

РОЗРАХУНОК УСТАВОК ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПОТУЖНІСТЮ 11 МВт

Хлистов В.М., ст. викл., Рокицький Р.О., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. В Україні широкої розповсюдженості дістали сонячні електричні станції (СЕС), за останні кілька років побудовано СЕС на сотні МВт. Основними причинами такої популярності СЕС є їх екологічність та «зелений тариф», який є політичним та економічним механізмом залучення інвестицій у відновлювальну енергетику. Тому для власника СЕС доцільним й найвигіднішим є безперервна робота станції в максимальному режимі. Пристрої релейного захисту запобігають розвитку аварії на станції, здійснюють локалізацію пошкодження, а це підвищує надійність перетворення сонячної енергії в електричну та забезпечує безперебійність її постачання в мережу.

Мета роботи. Розрахувати уставки та вибрати пристрої релейного захисту сонячної електричної станції потужністю 11 МВт.

Матеріали та результати дослідження. В даній статті наведений розрахунок струмів короткого замикання та уставок релейного захисту на основі реальних даних сучасної СЕС, яка знаходиться на балансі регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Одесаобленерго».

1. Розрахунок струмів короткого замикання для схеми СЕС (рис. 1).

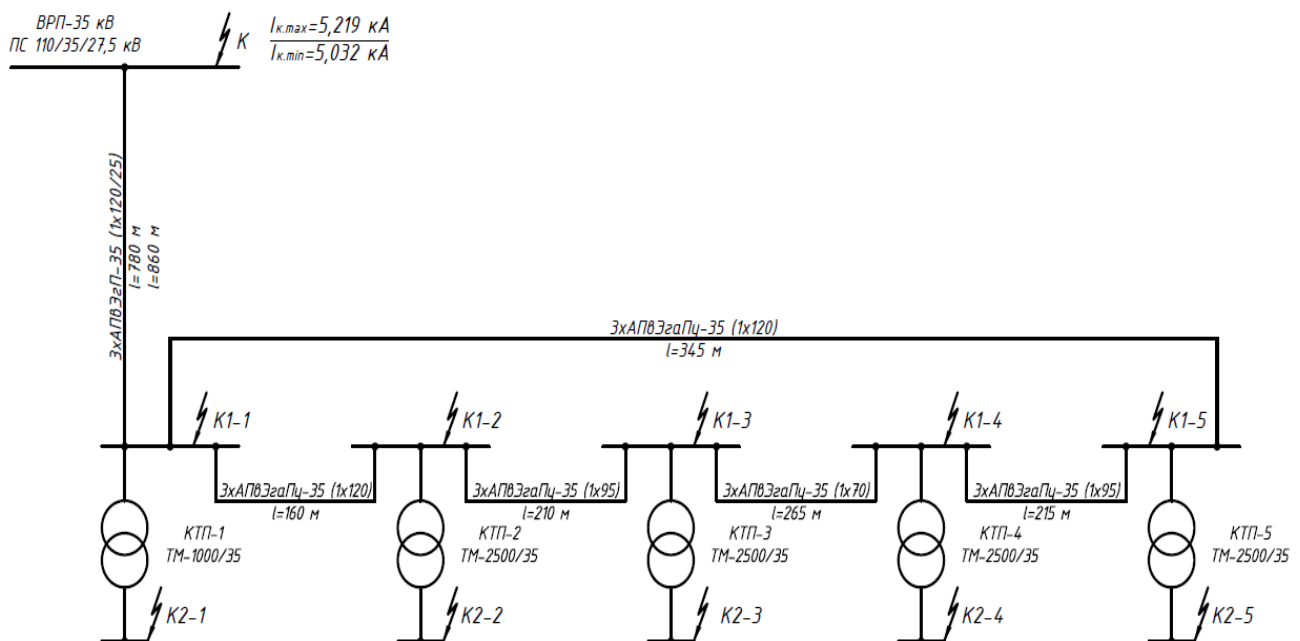


Рисунок 1 – Схема електричної мережі СЕС для розрахунку струмів КЗ

Струм короткого замикання на шинах 35 кВ ПС 35/10 кВ у максимальному режимі $I_{к,max} = 5.219$ кА. ЕРС системи в максимальному режимі $E_{max} = 36.7$ кВ, індуктивний опір системи становить $X_C = 4.053$ Ом, активний опір становить $R_C = 0.155$ Ом.

