

Валентин Власюк

аспірант

*Криворізький національний університет (Кривий Ріг, Україна)*E-mail: Email_Valentin@ua.fm. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3202-8967>

МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ ТА АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДІЛЬНИЧНОЇ ПІДЗЕМНОЇ ПІДСТАНЦІЇ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШАХТИ

Метою статті є практичне визначення можливостей для моделювання статичних і динамічних аварійних режимів роботи для дільничної підземної підстанції, що функціонує на залізорудній шахті. Запропонована та обґрунтована модель двох обмоткового трансформатора в середовищі Matlab Simulink R2020b. Комп'ютерне моделювання за допомогою програмного засобу Matlab Simulink R2020b дозволяє використати більші можливості для розрахунку системи електропостачання дільничної підземної підстанції, та удосконалити існуючу модель електропостачання дільничної підземної підстанції у статичних та динамічних режимах її функціонування.

Ключові слова: дільнична підстанція; залізорудна шахта; електропостачання; статичні й динамічні режими; комп'ютерне моделювання.

Рис. 5. Табл. 2. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Статичні й динамічні режими роботи дільничної підземної підстанції залізорудної шахти є невід'ємною частиною у функціонуванні її електроенергетичної системи. Від коректності роботи систем захисту й переходів від аварійних та нормальних режимів функціонування залежить її працездатність. Для її удосконалення необхідне проведення моделювання статичних та динамічних аварійних режимів її функціонування та проведення аналізу рівнів споживання електроенергії.

Постановка проблеми. Отримати функціонуючі моделі для статичних та динамічних режимів роботи ДПП залізорудних шахт. Отримання максимально реалістичних значень рівнів потужностей для кожних: статичного та динамічного аварійних режимів роботи дільничної підземної підстанції.

Оцінювання рівнів енергоефективності функціонування дільничних підземних підстанцій (ДПП) залізорудних шахт та вибір шляхів для покращення вищезгаданого показника доступно повною мірою шляхом моделювання процесу їх функціонування на основі реальних вхідних параметрів для розбудови алгоритму пошуку. Втілити цю ідею можливо за допомогою сучасного засобу візуального та математичного моделювання Matlab Simulink R2020b.

Для підземних електричних мереж, у яких одночасно експлуатується декілька ДПП з різними і непрогнозованими рівнями навантаження, ця проблема непроста для вирішення.

Задача, що покладена аналіз споживання електроенергії під час роботи дільничної підземної підстанції є головною, яку треба вирішити під час розроблення енергоефективної електричної мережі.

Провести аналіз результатів моделювання та порівняти результати моделювання з параметрами реально існуючої мережі електропостачання дільничної підземної підстанції.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Моделюванню та дослідженню статичних й динамічних режимів функціонування трансформаторних підстанцій у сьогоденні є низка публікацій. Водночас дані публікації не надають більш детального й належного проведення аналізу рівнів споживання у статичних та динамічних режимах, їх функціонування. Слід відмітити, що це не дозволяє у повній мірі реалізувати детальний розрахунок та аналіз якості споживання електроенергії, але і провокує створення негативних явищ – у вигляді виходу з ладу комутуючого обладнання й самої дільничної підземної підстанції. Так у роботах [3; 5; 7; 9; 10] було показано наступне: проведено дослідження негативності впливу електромагнітних полів ліній електропередач на рівні напруг 176/220 кВ та практичне вирішення цієї задачі, реалізованого за допомогою комп'ютерного моделювання, у результаті проведеного дослідження були отримані потенціальні можливості по зниженню впливів магнітних на ЛЕП в обсязі 40–80 %; виконаний аналіз проблеми не

ефективності функціонування на низьких рівнях завантаженості трансформатора на розподільчих мережах та розроблені заходи стосовно її підвищення та забезпечення ефективності функціонування даного електроустановлення; було встановлено діапазони граничних значень коефіцієнтів завантажень, при котрих є необхідність заміни трансформаторів у залежності від їхнього початкового рівня завантаженості та відповідної кількості годин для максимального навантаження та наведені вимоги, щодо резервування необхідних рівнів потужності для споживачів; наведена методика по реалізації компенсації реактивної потужності для електричних мереж та наведено відповідну методику для оцінювання ефективності передачі ЕЕ від джерела до навантаження за рахунок миттєвого показника потужностей, що розрахований на основі вимірних значень струму й напруги мережі; показано актуальність для впровадження компенсації залишкової реактивної потужності, яка виникає внаслідок появи нестационарного струму мережі, а також показано що при впровадженні додаткового компенсатора є можливим досягнення коефіцієнту потужності, котрий є близьким до 1 при невеликому збільшенні загально-встановленої потужності системи компенсації та адаптування його до наявних пульсацій струму у загальному компенсуючому пристрої.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведено аналіз рівнів споживання за потужностями: P , Q , S для статичних й аварійних режимів роботи ДПП. Використання результатів роботи дасть можливість для виконання аналізу перехідних режимів між статичними та динамічними (аварійними) режимами роботи енергосистеми залізничної шахти, що у подальшій перспективі дозволить знизити витрати на електроенергію споживану дільничною підземною підстанцією шахти, а також знизить час та вартість готового електрообладнання на проектування нових навантажень на енергосистему, а також втілити у життя інтелектуальну електричну мережу з керованими автоматизованими пристроями в режимі реального часу.

