

М. С. ПРИХОДА (ДНУЗТ)

Кафедра «Електропостачання залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056)793 19 11, ел. пошта: ms_estimate@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-4122-3193

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМИКАЮЧОЇ ЗДАТНОСТІ КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ТЯГОВОЇ ПІДСТАНЦІЇ ПРИ ПРИЄДНАННІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вступ

На сьогоднішній день в Україні постає питання переходу живлення з традиційних на альтернативні джерела електроенергії. Це пов'язано з значним підняттям цін на електричну енергію та важкою економічною ситуацією. Зокрема, це стосується і залізничного транспорту. Потенціал альтернативної енергетики перевищує 100 млн. тонн умовного палива, але при цьому на 2014 рік частка використання складає лише 0,02 %.

Сучасні концепції енергозбереження на залізничному транспорті на сьогодні представлені різними підходами і напрямками. Значний інтерес викликають роботи таких авторів, як С.П. Денисюк, В.Г. Кузнецов та ін. Одним з напрямів енергозбереження є перехід на живлення від альтернативних джерел електроенергії.

Мета

Все частіше до тягових підстанцій електрифікованих залізниць прагнуть приєднатися власники сонячних електростанцій. При цьому виникає ряд проблем, оскільки такі приєднання ще не досить досконало вивчені та проаналізовані. На сьогоднішній день в Україні не існує нормативних документів, якими б можна було керуватись при приєднанні сонячних електростанцій (СЕС) до шин тягових підстанцій. Власникам СЕС вигідніше приєднатися до шин 10 кВ тягових підстанцій, але при цьому виникають питання стійкості такої системи, спрацьовування релейного захисту та вимикаючої здатності вже встановлених вимикачів.

Приклад розгляду питання стійкості сонячної системи великої потужності визначено у [1]. Метою даної статті є дослідження вимикаючої здатності при приєднанні СЕС та перевірка вже встановлених вимикачів тягових підстанцій на термічну та динамічну стійкість.

Вимикач є одним з найважливіших апаратів, від якого залежить надійна робота не тільки розподільного пристрою, де вони встановлені, але часто і всієї енергосистеми. Найбільш відповідальною операцією для вимикачів можна вважати відключення великих струмів короткого замикання, досягаючих декількох десятків кілоампер. Для збереження стійкої роботи елементів системи відключення к.з. повинно проводитися дуже швидко, протягом двох напівперіодів.

Вимикач повинен бути пристосований для швидкого автоматичного повторного включення (АПВ), добре протистояти к.з., які виникають у процесі аварійного відключення і витримувати без пошкоджень включення в протифазі.

Поряд з цим вимикач повинен також надійно відключати малі індуктивні і ємнісні струми без появи при цьому небезпечних комутаційних перенапруг. Конструкція вимикача повинна бути простою, експлуатація його легкою; він повинен володіти високою ремонтпридатністю, мати високий коефіцієнт готовності: при дуже низькій тривалості використання (від однієї до трьох хвилин на рік) вимикач повинен бути завжди готовим до роботи.

Нарешті, вимикач повинен багаторазово і надійно включати і відключати номінальні струми, а перебуваючи у включеному стані, необмежено довго витримувати вплив номінальних струму і напруги, а також короточасні термічні та динамічні дії наскрізних струмів короткого замикання [2].

При приєднанні сонячних електростанцій до шин тягової підстанції гостро постає питання перевірки встановлених вимикачів на спрацьовування у момент короткого замикання. Необхідно зробити розрахунки та визначити електродинамічну стійкість, термічну стійкість вимикачів та струми короткого замикання при такому приєднанні [3]. В електричних установках напругою вище 1000 В відповідно

до ПУЕ [4] за режимом к.з. перевіряють електричні апарати, струмопроводи, кабелі та інші провідники, опорні і несучі конструкції для них, а також повітряні лінії електропередачі при ударному струмі к.з. більше 50 кА і відстані між розпірками розщеплених проводів.

Результати дослідження

Для визначення електродинамічної стійкості за розрахунковий вид короткого замикання приймають – трифазне к.з., а для визначення термічної стійкості приймають – трифазне або двофазне к.з.