Струм короткого замикання на шинах 35 кВ ПС 35/10 кВ у мінімальному режимі $I_{k.min} = 5.032$ кА. ЕРС системи в мінімальному режимі $E_{min} = 36.5$ кВ, індуктивний опір системи $X_C = 4.182$ Ом, активний опір системи $R_C = 0.203$ Ом.

1.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення.

Опори кабельної лінії обчислюються за формулами:

$$R_{кл} = R_0 \cdot l = 0.325 \cdot 0.160 = 0.052 \text{ Ом}, \quad (1.1)$$

$$X_{кл} = X_0 \cdot l = 0.184 \cdot 0.160 = 0.029 \text{ Ом}, \quad (1.2)$$

де R_0 , X_0 – питомий активний та індуктивний опори відповідно, Ом/км; l – довжина кабельної лінії, км.

Результати розрахунків за формулами (1.1) та (1.2) наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахунок опорів кабельних ліній

Кабельна лінія	Довжина, км	X_0 , Ом/км	R_0 , Ом/км	$X_{кл}$, Ом	$R_{кл}$, Ом	$Z_{кл}$, Ом
ПС 110/35/27,5 – КТП-1 максимальний режим	0,780	0,184	0,325	0,144	0,254	0,383
ПС 110/35/27,5 – КТП-1 мінімальний режим	0,860	0,184	0,325	0,158	0,280	0,321
КТП-1 – КТП-2	0,160	0,184	0,325	0,029	0,052	0,060
КТП-2 – КТП-3	0,210	0,194	0,411	0,041	0,086	0,095
КТП-3 – КТП-4	0,265	0,201	0,568	0,053	0,151	0,160
КТП-4 – КТП-5	0,215	0,194	0,411	0,042	0,088	0,098
КТП-1 – КТП-5	0,345	0,184	0,325	0,065	0,112	0,129

Індуктивний опір трансформаторів КТП-1 – КТП-5 визначається за формулою:

$$X_{тр} = \frac{U_k \cdot U_{ном.тр}^2}{100 \cdot S_{ном.тр}} = \frac{7 \cdot 35^2}{100 \cdot 1} = 85.750 \text{ Ом}, \quad (1.3)$$

де U_k – напруга короткого замикання трансформатора, %; $U_{ном.тр}$ – номінальна напруга трансформатора, кВ; $S_{ном.тр}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

Активний опір трансформаторів КТП-1 – КТП-5 можна визначити за формулою:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_k \cdot 10^{-3} \cdot U_{ном.тр}^2}{S_{ном.тр}} = \frac{12.2 \cdot 10^{-3} \cdot 35^2}{1} = 14.945 \text{ Ом}, \quad (1.4)$$

де ΔP_k – втрати короткого замикання трансформатора, кВт; $U_{ном.тр}$ – номінальна напруга трансформатора, кВ; $S_{ном.тр}$ – номінальна потужність трансформатора, МВА.

Результати розрахунків за формулами (1.3) та (1.4) наведено у таблиці 2 – Розрахунок опорів трансформаторів.

Таблиця 2 – Розрахунок опорів трансформаторів

Трансформатор	$U_k, \%$	$\Delta P_k, \text{кВт}$	$U_{\text{ном.тр}}, \text{кВ}$	$S_{\text{ном.тр}}, \text{МВА}$	$X_{\text{тр}}, \text{Ом}$	$R_{\text{тр}}, \text{Ом}$	$Z_{\text{тр}}, \text{Ом}$
ТМ-1000/35	7,0	12,2	35	1	85,750	14,945	87,043
ТМ-2500/35	7,2	28,5	35	2,5	35,280	5,586	35,720

1.2 Розрахунок струмів короткого замикання:

Струм КЗ у точці К1-1 розраховується так:

$$I_k = \frac{E}{\sqrt{3} \cdot Z_{kn}}, \text{кА} \quad (1.5)$$

$$I_{k.\text{max}} = \frac{E_{\text{max}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{max}}} = \frac{36.7}{\sqrt{3} \cdot 4.251} = 5.025 \text{ кА}$$

$$I_{k.\text{min}} = \frac{E_{\text{min}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{min}}} = \frac{36.5}{\sqrt{3} \cdot 4.367} = 4.826 \text{ кА},$$

де E – ЕРС, що задається у вихідних даних, кВ; Z_{kn} – опір мережі від джерела ЕРС до n-ної точки, у якій визначається струм КЗ, Ом.