Мета статті. Метою цієї статті є відображення практичного визначення можливостей для моделювання статичних й динамічних аварійних режимів роботи. А саме: робота трансформатора для сталого режиму його функціонування, та режиму короткого замикання як один з аварійних режимів для дільничної підземної підстанції, що функціонує на залізничній шахті.

Виклад основного матеріалу. Вирішення задач пов'язаних із моделюванням статичних та динамічних режимів (номінальний режим функціонування та режим короткого замикання трансформатора) ця розробка пов'язана з виконанням їх комп'ютерного моделювання та використанням потужних сучасних програмних засобів, як, наприклад, Matlab Simulink R2020b.

У якості дослідного зразка узято типовий шахтний трансформатор ТСШВП100/6/0,4.

При цьому слід прийняти номінальні технічні характеристики вищенаведеного трансформатора з наступними допущеннями, що використовуємо для математичних моделей та віртуальної моделі системи електропостачання дільничної підземної підстанції залізничної шахти, тобто: електричні параметри первинної обмотки та наведені параметри вторинної обмотки прийнято рівними, при розрахунку номінального струму виключено вплив струму намагнічування, для холостого ходу ЕРС та напруга первинної обмотки є рівними один одному [1].

Зведемо основні технічні характеристики трансформатора в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технологічні параметри шахтного трансформатора ДПП

Тип	$S_{2н}$, кВА	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, кВ	P_{xx} , кВт	P_k , кВт	I_{xx} , %	u_k , %
ТСШВП	100	10	0,4	0,55	1,14	1,6	2,8

де $S_{2н}$ – є номінальною потужністю трансформатора; $U_{1н}$ та $U_{2н}$ – відповідно номінальні параметри для вищої та нижчої сторін напруги трансформатора.

Враховуючи усі прийняті допущення для створеної математичної моделі типового шахтного трансформатора ТСШВП100/6/0,4 на основі методики розрахунків [2-4], отримуємо:

Для побудови таблиці 2 знаходимо електричні параметри на основі даних з таблиці 1 при чому додатково знаходимо активні опори й індуктивності розсіювання обмоток трансформатора, котрий застосовується у ДПП з урахуванням параметрів намагнічування вітки.

Таблиця 2 – Вхідні технічні та експлуатаційні параметри шахтного трансформатора ДПП

№ з/п	Назва параметра	Величина	Одиниці вимірювання
1	номінальний фазний струм первинної обмотки трансформатора	5,774	А
2	повний опір короткого замикання	28	Ом
3	активна складова повного опору короткого замикання	12	Ом
4	активний опір первинної обмотки та приведений активний опір вторинної	6	Ом
5	коефіцієнт трансформації	25	-
6	активний опір вторинної обмотки	0,01	Ом
7	реактивний опір короткого замикання	25,298	Ом
8	індуктивність розсіювання первинної обмотки та приведена індуктивність розсіювання вторинної обмотки	$8,05 \cdot 10^{-2}$	Гн
9	індуктивність розсіювання вторинної обмотки	$1,29 \cdot 10^{-4}$	Гн
10	активний опір паралельного ланцюга намагнічуючого контуру схеми заміщення	181,82	кОм
11	активна складова струму холостого ходу	0,032	А
12	струм холостого ходу	0,092	А
13	намагнічувальна складова струму холостого ходу	0,086	А
14	взаємна індуктивність обмоток	213,693	Гн
15	амплітудне значення фазної напруги для первинної обмотки трансформатора	150	В
16	амплітудне значення фазної напруги для вторинної обмотки трансформатора	326	В
17	аварійний режим короткого замикання енергосистеми ДПП залізорудної шахти	447,75	В

На наступних етапах виконано безпосередньо моделювання та введення розрахованих параметрів енергетичної системи дільничної підземної підстанції залізорудної шахти безпосередньо в середовище Matlab Simulink R2020b.

Для побудови функціонуючих моделей ДПП для номінального режиму функціонування та режиму короткого замикання відповідно дані таблиць 1 та 2, вносяться у саму модель: у розрахункові блоки AC Voltage Source (рис. 1, б) та Linear Transformer (рис. 1, а) [5-10].