Термічна стійкість апаратів визначається умовою теплового імпульсу струму:

$$I_{н.тер}^2 \cdot t_{н.тер} \geq B_k \quad (1)$$

де $I_{н.тер}$ – середньоквадратичне значення струму за час його протікання (струм термічної стійкості) по каталогу; $t_{н.тер}$ – тривалість протікання струму термічної стійкості по каталогу; B_k – тепловий імпульс струму к.з. (імпульс квадратичного струму к.з.), який характеризує кількість тепла, що виділяється в апараті за час дії струму к.з..

Вимикач буде задовольняти умові (1), якщо :

$$B_k \leq B_{авар.доп} \quad (2)$$

де B_k – тепловий імпульс (інтеграл Джоуля) струму к.з. у колі; $B_{авар.доп}$ – допустиме значення теплового імпульсу (інтеграла Джоуля) для вимикача.

Допустиме значення теплового імпульсу $B_{авар.доп}$ для комутаційних апаратів залежить не тільки від вказаного заводом нормованого струму термічної стійкості $I_{н.тер}$, а і від співвідношення між розрахунковою тривалістю струму к.з. $t_{відкл.}$ і допустимим часом термічної стійкості $t_{н.тер}$ [5].

Якщо $t_{відкл.} \geq t_{н.тер}$ в цьому випадку допустиме значення теплового імпульсу $B_{авар.доп}$ дорівнює:

$$B_{авар.доп} = I_{н.тер}^2 \cdot t_{н.тер} \quad (3)$$

В тому випадку якщо $t_{відкл.} \leq t_{н.тер}$, то допустиме значення теплового імпульсу $B_{авар.доп}$ дорівнює:

$$B_{авар.доп} = I_{н.тер}^2 \cdot t_{відкл.} \quad (4)$$

Електродинамічна стійкість характеризується амплітудою ударного струму к.з., який здатний пропустити вимикач без залишкових деформацій деталей або неприпустимого відбросу контактів, що приводить до їх приварювання або вигорання. Якщо значення електродинамічної стійкості в каталозі не наводиться, то це означає, що стійкість вимикача визначається його комутаційною здатністю.

По вимикаючій здатності перевірка проводиться за умовою:

$$i_y \leq i_{вкл}; I_{н,0} \leq I_{вкл} \quad (5)$$

де i_y – ударний струм к.з. в ланцюгу вимикача; $I_{н,0}$ – значення періодичної складової струму к.з. в ланцюгу вимикача; $I_{вкл}$ – номінальний струм вмикання (діюче значення періодичної складової); $i_{вкл}$ – найбільший пік струму вмикання (по каталогу). Заводами дотримується умова $i_{вкл} = 1,8\sqrt{2} \cdot I_{вкл}$, де $k_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт, нормований для вимикачів.

На електродинамічну стійкість вимикач перевіряється по граничним наскрізним струмам к.з.:

$$i_y \leq i_{дин}; I_{н,0} \leq I_{дин} \quad (6)$$

де $i_{дин}$ – струм електродинамічної стійкості (по каталогу); $I_{дин}$ – діюче значення періодичної складової граничного наскрізного струму к.з. [6].

При перевірці вимикачів за зазначеними формулами необхідно враховувати, що наприклад, для вакуумних вимикачів проводять перевірку на стійкість та придатність ще за наскрізними струмами короткого замикання. При перевірці вимикач піддається значним термічним та динамічним навантаженням.

При розрахунках до розгляду приймемо різні типи вимикачів, що найбільш частіше застосовуються на приєднаннях різного класу напруги.

