

# РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КАБЕЛЬНОГО ПРИЄДНАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДО ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Хлистов В.М., ст. викл., Фетисов І.О., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Для передачі електричної енергії від сонячних електростанцій (СЕС) широко застосовуються кабельні лінії. Правильний вибір параметрів кабелю, його відповідність динамічній та термічній стійкості суттєво впливають на надійність та економічність роботи СЕС в цілому.

**Мета роботи.** Розробити структурну схему електричної мережі СЕС. Провести розрахунок кабельного приєднання 35 кВ від СЕС до електромережі. Вибрати номінальний переріз екрану та перевірити його за допустимими значеннями струмів короткого замикання (кз).

**Матеріали дослідження.** В статті розглядається наземна сонячна електростанція потужністю 25 МВт, яка під'єднується до підстанції (ПС) 35 кВ району електричної мережі.

На рис. 1 наведена структурна схема електричної мережі СЕС.

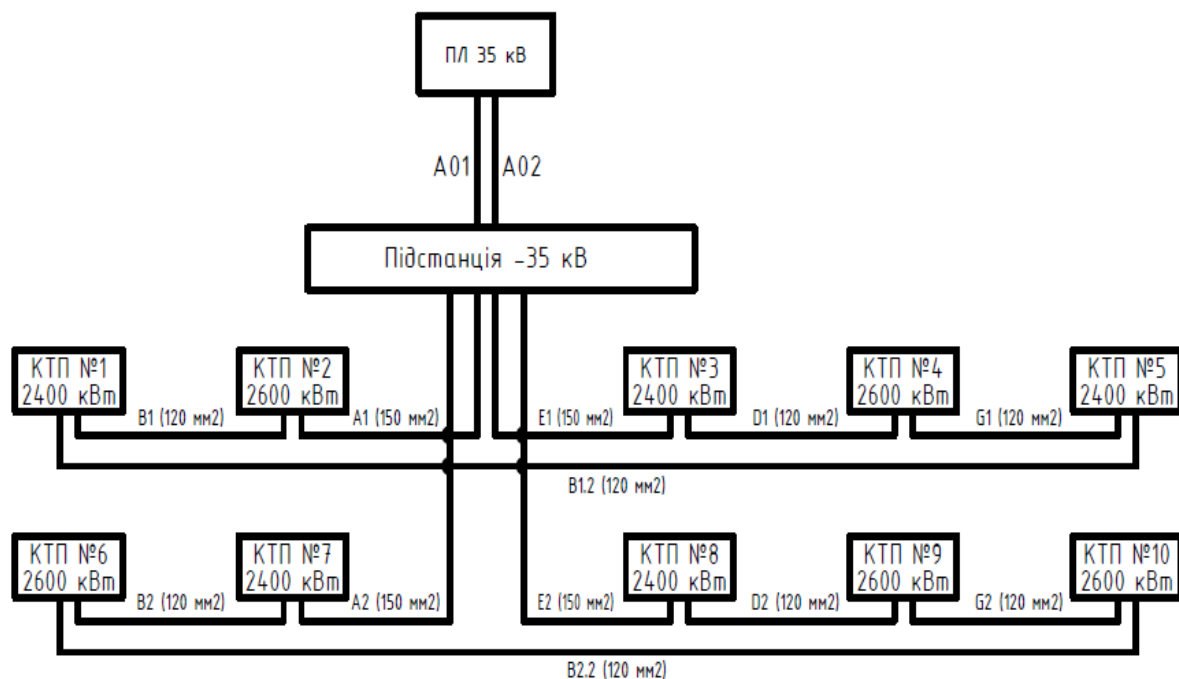


Рисунок 1 – Структурна схема електричної мережі СЕС

Структурна схема складається з підстанції 35 кВ, до якої підключені 10 комплектних трансформаторних підстанцій (КТП). В свою чергу, до кожної КТП через інвертори під'єднуються трьома фазами послідовно з'єднані фотоелектричні панелі – стрінги. КТП призначена для прийому, перетворення і розподілу електричної енергії трифазного змінного струму. Основними елементами КТП є силовий трансформатор та модулі розподільних пристроїв.

Розглянемо кабельну ділянку А1: КТП-35/0,8 кВ, №2 - ПС-35 кВ.

### 1. Вибір кабелю 35 кВ за допустимим струмом

Струм навантаження в кабельній лінії КЛ-35 кВ, яка працює в нормальному режимі і передає згенеровану від сонця електричну потужність на ділянці від КТП-35/0,8 кВ, №2 (СЕС), до ПС-35 кВ визначаємо за формулою:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{12400}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 0,9} = 227,3 \text{ А},$$

де  $P$  – потужність навантаження, кВт;  $U_n$  – номінальна напруга, кВ;  
 $\cos \varphi$  – кут навантаження, можлива робота СЕС у межах  $\cos \varphi = 0,9-1$ .