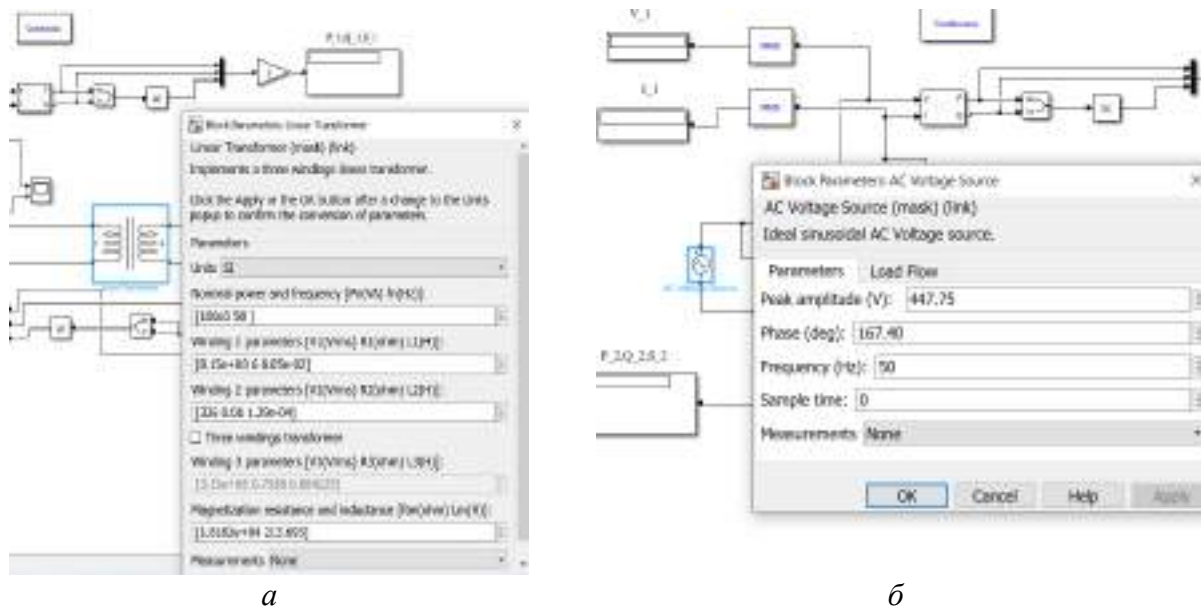


Рис. 1. Розрахункові блоки (з внесеними технічними параметрами) для математичної моделі ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2020b близької до номінального режиму споживання ЕЕ за нормальних умов її функціонування

Згідно з введеними раніше виконаними етапами та номінальними параметрами математична модель енергетичної системи дільничної підземної підстанції залізорудної шахти буде мати такий вид (рис. 2):

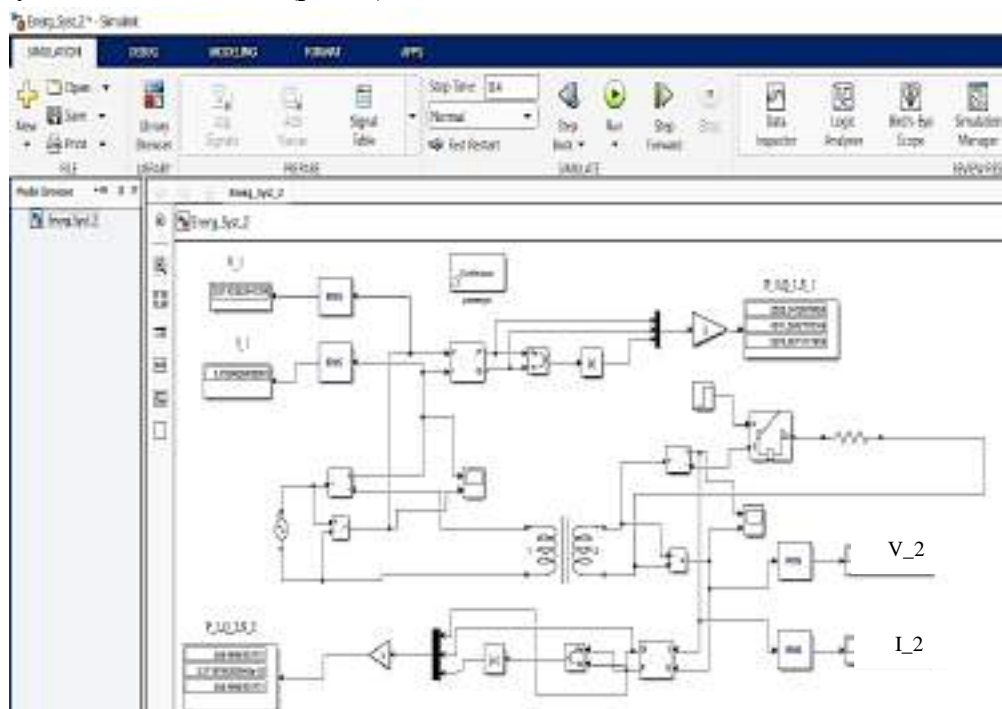


Рис. 2. Аналітично-математична модель ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2020b близька до номінального режиму споживання ЕЕ за нормальних умов її функціонування