Таблиця 1

Перевірені вимикачі на шинах 110 кВ

№	Тип вимикача	Іном відключення., кА	Дугогасне середовище
I	ВГП-110У1	40	Елегаз
II	BPC-110	31,5	Вакуум
III	МКП-110М	20	Маслонаповнений

Таблиця 2

Перевірені вимикачі на шинах 35 кВ

№	Тип вимикача	Іном відключення., кА	Дугогасне середовище
I	SPS-2	40	Елегаз
II	BP35-35-20/1000У2	20	Вакуум
III	ВМК-35-Б-1000	25	Маслонаповнений

Таблиця 3

Перевірені вимикачі на шинах 10 кВ

№	Тип вимикача	Іном відключення., кА	Дугогасне середовище
I	LF3-10	25	Елегаз
II	ВВ/TEL-10-20/1000У2	20	Вакуум
III	ВМГ-133-II-1000	20	Маслонаповнений

Таблиця 4

Перевірені вимикачі на шинах 27,5 кВ

№	Тип вимикача	Іном відключення., кА	Дугогасне середовище
I	BP27HC	25	Вакуум
II	ВВУ-СЕШ-27,5	20	Маслонаповнений

При цьому для визначення вимикаючої здатності цих вимикачів зробимо порівняльний аналіз струмів к.з. до та після приєднання СЕС до шин різної напруги тягової підстанції постійного та змінного струму. На рисунках 1-6

представлені графіки залежностей струму к.з. при збільшенні потужності СЕС на приєднанні до шин 110, 35, 10 та 27,5 кВ підстанцій постійного та змінного струму відповідно.

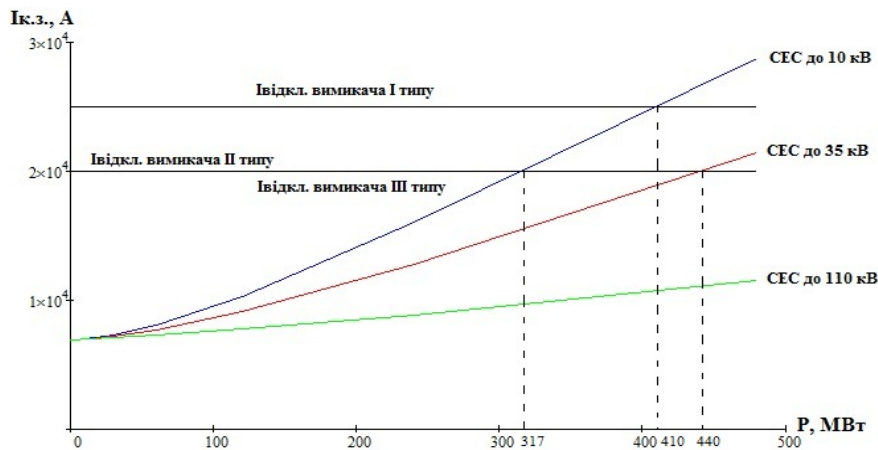


Рис.1. Графік залежності зміни струму к.з. на шинах 10 кВ підстанції постійного струму, при збільшенні потужності СЕС, підключеної до шин різної напруги

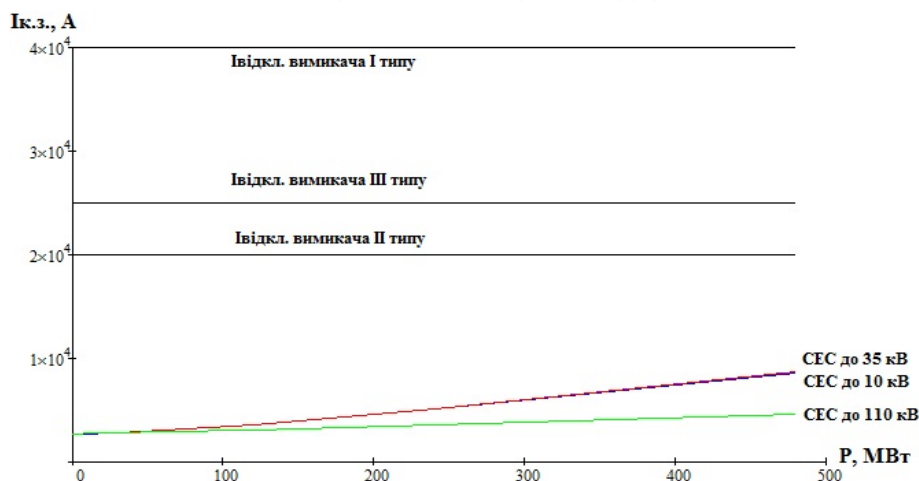


Рис. 2. Графік залежності зміни струму к.з. на шинях 35 кВ підстанції постійного струму, при збільшенні потужності СЕС, підключеної до шин різної напруги