Для вибору кабелю за допустимим струмом повинна задовольнятися умова [1]:

$$I \leq I_{\text{доп}}$$

Попередньо вибираємо одножильний кабель з алюмінієвою жилою і ізоляцією із зшитого поліетилену перерізом  $150 \text{ мм}^2$  на напругу 35 кВ: АПвЭгаПу-35- 3х(1х150)  $\text{мм}^2$  [2]. Згідно довідника від виробника тривало допустимий струм навантаження для кабелю цієї марки становить  $I_{\text{доп.табл}} = 281 \text{ А}$  [2].

Допустиме струмове навантаження залежить також від певних умов експлуатації і коректується поправочними коефіцієнтами [3]:

$$I_{\text{доп}} = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * I_{\text{доп.табл.}},$$

де  $I_{\text{доп}}$  – допустимий струм навантаження;

$k_1$  – поправочний коефіцієнт для температури повітря іншої ніж  $30^\circ\text{C}$ ;

$k_2$  – поправочний коефіцієнт для глибини прокладання іншої ніж 0,8 м;

$k_3$  – поправочний коефіцієнт для питомого теплового опору іншого ніж  $1,5 \text{ К} \cdot \text{м} / \text{Вт}$ ;

$k_4$  – поправочний коефіцієнт для групи кабелів прокладених в одній траншеї;

$k_5$  – поправочний коефіцієнт для різних перерізів мідного екрану;

$I_{\text{доп.табл.}}$  – табличний допустимий струм навантаження.

Допустимий струм навантаження:

$$I_{\text{доп}} = 0,96 * 0,98 * 1,18 * 0,83 * 1,0 * 281 = 258,9 \text{ А}$$

Перевіряємо:  $I \leq I_{\text{доп}}$ ;  $227,3 \text{ А} \leq 258,9 \text{ А}$

Отже, умова за допустимим струмом задовольняється і кабель вибраний правильно.

### 2. Перевірка кабельної лінії А1 довжиною $L=265 \text{ м}$ на допустимі втрати напруги.

Втрати напруги на лінії розраховуємо за формулою [1]:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * L * Z,$$

де  $\Delta U$  – втрати напруги;

$I$  – струм навантаження, А;

$L$  – довжина ділянки, км;

$Z$  – повний опір,  $Z = (r_0 * \cos \varphi + x_0 * \sin \varphi)$ ;

$r_0$  – активний питомий опір провідника, Ом/км;

$x_0$  – реактивний питомий опір провідника, Ом/км;

$\varphi$  – кут навантаження.

Значення повного опору  $Z$  беремо з довідникових даних, наданих заводом виробником [2].

$$\Delta U = \sqrt{3} * I * L * Z = 1,732 * 227,3 * 0,265 * 0,294 = 30,7 \text{ В}$$

Втрати напруги у відсотках:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U} * 100 = \frac{30,7}{35000} * 100 = 0,088\%$$

Отже, вибраний кабель на ділянці  $A1$  задовольняє умові за втратами напруги - втрати напруги у відсотках не повинні перевищувати  $\Delta U=0,5\%$ .

*3. Перевірка кабелю АПвЭгаПу-35 3х(1х150) мм<sup>2</sup> на термічну стійкість.*

Розрахункове значення струму трифазного короткого замикання на шинях 35 кВ ПС-35 кВ  $I_{к.з.маx(3ф)} = 1,897 \text{ кА}$ , час вимкнення вимикача приймаємо  $t = 0,2 \text{ с}$ .

Мінімальний переріз кабелю за термічною стійкістю:

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_m},$$

де  $B_k$  – тепловий імпульс струму к.з.

$C_m$  – термічний коефіцієнт, значення для кабелю з алюмінієвими жилами та поліетиленовою ізоляцією  $C_m = 65 \text{ А*с/мм}^2$ .

$$B_k = I_{к.з.маx(3ф)}^2 * (t + T_a) = 1,897^2 * (0,2 + 0,01) = 0,76 \text{ кА}^2 * \text{с},$$

де  $T_a = 0,01 \text{ с}$  – постійна часу загасання аперіодичної складової.

$$S_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_m} = \frac{\sqrt{0,76}}{65} = 13,4 \text{ мм}^2$$

Отже, вибраний кабель на ділянці  $A1$  задовольняє умові термічної стійкості, адже мінімально допустимий переріз кабелю при цьому складає  $13,4 \text{ мм}^2$ .