Для виконання аналітично-математичної моделі ДПП залізорудної шахти (рис. 2) у блоці Step встановлено параметр часу на рівні 0,4 с, також внесено у вікно параметра AC Voltage Source амплітудне значення фазної напруги $\sqrt{2}U_1/\sqrt{3}$ та частоту промислової мережі 50 Гц. У вікно параметра Resistance вносяться значення опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10 % від попереднього його значення (збільшення на 18,18 кОм).

При цьому точність обрахунку моделі встановлена на рівні 10^{-6} . Саме ці показники необхідні для моделювання для виконання цієї моделі, що є близькою до номінального режиму споживання ЕЕ за умови нормального її функціонування.

Для подальшого аналізу споживання електроенергії на основі споживаних потужностей (P, Q, S) підземною підстанцією залізорудної шахти проведемо декілька дослідів з різними коефіцієнтами завантаження та побудуємо графіки зміни цих параметрів.

Як видно з графіка рис. 3 та рис. 2 ця модель показує рівні споживання ЕЕ дільничною підземною підстанцією ЕЕ за трьома параметрами потужності: активної, реактивної та повної при умові номінального режиму роботи та динамічної зміни навантаження (0,1 – 0,75 K_3) від її максимуму.

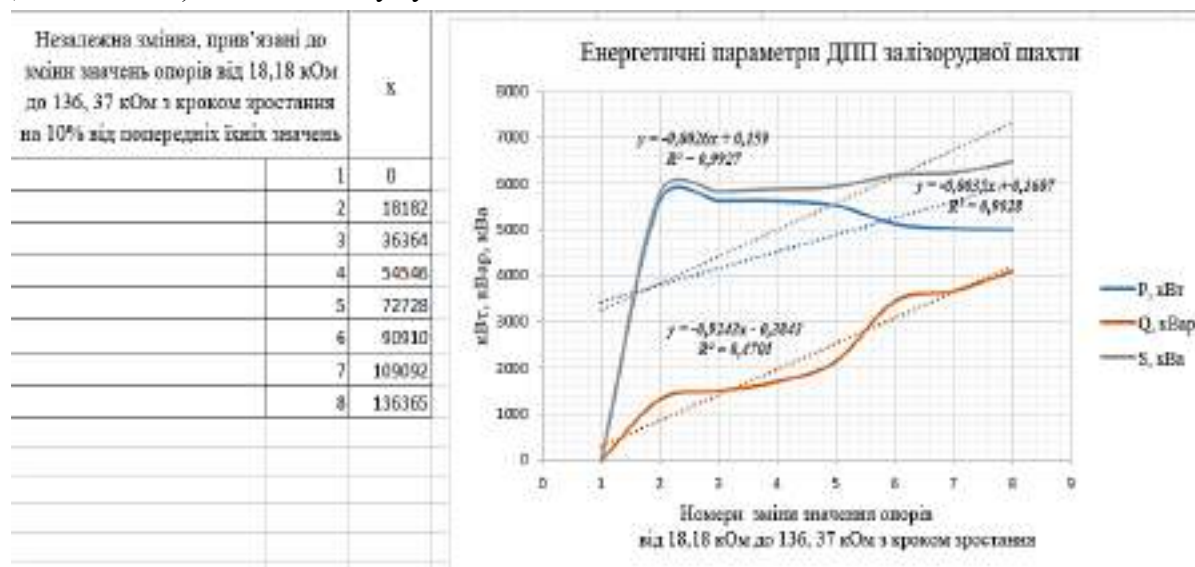


Рис. 3 Динаміка зміни споживаних потужностей підземною підстанцією залізорудної шахти близької до номінального режиму

Відповідно синім, червоним та салатовим кольорами позначено потужності: активна, реактивна та повна.

Рівняння: $y = -0,0035x + 0,1607$, $y = -0,0026x + 0,159$ та $y = -0,9243x - 0,3843$ є рівняннями регресії для динамічних змін потужностей активної, реактивної та повної (P, Q, S; кВт, кВар, кВа) підземною підстанцією залізорудної шахти, котра працює у режимі близькому до номінального, а значення: $R^2 = 0,9028$, $R^2 = 0,9927$, $R^2 = 0,4701$ – це довірчі інтервали обрховані за методикою Стьюдента.

