0.19	0.22
7	відкл АТ	0.40	0.46	0.34	0.40	0.20	0.24
КЗ 89	ДЦ 330 1СШ						
10	Нормальний режим на АЕС 3 блока	0.39	0.45	0.32	0.37	0.24	0.28
12	відкл і заз // ПЛ	0.38	0.45	0.31	0.37	0.23	0.27
13	відкл і заз // ПЛ	0.41	0.48	0.35	0.41	0.24	0.28
14	відкл АТ	0.37	0.43	0.30	0.35	0.22	0.26
15	відкл і заз// ПЛ, АТ	0.40	0.47	0.34	0.39	0.23	0.27
16	відкл АТ, Л АЕС-Нп	0.36	0.42	0.29	0.34	0.22	0.25
17	відкл АТ, Л АЕС-Нп, Л268	0.35	0.41	0.28	0.33	0.21	0.25
18	відкл АТ, Л АЕС-Нп, Л231	0.34	0.39	0.27	0.32	0.20	0.23

Найменше співвідношення поданих у формулі величин з урахуванням режиму навантаження на лінії при Кн= 0.6: k = 0.17(+)
 КЗ ПС 2520 НАП.750 Ш.330КВ при 1.1ф р/п 4 відкл и заз Л229
 Найменше співвідношення поданих у формулі величин з урахуванням режиму навантаження на лінії при Кн= 0.7: k = 0.20(+)
 КЗ ПС 2520 НАП.750 Ш.330КВ при 1.1ф р/п 4 відкл и заз Л229
 Найменше співвідношення поданих у формулі величин з урахуванням режиму навантаження на лінії при Кн= 0.6: k = 0.20(+).
 КЗ ПС 89 ДЦ 330 1СШ при 1.1ф р/п 18 відкл АТ, Л АЕС, Л231
 Найменше співвідношення поданих у формулі величин з урахуванням режиму навантаження на лінії при Кн= 0.7: k = 0.23(+).
 КЗ ПС 89 ДЦ 330 1СШ при 1.1ф р/п 18 відкл АТ, Л АЕС, Л231

Рис. 2

Як видно з результату розрахунку (рис. 2), чутливість при несиметричних КЗ забезпечується у всіх ремонтних або аварійних режимах. Забезпечення чутливості показано як (+). Незабезпечених режимів немає як для органів FDH, так і для FDL.

За прийнятого коефіцієнта змішування повинні забезпечуватися наступні умови: забезпечення чутливості FDH (FDL) при несиметричних КЗ в кінці лінії, що захищається, в мінімальному режимі системи з боку установки терміналу, при максимальних реверсивних перетіканнях потужності:

$$I_p \leq \frac{I_{2p} - k \cdot I_{1p}}{k_n}, \tag{13}$$

де $k_n = 1.5...2.0$ – коефіцієнт чутливості.

Забезпечення чутливості при несиметричних КЗ (одно-, двофазних та двофазних на землю) в кінці ПЛ, що захищається, представлено на рис. 3.