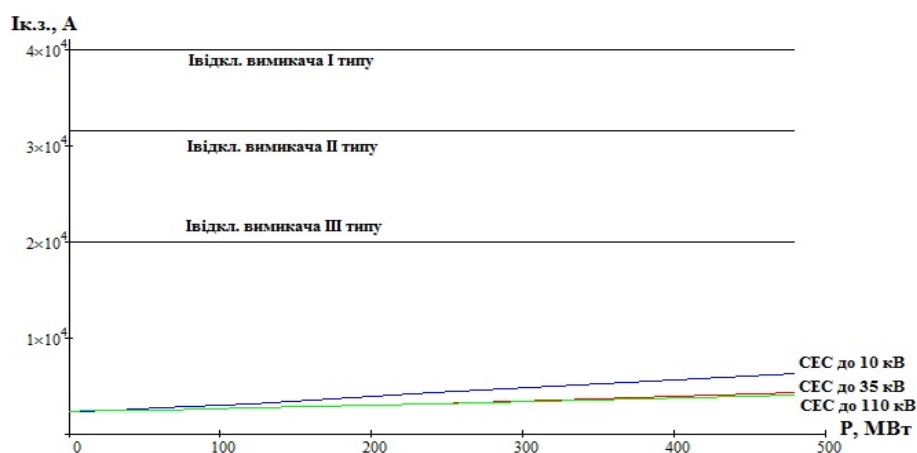


Рис. 3. Графік залежності зміни струму к.з. на шинях 110 кВ підстанції постійного струму, при збільшенні потужності СЕС, підключеної до шин різної напруги

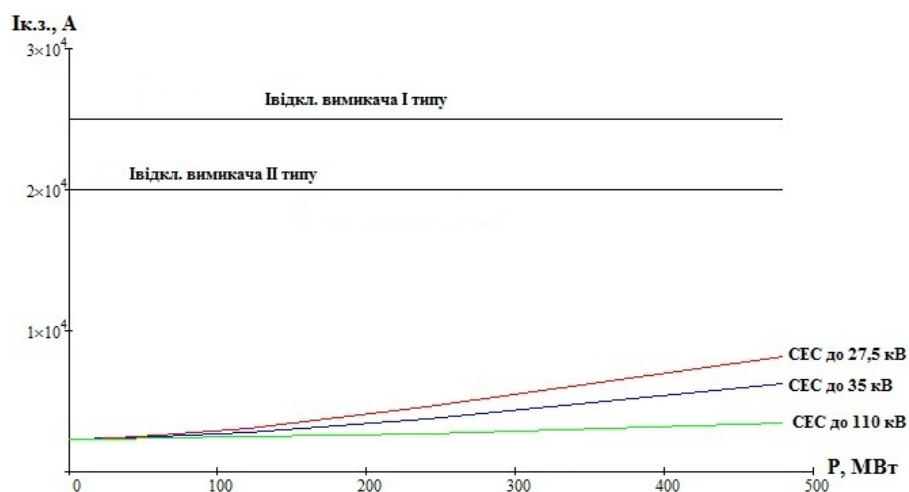


Рис. 4. Графік залежності зміни струму к.з. на шинях 27,5 кВ підстанції змінного струму, при збільшенні потужності СЕС, підключеної до шин різної напруги