Для кожного з рівнянь наведених вище параметри та змінні позначаються наступним чином: x – незалежна змінна, y – залежна від величини x змінна та ставиться у відповідність до кожної з потужностей: активної (P, кВт), реактивної (Q, кВар) та повної (S, кВа), а для значення x – незалежні змінні (прив'язані до зміни значень опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10% від попередніх їхніх значень).

Рівняння $y = -0,0035x + 0,1607$ та $R^2 = 0,9028$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню активної потужності P, кВт.

Рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню реактивної потужності Q, кВар.

Рівняння $y = -0,0026x + 0,159$ та $R^2 = 0,9927$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню повної потужності S, кВа.

Дані рівняння для аналітично-математичної моделі ДПП залізорудної шахти близької до номінального режиму функціонування показують адекватність її функціонування, оскільки:

Для активної потужності (P , кВт) – оскільки $R^2 > 0,7$ та < 1 , то цей кореляційний зв'язок є сильним, для повної потужності (S , кВа) – є також сильним, тому що $R^2 > 0,7$ та < 1 , але для реактивної потужності (Q , кВар) - $0,3 < R^2 \leq 0,7$ – цей зв'язок є середньої сили.

Середньої сили зв'язок для рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – пояснюється незначними змінами величини реактивної потужності (Q , кВар) від певного її значення або стабілізації її на певному значенні в межах статистичної похибки не більше ніж 5–10 % для трифазної системи живлення ДПП залізорудної шахти.

Слід також відмітити, що даний результат отриманий на рис. 3 є типовим для режиму близького до номінального режиму – є свідченням відмінної збіжності матмоделі ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2021b [11; 12].

Для моделювання динамічного аварійного режиму функціонування дільничної підземної підстанції залізорудної шахти створимо іншу аналітично-математичну модель у середовищі Matlab Simulink 2020b.

Для виконання аналітично – математичної моделі ДПП залізорудної шахти (див. рис. 4) у блоці Step встановлено параметр часу на рівні 0,4 с. Для вікна параметру AC Voltage Source внесено амплітудне значення фазної напруги знижено до рівня $\sqrt{2}U_1/\sqrt{3} \cdot 0,055$ та частота мережі 50 Гц. Для вікна параметрів Resistance вносяться значення опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10% від попереднього його значення (збільшення на 18,18 кОм). Для цього доповнюємо дану модель ще блоком Resistance1, де змінюємо його внутрішній опір на рівень 10^{-12} Ом. При цьому точність обрахунку даної моделі встановлюємо на рівні 10^{-8} .