Выбор коэф.ц. змишення сигналів за умовою забезпечення чутливості FDL (FDH) при несиметричних КЗ		$I_{2-k \cdot I1} <=$	$I_{2p-k \cdot I1p}$	$K = 0.10-0.20$	
		$Kч = 1.5-2.0$	$Kч$	$I_{2p} u I1p - 2\phi K3$ $I_{2p} u I1p - 1\phi K3$ $I_{2p} u I1p - 1.1\phi K3$	
КЗ	2520	ЗАП. 750 Ш. 330КВ	2ф КЗ А	1ф КЗ А	1.1ф КЗ А
1		Нормальний режим	1004 (+)	689 (+)	574 (+)
2		на АЕС з блока	991 (+)	686 (+)	559 (+)
3		відкл і заз // ПЛ	1305 (+)	913 (+)	724 (+)
4		відкл і заз Л229	766 (+)	535 (+)	428 (+)
5	3	відкл і заз Л229+// ПЛ	1023 (+)	724 (+)	559 (+)
6		відкл АТ	990 (+)	679 (+)	566 (+)
7	3	відкл АТ	1288 (+)	900 (+)	716 (+)
КЗ	89	ДЦ 330 1СШ	2ф КЗ А	1ф КЗ А	1.1ф КЗ А
10		Нормальний режим	1409 (+)	856 (+)	924 (+)
12		на АЕС з блока	1365 (+)	836 (+)	890 (+)
13		відкл і заз // ПЛ	1754 (+)	1120 (+)	1093 (+)
14		відкл АТ	1216 (+)	751 (+)	784 (+)
15	13	відкл і заз// ПЛ, АТ	1543 (+)	992 (+)	953 (+)
16	14	відкл АТ, Л АЕС-Нп	1170 (+)	726 (+)	750 (+)
17	16	відкл АТ, Л АЕС-Нп, Л268	1099 (+)	689 (+)	698 (+)
18	16	відкл АТ, Л АЕС-Нп, Л231	978 (+)	621 (+)	612 (+)

Чутливість при несиметричних КЗ забезпечується у всіх заданих режимах (забезпеч. чутл. показано (+)).

Рис. 3

Як видно з результату розрахунку, наведеного на рис. 3, чутливість при несиметричних КЗ забезпечується у всіх ремонтних або аварійних режимах. Забезпечення чутливості показано як (+). Незабезпечених режимів немає як для органів FDL, так і для FDL.

Узгодження по чутливості грубого пускового органа, що відключає, FDL з чутливим пусковим органом FDL, що встановлено на протилежному кінці ПЛ відображується так.

Для двокінцевої лінії рекомендовано:

$$I_{yFDL} = \frac{I_{FDH}}{2} (A), \quad I_{yFDL} = 230 A \quad (14)$$

Уставки пускових органів FDL, FDH повинні забезпечувати достатню чутливість при всіх видах КЗ на всіх кінцях лінії. Для остаточно вибраних уставок пускових органів FDL, FDL необхідно провести перевірку чутливості при симетричних трифазних КЗ в кінці ПЛ для змішаного сигналу $I_{2-k \cdot I1}$ по такій формулі (результат наведено на рис. 4):

$$k_{\phi} \leq \frac{k \cdot I_{2p}}{I_{FDL(FDH)}} (A). \quad (15)$$

На рис. 4 представлено забезпечення чутливості вибраних уставок при трифазному симетричному КЗ в кінці ПЛ.

Аналіз перевірки забезпечення чутливості пускових органів FDL, FDH змішаному сигналу $I_{2-k \cdot I1}$ показує, що чутливість при трифазному симетричних КЗ не забезпечується у всіх ремонтних або аварійних режимах, що розглядалися, для органів FDL, FDH. Тобто при симетричних КЗ органи пуску та відключення не чутливі. У таких випадках при симетричних КЗ пуск буде забезпечуватися по збільшенню струму прямої послідовності.

Аналогічно необхідно провести перевірку чутливості при несиметричних КЗ в кінці ПЛ для змішаного сигналу $I_{2-k \cdot I1}$ по такій формулі:

$$k_{\phi} \leq \frac{I_{2p-k \cdot I1p}}{k_{\phi}} (A). \quad (16)$$

ІЕДКК10-GW - Выбор и проверка уставок DFZ-G

Файл Редактирование Вид Поиск Макеты Выбор программ Выполнить БМС Настройки Окно Справка