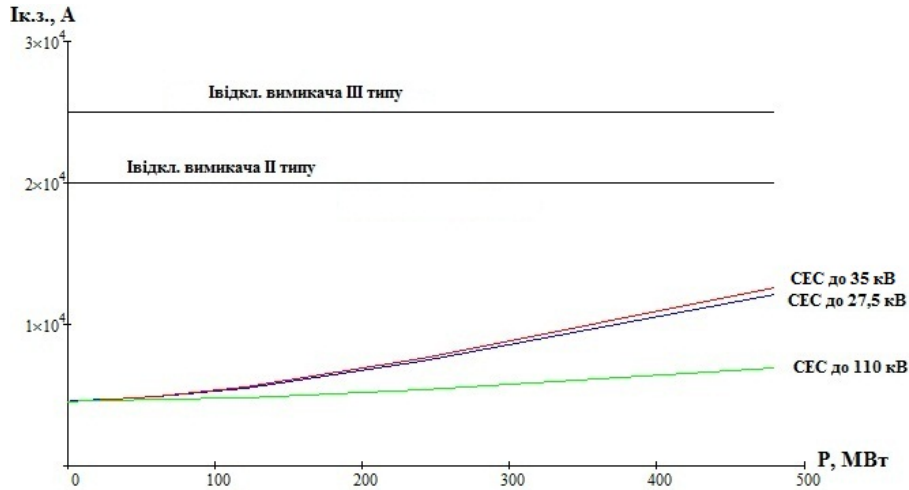


Рис. 5. Графік залежності зміни струму к.з. на шинах 35 кВ підстанції змінного струму, при збільшенні потужності СЕС, підключеної до шин різної напруги

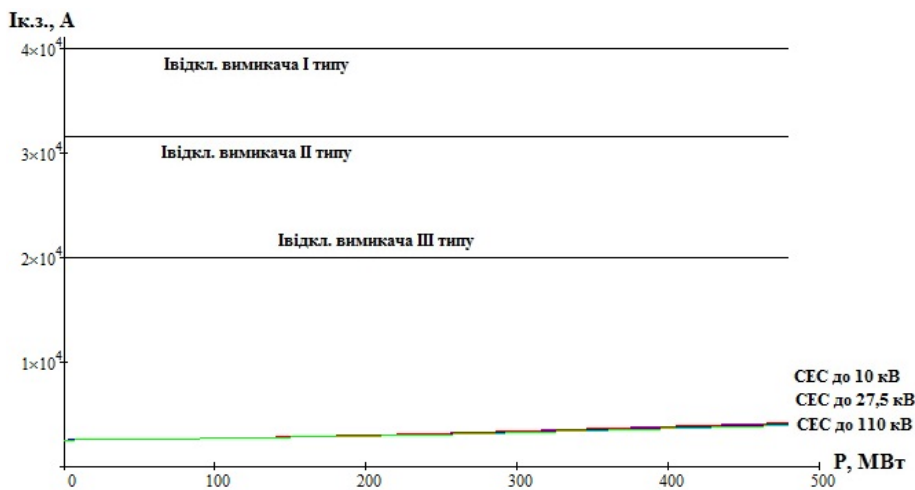


Рис. 6. Графік залежності зміни струму к.з. на шинах 110 кВ підстанції змінного струму, при збільшенні потужності СЕС, підключеної до шин різної напруги

Для визначення термічної та динамічної стійкості встановлених вимикачів проведемо аналіз зміни трифазних та двофазних струмів к.з. у відсотках на шинах високої, середньої та

низької напруги в залежності від збільшення потужності встановленої СЕС на підстанції постійного струму.

Таблиця 5

Аналіз збільшення струму к.з. на шинах 10 кВ підстанції постійного струму при приєднанні СЕС

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт					
	4,1	30,1	60,1	120,1	240,1	480,1
Струми трифазного к.з., %						
10 кВ	0,519	5,914	14,829	33,101	56,877	76,019
35 кВ	0,436	4,325	10,447	24,268	46,426	68,249
110 кВ	0,414	5,429	12,07	25,249	44,519	62,166
Струми двофазного к.з., %						
10 кВ	0,516	5,917	14,829	33,098	56,893	78,593
35 кВ	0,419	4,309	10,441	24,259	46,414	68,244
110 кВ	0,43	5,407	12,078	25,242	44,51	62,166

Таблиця 6

**Аналіз збільшення струму к.з. на шинах 35 кВ підстанції постійного струму
при приєднанні СЕС**

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт					
	15	30	60	120	240	480
Струми трифазного к.з., %						
10 кВ	1,869	4,324	10,426	24,107	46,043	67,725
35 кВ	2,072	4,694	11,064	25,007	46,962	68,548
110 кВ	1,308	2,744	5,761	12,331	25,319	44,835
Струми двофазного к.з., %						
10 кВ	1,868	4,333	10,437	24,113	46,032	67,728
35 кВ	2,063	4,697	11,053	24,992	46,962	68,544
110 кВ	1,267	2,736	5,724	12,332	25,295	44,826