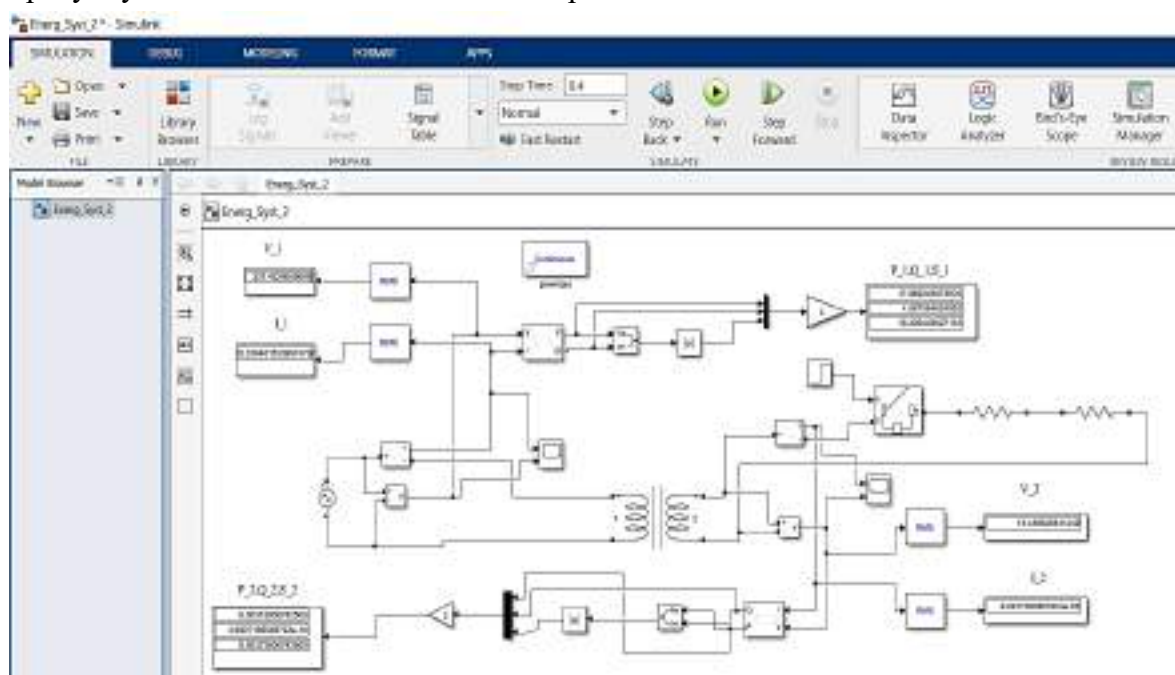


Рис. 4. Матмоделі ДПП залізорудної шахти в середовищі Matlab Simulink 2021b близька до режиму короткого замикання та споживання ЕЕ за аварійних умов її функціонування

Це необхідно для моделювання для виконання даної моделі, що є близькою до режиму короткого замикання та споживання ЕЕ нею для аварійних умов її функціонування.

Для подальшого аналізу споживання електроенергії на основі споживаних потужностей (P , Q , S) підземною підстанцією залізорудної шахти проведемо декілька дослідів (які є аналогічними для режиму нормально функціонування ДПП залізорудної шахти) з різними коефіцієнтами завантаження та побудуємо графіки зміни цих параметрів (рис. 5).

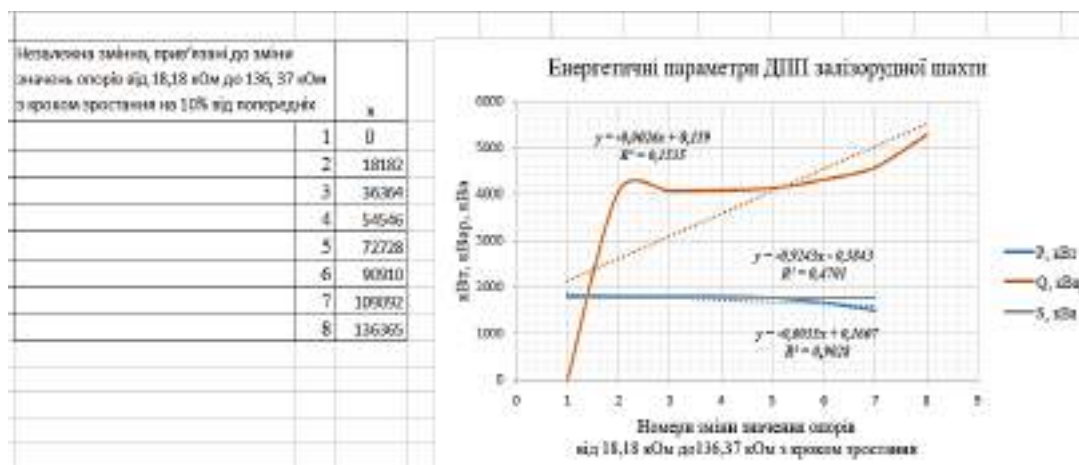


Рис. 5. Динаміка зміни споживаних потужностей ДПП залізорудної шахти для аварійного режиму короткого замикання

Відповідно синім, червоним та салативим кольорами позначено потужності: активна, реактивна та повна.

Рівняння: $y = -0,035x + 0,1607$, $y = -0,026x + 0,159$ та $y = -0,9243x - 0,3843$ є рівняннями регресії для динамічних змін потужностей (активної, реактивної та повної) підземною підстанцією залізорудної шахти, котра працює у режимі близькому до режиму короткого замикання, а значення: $R^2 = 0,9028$, $R^2 = 0,4701$, $R^2 = 0,1535$ – це коефіцієнти кореляції для кожного з типів потужностей.

Для кожного з рівнянь наведених вище параметри та змінні позначаються наступним чином: x – незалежна змінна, y – залежна від величини x змінна та ставиться у відповідність кожній з потужностей: активної (P, кВт), реактивної (Q, кВар) та повної (S, кВа), а для значення x – незалежні змінні (прив'язані до зміни значень опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10% від попередніх їхніх значень).

Рівняння $y = -0,035x + 0,1607$ та $R^2 = 0,9028$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню активної потужності P, кВт.

Рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню реактивної потужності S, кВар.

Рівняння $y = -0,026x + 0,159$ та $R^2 = 0,1535$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню повної потужності Q, кВа.

Для активної потужності (P, кВт) – оскільки $R^2 > 0,7$ та < 1 , то цей кореляційний зв'язок є сильним, для повної потужності (S, кВа) – є також середнім, тому що $0,3 < R^2 \leq 0,7$, але для реактивної потужності (Q, кВар) – $0 < R^2 \leq 0,3$ – цей зв'язок є слабкої сили.