ied3.d fz.1 * - Выбор и проверка уставок DFZ-G

Забезпечення чутливості FDL (FDH) при 3ф симметричному КЗ в кінці ПЛ		Кч <=	K*I1p IyFDL (FDH)	K = 0.10-0.20 Ip=Ip при 3ф КЗ Kч >=2.0
N p/n	Режими	K=0.10 IFDL= 230 (A) IFDH= 460 (A)		
		для FDL	для FDH	
КЗ 2520	НАП.750 Ш.330КВ			
1	Нормальний режим	1.42 (-)	0.71	(-)
2	на АЕС 3 блока	1.40 (-)	0.70	(-)
3	відкл і заз // ПЛ	1.84 (-)	0.92	(-)
4	відкл і заз Л229	1.06 (-)	0.53	(-)
5	3 відкл і заз Л229+// ПЛ	1.42 (-)	0.71	(-)
6	відкл АТ	1.39 (-)	0.70	(-)
7	3 відкл АТ	1.81 (-)	0.90	(-)
КЗ 89	ДЦ 330 1СШ			
10	Нормальний режим	2.08 (+)	1.04	(-)
12	на АЕС 3 блока	2.02 (+)	1.01	(-)
13	відкл і заз // ПЛ	2.60 (+)	1.30	(-)
14	відкл АТ	1.80 (-)	0.90	(-)
15	13 відкл і заз// ПЛ, АТ	2.29 (+)	1.14	(-)
16	14 відкл АТ, Л АЕС-3n	1.74 (-)	0.87	(-)
17	16 відкл АТ, Л АЕС-3n, Л268	1.63 (-)	0.81	(-)
18	16 відкл АТ, Л АЕС-3n, Л231	1.45 (-)	0.72	(-)

Забезпечення чутливості при симетричних КЗ органів пуску (FDL) і органів відключення (FDH) показано (+), не чутливість - (-).

Рис. 4

ІЕДКК10-GW - Выбор и проверка уставок DFZ-G

Файл Редактирование Вид Поиск Макеты Выбор программ Выполнить БМС Настройки Окно Справка

ied3.d fz.1 * - Выбор и проверка уставок DFZ-G

Забезпечення чутливості FDL при несиметричних КЗ в кінці ПЛ		Кч <=	I2p-K*I1p IyFDL	K = 0.10-0.20 I2p u I1p - 2фКЗ I2p u I1p - 1фКЗ I2p u I1p - 1.1фКЗ
N p/n	Режими	K=0.10 IFDL= 230 (A)		
		2ф КЗ	1ф КЗ	1.1ф КЗ
КЗ 2520	НАП.750 Ш.330КВ			
1	Нормальний режим	6.55 (+)	4.49 (+)	3.75 (+)
2	на АЕС 3 блока	6.46 (+)	4.47 (+)	3.64 (+)
3	відкл і заз // ПЛ	8.51 (+)	5.95 (+)	4.72 (+)
4	відкл і заз Л229	5.00 (+)	3.49 (+)	2.79 (+)
5	3 відкл і заз Л229+// ПЛ	6.67 (+)	4.72 (+)	3.64 (+)
6	відкл АТ	6.46 (+)	4.43 (+)	3.69 (+)
7	3 відкл АТ	8.40 (+)	5.87 (+)	4.67 (+)
КЗ 89	ДЦ 330 1СШ			
10	Нормальний режим	9.19 (+)	5.58 (+)	6.03 (+)
12	на АЕС 3 блока	8.91 (+)	5.45 (+)	5.80 (+)
13	відкл і заз // ПЛ	11.44 (+)	7.30 (+)	7.13 (+)
14	відкл АТ	7.93 (+)	4.90 (+)	5.11 (+)
15	13 відкл і заз// ПЛ, АТ	10.07 (+)	6.47 (+)	6.22 (+)
16	14 відкл АТ, Л АЕС-Нn	7.63 (+)	4.74 (+)	4.89 (+)
17	16 відкл АТ, Л АЕС-Нn, Л268	7.17 (+)	4.49 (+)	4.55 (+)
18	16 відкл АТ, Л АЕС-Нn, Л231	6.38 (+)	4.05 (+)	3.99 (+)

Чутливість при несиметричних КЗ органа пуску FDL забезпечується у всіх заданих режимах, забезпечення чутливості показано (+).