*4. Перевірка кабелю АПвЭгаПу-35 3х(1х150) мм<sup>2</sup> на динамічну стійкість.*

Допустимий односекундний струм короткого замикання для обраного перерізу жили кабелю АПвЭгаПу-35 3х(1х150) мм<sup>2</sup> складає  $14,2 \text{ кА}$ , відповідний допустимий струм короткого замикання тривалістю  $0,2 \text{ с}$  складає:

$$I_{к.з.} = \frac{I_{к.з.табл.}}{\sqrt{t}} = \frac{14,2}{\sqrt{0,2}} = 31,8 \text{ кА},$$

що більше ніж розрахунковий струм трифазного короткого замикання  $I_{к.з.маx(3ф)} = 1,897 \text{ кА}$ . Аналогічно проводяться розрахунки кабельних ліній на інших ділянках.

*5. Розрахунок екрану кабелю АПвЭгаПу-35 3х(1х150) мм<sup>2</sup>.*

Попередньо вибираємо номінальний переріз мідного екрану  $25 \text{ мм}^2$ . Перевіримо переріз екрану  $25 \text{ мм}^2$  за допустимим струмом к.з. Визначаємо двофазний струм к.з.:

$$I_{кз.2ф.} = 0,87 * I_{кз.макс.} = 0,87 * 1,897 = 1,65 \text{ кА}.$$

Допустимий струм короткого замикання екрану  $25 \text{ мм}^2$  становить

$$I_{кз.е.табл.} = 5,1 \text{ кА}.$$

При тривалості короткого замикання  $t=0,2 \text{ с}$  допустимий струм короткого замикання по екрану складає:

$$I_{к.з.е} = \frac{I_{к.з.е.табл.}}{\sqrt{t}} = \frac{5,1}{\sqrt{0,2}} = 11,4 \text{ кА},$$

що більше ніж струм двофазного короткого замикання:

$$I_{кз.2ф.} < I_{к.з.е.} \\ 1,65 \text{ кА} < 11,4 \text{ кА}$$

Отже, умова за допустимим струмом к.з. виконується.

Перевіримо переріз екрану 25 мм<sup>2</sup> за наведеним струмом.

Перевірка номінального перерізу екрану за значенням наведеного струму від протікання по жилі кабелю струму в нормальному робочому режимі у разі заземлення струмопровідного екрану з обох кінців при розташуванні кабелів за схемою «трикутник» впритул один до одного, згідно ПУЕ (п.2.3.122, ф. 2.3.2) визначається за формулою [3]:

$$I_e = I_{кл} * \sqrt{0,0019 / (R_{70}^2 + 0.0019)}$$

де  $I_e$  – наведений струм екрану, А;

$I_{кл}$  – максимальний робочий струм КЛ, А;

$R_{70}$  – питомий активний опір екрану кабелю за температури +70С, Ом/км.

Відповідно довідника продукції ПАТ «Завод Южкабель» для кабелю марки АПвЭгаПу 3х(1х150) мм<sup>2</sup> при прокладці «трикутником» в ґрунті допустимий тривалий струм складає  $I_{допуст.} = 281 \text{ А}$  [2].

Перевіряємо переріз 25 мм<sup>2</sup> мідного екрану кабелю перерізом 150 мм<sup>2</sup>:

$$R_{70} = R_{20} * \frac{242,5 + t}{262,5} = 0,727 * \frac{242,5 + 70}{262,5} = 0,87 \text{ Ом/км};$$

$$I_e = I_{кл} * \sqrt{\frac{0,0019}{R_{70}^2 + 0.0019}} = 227,3 * \sqrt{\frac{0,0019}{0,76 + 0,0019}} = 11,4 \text{ А.}$$

Перевіряємо:

$$I_{допуст} \geq I_e \\ 227,3 \text{ А} \geq 11,4 \text{ А}$$

Отже, умова за наведеним струмом виконується. Аналогічним чином проводяться розрахунки на інших ділянках.

**Висновки.** Для приєднання сучасної сонячної електростанції потужністю 25 МВт до електричної мережі напругою 35 кВ вибраний силовий кабель перерізом 150 мм<sup>2</sup>, довжиною 265 м вітчизняного виробника ПАТ «Завод Южкабель» зі струмопровідними алюмінієвими жилами та ізоляцією із зшитого поліетилену, поздовжньою та поперечною герметизацією екрану і підсиленою зовнішньою оболонкою із поліетилену марки АПвЭгаПУ-35 з мідним екраном перерізом 25 мм<sup>2</sup>. Параметри кабельної лінії відповідають технічним вимогам нормативних документів. Методика розрахунків автоматизована і може бути корисною для навчального процесу.

#### Перелік посилань

1. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: учебное пособие/А.В. Кабышев, С.Г. Обухов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.
2. Довідник кабельно-провідникової продукції - ПАТ «Завод Южкабель», Харків.
3. «Южкабель» [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://yuzhcable.com.ua/>
4. Правила улаштування електроустановок. – Х.: Форт, 2009 . - 704 с.