Слабкої сили зв'язок для рівняння $y = -0,026x + 0,159$ та $R^2 = 0,1535$ – пояснюється значними змінами величини реактивної потужності (Q, кВар) в тому числі й від'ємними від певного її значення дана картина є типовою для режиму короткого замикання однієї або декількох фаз для трифазної системи живлення ДПП залізорудної шахти.

Середньої сили зв'язок для рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – можна пояснити негативним впливом короткого замикання на фазі підземної підстанції залізорудної шахти.

Слід також зауважити, що цей результат отриманий на рис. 5 є типовим для режиму короткого замикання – є свідченням доброї збіжності матмоделі ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2021b [11; 12].

Порівнявши між собою рис. 3 та рис.5 бачимо спади споживання активної та повної потужності дільничної підземної підстанції в 2-4 рази в порівнянні з динамікою споживання даних потужностей у номінальному режимі її функціонування, натомість відбувається різке збільшення віддачі реактивної потужності (становить $1,3 - 3,1 Q_{\text{норрежфунк}}$) ДПП у енергосистему залізорудної шахти, що своєю чергою скоротить термін її експлуатації з 10-20 років до 5-8 років.

Висновки. Виконані в цій статті математичні моделі енергосистеми ДПП залізорудної системи демонструють широкі й гнучкі можливості математичного моделювання процесів у енергосистемі й дозволить знизити час на проектування та витрати на розроблення їх прототипів.

У майбутньому це створить нові можливості для проведення моделювання для виконання аналізу перехідних режимів між статичними та динамічними (аварійними) режимами роботи енергосистеми залізорудної шахти, що в подальшому дозволить знизити витрати на електроенергію споживану дільничною підземною підстанцією шахти.

Це дозволить знизити час та вартість готового електрообладнання на проектування нових навантажень на енергосистему, а також втілити у життя інтелектуальну електричну мережу з керованими автоматизованими пристроями у режимі реального часу.

Список використаних джерел

1. Електрифікація гірничого виробництва : підручник для ВНЗ: у 2 т. – Вид. 2-ге перероб. та допов. / за ред. Л. О. Пучкова і Г. Г. Півняка. – Д. : Національний гірничий університет, 2010. – Т. 1. – 503 с.
2. Моркун В. С. Електропостачання і електроустаткування гірничих підприємств : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В. С. Моркун. – Кривий Ріг : Мінерал, 2005. – 269 с.
3. Tang Yi. A complete set of automatic compensation equipment of a capacitive charging current in the application of a medium-voltage power system / Yi Tang // *Electric Power Systems Research*. – Vol. 41. – 1997. – Pp 35-41.
4. Mathworks [Elecronic resource]. – Accessed mode: https://www.mathworks.com/solutions.html?s_tid=gn_sol.
5. Луценко І. М. Обґрунтування доцільності переходу до системи обслуговування силових трансформаторів за поточним технічним станом / І. М. Луценко, В. Б. Калінніков // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників - 2011». – Дніпропетровськ, 2011. – Т. 4. – С. 75–79.
6. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання : навч. посіб. / Г. Г. Півняк, Г. А. Кігель, Н. С. Волотковська ; за ред. акад. Г. Г. Півняка. – 3-тє вид., перероб. і доп. – Д. : Національний гірничий університет, 2006. – 216 с.
7. Підвищення точності вибору та ефективності використання силових трансформаторів розподільчих мереж / І. М. Луценко, Є. В. Кошеленко, П. С. Циган // *Вісник КрНУ*. – 2017. – Вип. 5/2017 (106). – С. 14-20.
8. Хоменко, О. В. Математичні задачі енергетики. Моделювання і аналіз усталених режимів роботи електричних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. В. Хоменко. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 109 с.
9. Жуйков В. І. Особливості компенсації миттєвої реактивної потужності в лінійних ланцюгах у перехідному режимі при вмиканні навантаження / В. І. Жуйков // *Електроніка та зв'язок*. – 2017. – № 22 (4). – С. 30-37.
10. Zhuikov V. J. Reactive power compensation approach with dynamic mode of load current / V. J. Zhuikov, I. V. Verbytskyi, A. G. Kyselova // *Technical Electrodynamics*. – 2018. – № 4. – Pp. 47-52. – DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.047>.
11. Липовик В. В. Математичний аналіз : навчальний посібник / В. В. Липовик, О. В. Максимов. – Кривий Ріг : 2010. – 197 с.
12. Липовик В. В. Вища математика : Навчальний посібник / В. В. Липовик. – Кривий Ріг, 2010. – 283 с.