Результати розрахунків для схеми (рис. 1) наведено у таблиці 3 – Розрахунок струмів короткого замикання.

Таблиця 3 – Розрахунок струмів короткого замикання

Точка кз	$E_{\text{max}}, \text{кВ}$	$E_{\text{min}}, \text{кВ}$	$Z_{\text{max}}, \text{Ом}$	$Z_{\text{min}}, \text{Ом}$	$I_{k.\text{max}}, \text{кА}$	$I_{k.\text{min}}, \text{кА}$
К1-1	36,7	36,5	4,217	4,367	5,025	4,826
К1-2	36,7	36,5	4,251	4,633	4,984	4,549
К1-3	36,7	36,5	4,302	4,577	4,925	4,604
К1-4	36,7	36,5	4,347	4,565	4,874	4,616
К1-5	36,7	36,5	4,294	4,620	4,935	4,561
К2-1	36,7	36,5	91,248	91,402	0,232/11,779	0,231/11,695
К2-2	36,7	36,5	39,966	40,349	0,530/26,893	0,522/26,492
К2-3	36,7	36,5	40,02	40,295	0,529/26,856	0,523/26,528
К2-4	36,7	36,5	40,066	40,284	0,529/26,826	0,523/26,535
К2-5	36,7	36,5	40,011	40,339	0,530/26,862	0,522/26,499

2. Розрахунок уставок релейного захисту [1].

Вихідні дані:

Максимальний робочий струм на стороні 35 кВ $I_{\text{роб.маx}}=181.5 \text{ А}$.

Максимальний робочий струм трансформатора КТП-1 $I_{\text{роб.маx}}=16.5 \text{ А}$.

Максимальний робочий струм трансформатора КТП-2 – КТП-5 $I_{\text{роб.маx}}= 41.2 \text{ А}$.

Коефіцієнт надійності мікропроцесорного реле $K_{\text{над.}}= 1.1$.

Коефіцієнт повернення реле $K_{пов.} = 0.95$.

Коефіцієнт надійності відлаштування – $K_H = 1.1$.

Коефіцієнт відлаштування МСЗ від попередніх захистів $K_{відс} = 1.2$.

2.1 Розрахунок максимально струмового захисту (МСЗ):

Струм спрацювання МСЗ розраховуються за двома умовами:

1. Умова відлаштування від максимального струму навантаження :

$$I_{C3} \geq \frac{K_{над}}{K_{пов}} \cdot I_{роб.маx} \geq \frac{1.1}{0.95} \cdot 16.5 = 20 \text{ А}, \quad (2.1)$$

де $K_{над}$ – коефіцієнт надійності; $K_{пов}$ – коефіцієнт повернення реле;

$I_{роб.маx}$ – максимальний робочий струм.

2. Умова відлаштування від уставок попередніх захистів:

$$I_{C3} \geq K_{відс} \cdot I_{сз.ноп} \text{ А}, \quad (2.2)$$

де $I_{сз.ноп}$ – уставка за струмом спрацювання МСЗ нижче розташованого захисту.

Умова (2.2) не застосовується - відсутній нже розташований захист.

Приймається первинний струм спрацювання за умовою (2.1).

Вторинний струм спрацювання обчислюється за формулою:

$$I_{C3} \geq \frac{I_{C3}}{K_{мс}} \geq \frac{20}{10} = 2 \text{ А}, \quad (2.3)$$

де $K_{мс}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Коефіцієнт чутливості визначається відношенням:

$$K_{ч} = \frac{I_{k.min}^{(2)}}{I_{C3}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{k.min}^{(3)}}{2 \cdot I_{C3}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4.826}{2 \cdot 2} = 2.09 \quad (2.4)$$

Результати розрахунків за формулами 2.1 - 2.4 наведено у таблиці 4 – «Розрахунок уставок РЗА».