Таблиця 7

**Аналіз збільшення струму к.з. на шинах 110 кВ підстанції постійного струму
при приєднанні СЕС**

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт					
	15	30	60	120	240	480
Струми трифазного к.з., %						
10 кВ	1,216	2,486	5,165	10,824	22,077	40,173
35 кВ	1,224	2,523	5,218	10,942	22,317	40,563
110 кВ	1,273	2,633	5,466	11,39	23,121	41,876
Струми двофазного к.з., %						
10 кВ	1,223	2,479	5,14	10,828	22,077	40,174
35 кВ	1,206	2,503	5,188	10,911	22,302	40,555
110 кВ	1,28	2,619	5,45	11,404	23,117	41,876

Знаючи величини струмів к.з. та залежність їх зміни від величини встановленої СЕС, проведемо перевірку встановлених вимикачів

на термічну стійкість. Для цього скористаємося формулами (3) та (4) і зведемо всі дані до таблиць 4-6.

Таблиця 8

**Результати розрахунків теплового імпульсу струмів к.з. при приєднанні СЕС
до шин 10 кВ тягової підстанції постійного струму**

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт						
	0	4.1	30.1	60.1	120.1	240.1	480.1
Тепловий імпульс струмів к.з., кА ² сек							
10 кВ	50	50,57	56,54	68,9	111,82	269,14	870,31
35 кВ	7,9	7,97	8,63	9,85	13,77	27,5	78,36
110 кВ	11,85	11,95	13,25	15,32	21,2	38,49	82,76

Таблиця 9

**Результати розрахунків теплового імпульсу струмів к.з. при приєднанні СЕС
до шин 35 кВ тягової підстанції постійного струму**

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт						
	0	15	30	60	120	240	480
Тепловий імпульс струмів к.з., кА ² сек							
10 кВ	51,98	53,98	56,8	64,78	90,25	178,54	499
35 кВ	7,9	8,23	8,68	9,97	14,03	28,1	80,3
110 кВ	11,2	11,5	11,86	12,63	14,6	20,11	36,85

Таблиця 10

Результати розрахунків теплового імпульсу струмів к.з. при приєднанні СЕС до шин 110 кВ тягової підстанції постійного струму

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт						
	0	15	30	60	120	240	480
Тепловий імпульс струмів к.з., кА ² сек							
10 кВ	50	51,3	52,63	55,65	62,9	82,42	139,8
35 кВ	7,9	8,1	8,3	8,8	9,96	13,09	22,4
110 кВ	11,85	12,16	12,5	13,26	15,1	20,05	35,07

Для перевірки встановлених вимикачів на динамічну стійкість скористаємось умовою (5). Але в нашому випадку достатньо провести перевірку лише за однією умовою, оскільки для

нашої системи $k_y = 1,8$. Тому зробимо розрахунок лише ударного струму і зведемо отримані дані до таблиць.

Таблиця 11

Результати розрахунків ударних струмів при приєднанні СЕС до шин 10 кВ тягової підстанції постійного струму

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт						
	0	4.1	30.1	60.1	120.1	240.1	480.1
Ударні струми, кА							
10 кВ	17,6	17,7	18,7	20,7	26,3	40,8	73,4
35 кВ	6,99	7,02	7,3	7,8	9,24	13,01	22,03
110 кВ	6,13	6,16	6,5	6,97	8,2	11,05	16,2

Таблиця 12

Результати розрахунків ударних струмів при приєднанні СЕС до шин 35 кВ тягової підстанції постійного струму

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт						
	0	15	30	60	120	240	480
Ударні струми, кА							
10 кВ	17,94	18,28	18,75	20,03	23,64	33,25	55,6
35 кВ	6,9	7,11	7,33	7,86	9,3	13,18	22,2
110 кВ	5,96	6,04	6,13	6,33	6,8	7,98	10,8