References

1. Puchkova, L.O., & Pivniak, H.H. (2010). *Elektryfikatsiia hirnychoho vyrobnytstva [Electrification of mining production]* (Vol. 1, 2nd ed.). Natsionalnyi hirnychy universytet.
2. Morkun, V.S. (2005). *Elektropostachannia i elektroustatkuvannia hirnychikh pidpriemstv [Electricity supply and electrical equipment of mining enterprises: study guide for students of higher educational institutions]*. Mineral.
3. Tang, Yi. (1997). A complete set of automatic compensation equipment of a capacitive charging current in the application of a medium-voltage power system. *Electric Power Systems Research*, 41, 35-41.

4. Mathworks. https://www.mathworks.com/solutions.html?s_tid=gn_sol.
5. Lutsenko, I.M., & Kalinnikov, V.B. (2011). Obgruntuvannia dotsilnosti perekhodu do systemy obsluhovuvannia sylovykh transformatoriv za potochnym tekhnichnym stanom [Justification of the feasibility of the transition to the maintenance system of power transformers according to the current technical condition]. *Materialy mizhnarodnoi konferentsii «Forum hirnykiv - 2011» – Materials of the international conference “Miners' Forum – 2011”*, 4, 75–79.
6. Pivniak, H.H. (Ed.), Kihel, H.A., & Volotkovska, N.S. (2006). *Rozrakhunky elektrychnykh merezh system elektropostachannia [Calculations of electrical networks of power supply systems]*. 3rd ed. Natsionalnyi hirnychiy universytet.
7. Lutsenko, I.M., Koshelenko, Ye.V., Tsyhan P.S. (2017). Pidvyshchennia tochnosti vyboru ta efektyvnosti vykorystannia sylovykh transformatoriv rozpodilchykh merezh [Increasing the accuracy of selection and efficiency of use of power transformers of distribution networks]. *Visnyk KrNU – Bulletin KrNU*, 5/2017(106), 14-20.
8. Khomenko, O.V. (2016). *Matematychni zadachi enerhetyky. Modeliuvannia i analiz ustalenykh rezhymiv roboty elektrychnykh system [Mathematical problems of energy. Modeling and analysis of established operating modes of electrical systems]*. NTUU «KPI».
9. Zhuikov, V.I. (2017). Osoblyvosti kompensatsii myttievoi reaktyvnoi potuzhnosti v liniinykh lantsiuhakh u perekhidnomu rezhymi pry vmykanni navantazhennia [Peculiarities of instantaneous reactive power compensation in linear circuits in transient mode when the load is turned on]. *Elektronika ta zviazok – Electronics and communication*, (22(4)), 30-37.
10. Zhuikov, V.J., Verbytskyi, I.V., & Kyselova, A.G. (2018). Reactive power compensation approach with dynamic mode of load current. *Technical Electrodynamics*, (4), 47-52. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.047>.
11. Lypovyk, V.V., & Maksymov, O.V. (2010). *Matematychnyi analiz [Mathematical analysis]*.
12. Lypovyk, V.V. (2010). *Vyshcha matematyka [Higher mathematics]*.

Отримано 24.08.2022

UDC 621.316.9:621.395.14

Valentyn Vlasiuk

PhD student

Kryvyi Rih National University (Kryvyi Rih, Ukraine)

E-mail: Email_Valentin@ua.fm. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3202-8967>

MODELLING OF THE STATIC AND DYNAMIC EMERGENCY MODES AND ANALYSIS OF THE ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF THE SECTIONAL UNDERGROUND SUBSTATION OF THE IRON ORE MINE

Improve the existing model of power supply of the underground substation in static and dynamic modes of its operation and perform simulation of static and dynamic emergency modes of its operation.

The paper is devoted to determining the possibility of modeling static and dynamic emergency modes of operation for a sectional underground substation operating in an iron ore mine. The model of two winding transformers in Matlab Simulink R2020b environment is proposed and justified. Computer simulation with the software Matlab Simulink R2020b allowed using more possibilities to calculate the power supply system of the sectional underground substation.

The following methods were used to solve the problems: theoretical foundations of electrical engineering, electrical machines, power converter technology, mathematical analysis and computational mathematics.

The use of the results of the work will provide opportunities for analysis of transient modes between static and dynamic (emergency) modes of operation of the power system of the iron ore mine, which in the future will reduce the cost of electricity consumed by the underground mine sub-station, as well as reduce the time and cost of finished electrical equipment to design new on the power system, and implement an intelligent power grid with controlled automated devices in real time.

In the future, this will create new opportunities for conducting simulation to analyze transient modes between static and dynamic (emergency) modes of operation of the power system of the iron ore mine, which will further reduce the cost of electricity consumed by the site underground mine substation. This will reduce the time and cost of finished electrical equipment to design new loads on the power system, as well as to implement an intelligent electrical network with controllable automated devices in real time.

Key words: sectional substation; iron ore mine; power supply; static and dynamic modes; computer modeling.

Fig.: 5. Table: 2. References: 12.