2.2 Розрахунок струмової відсічки (СВ)

Уставка за струмом обирається за двома умовами:

1. Селективність роботи із МСЗ наступних ліній.

Ця умова забезпечується відлаштуванням від максимального струму к.з. в кінці лінії, що захищається:

$$I_{СВ1} \geq K_H \cdot I_{k1.маx}^{(3)} \geq 3 \cdot 86.15 = 260 \text{ А}, \quad (3.1)$$

де $I_{k1.маx}^{(3)}$ – максимальний струм КЗ у кінці лінії, що захищається.

2. Відлаштування від кидків струмів намагнічування трансформаторів СЕС:

$$I_{СВ2} \geq K_H \cdot \sum I_{ном.тр.} = 3 \cdot 16.5 = 66 \text{ А}, \quad (3.2)$$

де $K_H = 3$ – коефіцієнт надійності відлаштування СВ;

$I_{ном.тр}$ – номінальний струм трансформаторів.

Приймається більший первинний струм спрацювання $I_{СВ1}$ за умовою (3.1).

Вторинний струм спрацювання обчислюється за формулою:

$$I_{C3} \geq \frac{I_{C3}}{K_{мс}} \geq \frac{260}{10} = 26 \text{ А}, \quad (3.3)$$

де K_{mc} – коефіцієнт трансформації трансформатора струму.

Коефіцієнт чутливості визначається як:

$$K_{\psi} = \frac{I_{k.\max}^{(3)}}{I_{C3}} = \frac{86.15}{26} = 3.3 \quad (3.4)$$

Результати розрахунків за формулами (3.1) - (3.4) наведено у таблиці 4 – Розрахунок уставок РЗА.

2.3 Розрахунок дистанційного захисту.

Опір кабельної лінії між СЕС та ПС, до якої підключається станція, становить $Z_{кл} = 0.29$ Ом. Уставка першого ступеню обирається рівною $0.7 \times Z_{кл}$, а уставка другого ступеню – $1.2 \times Z_{кл}$

Уставка першого ступеню:

$$Z_{C3} = 0.7 \cdot 0.29 = 0.2 \text{ Ом,}$$

$$Z_{уст} = \frac{0.2 \cdot 40}{350} = 0.023 \text{ Ом.}$$

Уставка другого ступеню:

$$Z_{C3} = 1.2 \cdot 0.29 = 0.35 \text{ Ом,}$$

$$Z_{уст} = \frac{0.35 \cdot 40}{350} = 0.040 \text{ Ом.}$$

Таблиця 4 – Розрахунок уставок РЗА

Місце встановлення захисту	Максимальний струмовий захист			Струмова відсічка		
	$I_{C3}, \text{ A}$	$I_{уст}, \text{ A}$	$t_{уст}, \text{ c}$	$I_{C3}, \text{ A}$	$I_{уст}, \text{ A}$	$t_{уст}, \text{ c}$
Ввід КТП-1	210	5.25	0.5	1000	16.7	0.3
Трансформатор КТП-1	20	2	0.3	260	26	0
Трансформатор КТП-2	50	5	0.3	585	58.5	0
Трансформатор КТП-3	50	5	0.3	585	58.5	0
Трансформатор КТП-4	50	5	0.3	585	58.5	0
Трансформатор КТП-5	50	5	0.3	585	58.5	0

Висновки. В статті розраховані струми короткого замикання в різних точках схеми СЕС та уставки релейного захисту кабельної лінії типу АПвЭгаПу-35 перерізом 3x(1x120/50 з трансформаторами типу ТМ-1000/35/0.6 та ТМ-2500/35/0.6. Для захисту кабельної лінії 35 кВ було обрано пристрій релейного захисту типу МРЗС-05-04, а для захисту трансформаторів – РНС РАС Е-100S. Розглянуті підходи в розрахунках уставок релейного захисту будуть корисні для застосування в навчальному процесі.

Перелік посилань

1. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. - СПб.: ПЭИПК, 2003. – 350 с.