Таблиця 13

Результати розрахунків ударних струмів при приєднанні СЕС до шин 110 кВ тягової підстанції постійного струму

Напруга на шинах	Потужність СЕС, МВт						
	0	15	30	60	120	240	480
Ударні струми, кА							
10 кВ	17,6	17,82	18,05	18,56	19,74	22,6	29,4
35 кВ	6,99	7,08	7,17	7,38	7,8	9,26	11,77
110 кВ	6,13	6,2	6,3	6,5	7	7,97	10,55

Висновки

При приєднанні СЕС до шин 110, 35, 10 та 27,5 кВ різної потужності підстанцій постійного і змінного струму необхідно зробити повторні перевірки вимикачів на спрацювання за струмами к.з. та перевірку на термічну і електродинамічну стійкість. Було проведено дослідження вимикаючої здатності

вимикачів тягової підстанції постійного та змінного струму. По розрахованих даних струмів к.з. при приєднанні СЕС до шин різної потужності можна стверджувати, що максимальна потужність приєднаної СЕС для шин 10 кВ (при паралельній роботі з тяговим трансформатором, приєднаних до різних секцій шин) не повинна перевищувати 331 МВт, для шин 35 кВ – 440 МВт для підстанції постійного

струму, при номінальному струмі відключення вимикача 2 кА. Для підстанції змінного струму обмежень за потужністю для розрахункового діапазону СЕС до 500 МВт не виявлено. Перевірка за термічною стійкістю встановлених вимикачів показує, що розрахунковий тепловий

імпульс струмів не перевищує каталожних даних встановлених вимикачів. Перевірка за електродинамічною стійкістю встановлених вимикачів показує, що при встановленні СЕС до шин 10 та 35 кВ ударні струми при потужності СЕС вище 400 МВт вище каталожних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jason P. Determining the sustainability of large-scale photovoltaic solar power plants / P. Jason // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* / vol. 27, 2013. - pp. 435-444.
2. Усов С.В. Электрическая часть электростанций / Под ред. С.В. Усова // Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 616 с.
3. Сиченко В.Г. Аналіз впливу сонячної генерації на роботу тягових підстанцій електрифікованих залізниць / Сиченко В.Г., Бондар О.І., Прихода М.С. // *Світлотехніка та електроенергетика* №1(41). 2015. - 10-17 с.
4. Правила улаштування електроустановок. Четверте видання, перероблене й доповнене - Х.: Вид-во «Форт», 2011.— 736 с.
5. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б.Н. Неклепаева. - М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2001. -152 с.
6. Ленков Ю.А. Выбор коммутационных аппаратов и токоведущих частей распределительных устройств электрических станций и подстанций. Учебное пособие./ Ленков Ю.А., Хожин Г.Х. – Павлодар: ПГУ, 2002. – 210 с.

Надійшла до друку 12.05.2015.

Внутрішній рецензент Сиченко В. Г.

REFERENCES

1. Jason P. Determining the sustainability of large-scale photovoltaic solar power plants / P. Jason // *Renewable and Sustainable Energy Reviews* / vol. 27, 2013. - pp. 435-444.
2. Usov S.V. Elektricheskaya chast elektrostantsiy [*Electrical power*] / Pod red. S.V. Usova. - L.: Energoatomizdat, 1987. - 616 p.
3. Sichenko V.G. Anallz vplivu sonyachnoYi generatsiyi na robotu tyagovih pldstantsiy elektrifikovanih zaliznits [*Analysis of the impact of solar generation in the work of traction substations of electrified railways*]./ Sichenko V.G., Bondar O.I., Prikhoda Svltlotehnlka ta elektroenergetika #1(41). 2015. - 10-17 pp.
4. Pravila ulashtuvannya elektroustanovok [*Rules for Electrical Installation*]. Chetverte vidannya, pereroblene y dopovnene - H.: Vid-vo «Fort», 2011.— 736 p.
5. Rukovodyaschie ukazaniya po raschetu tokov korotkogo zamyikaniya i vyiboru elektrooborudovaniya [*Guidelines for the calculation of short circuit current and the choice of electrical equipment*]/Pod red. B.N. Neklepaeva.-M.:Izd-vo NTs ENAS, 2001. -152 p.
6. Lenkov Yu.A. Vyibor kommutatsionnyih apparatov i tokoveduschih chastey raspredelitelnyih ustroystv elektricheskikh stantsiy i podstantsiy. [*The choice of switching devices and live parts of electrical switching stations and substations*] / Lenkov Yu.A., Hozhin G.H. Uchebnoe posobie. – Pavlodar: PGU, 2002. – 210 p.