Рис. 5

Перевірка забезпечення чутливості при несиметричних КЗ для грубого органу FDL показана на рис. 5.

З результату розрахунку, наведеного на рис. 5, видно, що чутливість при симетричних КЗ забезпечується в усіх заданих режимах для грубого органу FDL.

Аналогічний розрахунок потрібно робити і для органу FDH, що відключає. Для органу FDH, що відключає при сигналі I2-kI1, чутливість при несиметричних КЗ забезпечується не у всіх ремонтних або аварійних режимах, які розглядалися.

Висновки. Правильний вибір уставок безпосередньо впливає на динамічну стійкість мережі ОЕС України, а у захисті L60 – ДФЗ є головним. Розроблені засоби відповідають технічній документації виробника на МП захист ДФЗ L60 та вимогам, що необхідні для розрахунку та вибору уставок ДФЗ L60. Отримані результати на реальних схемах дають можливість вибору уставок за двома видами змішаних сигналів, зокрема з пуском за прямою та зворотною послідовністю, а також з пуском за додатковими критеріями. Наведені математичні моделі надають можливість перевірити забезпечення чутливості органів пуску та відключення при симетричних та несиметричних КЗ, за умов максимальних реверсних протікань потужності при різних змішаних пусках. Подальший розвиток передбачає продовження досліджень по іншому змішаному сигналу, а саме I1+I2/k.

Роботу виконано за держбюджетною темою "Забезпечення стійкості та надійності національної електроенергетики в умовах синхронної роботи ОЕС України з континентальною європейською енергетичною системою ENTSO-E" (шифр: РЕЖИМ-2) за бюджетною програмою КПКВК 6541230 (в рамках договору № 6.1/23-П від 02.01.2023 р.), реєстраційний номер 0123U100769.

1. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Під загальною редакцією Кириленка О.В. Інститут електродинаміки НАН України. К.: Ін-т електродинаміки НАН України. 2016. 400 с.
2. Постанова НКРЕКП «Про затвердження кодексу системи передачі». №309 від 14. 03.2018.
3. Рекомендації по вибору уставок диференційно-фазного захисту ліній типу L60 V.6.0 фірми GE MULTILIN (НЕК «Укренерго»). 2020 г. С. 13–36.

MEANS FOR CALCULATION AND SELECTION OF OVERHEAD LINES PHASE-DIFFERENTIAL PROTECTION SETTINGS OF MICROPROCESSOR PROTECTION L60 IN COMPLEX ELECTRICAL NETWORKS UP TO 10,000 NODES

I.V. Blinov, N.F. Kolesnykova, O.I. Kozlova

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Beresteiskyi ave., 56, Kyiv, 03057, Ukraine

e-mail: mes@ied.org.ua

The means for calculation and selection of phase-differential protection settings of overhead lines of L60 microprocessor protections of the General Electric company in complex electrical networks up to 10,000 nodes was developed. This software allows to select settings according to the possible types of mixed signals: forward-sequenced and reverse-sequenced, as well as additional criteria. The program makes it possible to check the sensitivity of the starting and disconnecting devices in the case of symmetrical and asymmetrical short circuits, in the case of maximum reverse power flows in various mixed starts. Ref. 3 fig. 5.

Keywords: power system, phase-differential protection, settings, overhead line.

1. Intelligent power systems: elements and modes: Under the general editorship of Kyrylenko O.V. Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine. Kyiv. 2016. 400 p.
2. NEURC Resolution "On Approval of Transmission Network Code" No. 309 of 14.03.2018.
3. Recommendations for choosing settings for differential phase protection of type lines L60 V.6.0 the company GE MULTILIN. (NPC «Ukrenergo»). 2020. Pp. 13–36.

Надійшла: 30.05.2023

Прийнята: 19.09.2023

Submitted: 30.05.2023

Accepted: 19.09.2023