Зовнішній рецензент Денисюк С. П.

Дослідження вмикаючої здатності вимикачів тягових підстанцій при приєднанні СЕС та перевірка вже встановлених вимикачів на термічну та динамічну стійкість. Для вирішення поставленого завдання були використані основні рівняння стійкості вимикачів. Оцінка вмикаючої здатності обладнання здійснювалася в результаті аналізу розрахунків струмів короткого замикання підстанції. Внаслідок проведених досліджень було проведено розрахунок та проаналізовано термічну та динамічну стійкість вимикачів та надано висновки по спрацюванню вимикачів та максимальної потужності можливої приєднаної СЕС. Вперше проводилося дослідження вмикаючої здатності вимикачів тягових підстанцій при приєднанні СЕС до шин 10, 35, 110 та 27,5 кВ тягової підстанції.

Ключові слова: сонячна електростанція, електрифіковані залізниці, тягова підстанція, високовольтні вимикачі, термічна стійкість, динамічна стійкість, струми короткого замикання.

УДК 621.331.3

М.С. ПРИХОДА (ДНУЖТ)

Кафедра «Електроснабження залізничних доріг», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 11, ел. пошта: ms_estimate@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-4122-3193

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛЮЧАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ПРИ ПРИСОЕДИНЕНИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Исследования отключающей способности выключателей тяговых подстанций при присоединении СЭС и проверка уже установленных выключателей на термическую и динамическую устойчивость. Для решения поставленной задачи были использованы основные уравнения устойчивости выключателей. Оценка отключающей способности оборудования осуществлялась в результате анализа расчетов токов короткого замыкания подстанции. Вследствие проведенных исследований был проведен расчет и проанализированы термическую и динамическую устойчивость выключателей и предоставлены выводы по срабатыванию выключателей и максимальной мощности возможной присоединенной СЭС. Впервые проводилось исследование отключающей способности выключателей тяговых подстанций при присоединении СЭС к шинам 10, 35, 110 и 27,5 кВ тяговой подстанции.

Ключевые слова: солнечная электростанция, электрифицированные железные дороги, тяговая подстанция, высоковольтные выключатели, термическая устойчивость, динамическая устойчивость, токи короткого замыкания.

Внутренний рецензент *Сыченко В. Г.*

Внешний рецензент *Денисюк С. П.*

UDC 621.331.3

M. PRIKHODA (DNURT)

Department of Power supply of railways, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazarian Street. Lazarian, 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, Tel. +38 (056) 793 19 11, e-mail: ms_estimate@mail.ru, ORCID: orcid.org/0000-0002-4122-3193

STUDYING OF THE BREAKING CAPACITY OF SWITCHING EQUIPMENT OF TRACTION SUBSTATION UPON ACCESSION SOLAR POWER STATION

The breaking capacity of switch of traction substation upon accession solar power station will be studied. The existing switches will be checked for thermal and dynamic stability. Basic equations of stability switches were used for solving this problem. Estimation of the equipment breaking capacity was done like a result of the analyze of the calculation of short-circuit currents. As a result of the research, calculating and analyze of the thermal and dynamic stability of switches were done. Conclusions as compared of switches and the maximum power of the accession solar power station were received. The studying of the breaking capacity of switches of traction substations upon accession solar power station to the busline 10, 35, 110 and 27.5 kV of the traction substation was done for the first time.

Keywords: solar power; electrified railways; traction substations; high-voltage switches; thermal stability; dynamic stability; short circuit currents.

Internal reviewer *Sichenko V. G.*

External reviewer *Denisyuk S. P.*