

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

**до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

ТЕМА РОБОТИ:

Підвищення надійності режимів роботи електричних мереж постійного струму шляхом впровадження системи контролю стану опору ізоляції

Виконав: студент групи ЕЕМ-20

Іван ХАРЧЕНКО

Керівник випускної роботи _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Нормо контролер _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Декан ЕТФ _____

к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____

к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ХАРЧЕНКО Іван Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Підвищення надійності режимів роботи електричних мереж постійного струму шляхом впровадження системи контролю стану опору ізоляції

1. Термін подання студентом роботи: 10 червня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є підвищення рівня надійності, безпеки та ефективності використання за призначенням шляхом підвищення точності контролю омічного опору ізоляції та забезпечення селективності дії захисту
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Стан проблеми та задачі дослідження; II. Комбінований метод контролю технічного стану ізоляції відносно землі в двопровідних мережах постійного струму.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Аналіз засобів контролю ізоляції в розподільних мережах постійного струму; II. Застосування комбінованого методу контролю ізоляції; III. Вдосконалення методу безперервного контролю омічного опору ізоляції; IV. Функціональна схема селективного контролю ізоляції; V. Визначення похибки системи діагностичного контролю технічного стану ізоляції; VI. Ефективність використання перехідних процесів в РМПС. -

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Олег СІНЧУК		
II	Олег СІНЧУК		
III	Олег СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Загальна характеристика об'єкта дослідження	10.05.24
2	Аналіз існуючих методів і засобів контролю ізоляції	12.05.24
3	Аналіз існуючих пристроїв захисного вимкнення	17.05.24
4	Методи і пристрої пошуку пошкодження	19.05.24
5	Метод безперервного контролю ізоляції	24.05.24
6	Дослідження похибки методу безперервного контролю	26.05.24
7	Теоретичне обґрунтування методу накладання	28.05.24
8	Використання усталених та перехідних процесів	31.05.24
9	Дослідження методичної похибки методів	04.06.24

Дата видання завдання 29.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Іван ХАРЧЕНКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олег СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

Зміст

Вступ.....	5
Розділ 1. Стан проблеми та задачі дослідження	9
1.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження.....	9
1.2. Аналіз існуючих методів і засобів контролю ізоляції в розподільних мережах постійного струму	14
1.3. Аналіз існуючих пристроїв захисного вимкнення	19
1.4. Методи і пристрої пошуку пошкодження в двопровідних мережах постійного струму	23
Розділ 2. Комбінований метод контролю технічного стану ізоляції відносно землі в двопровідних мережах постійного струму	24
2.1. Загальна характеристика комбінованого методу контролю технічного стану ізоляції полюсів відносно землі	24
2.2. Теоретичне обґрунтування методу безперервного контролю омичного опору ізоляції РМПС відносно землі	26
2.3. Метод безперервного контролю ізоляції окремих приєднань РМПС ..	29
2.4. Дослідження похибки методу безперервного контролю омичного опору ізоляції полюсів РМПС відносно землі та окремих приєднань	33
2.5. Теоретичне обґрунтування методу накладання постійного струму різної полярності на контрольовану мережу постійного струму.....	36
2.6. Використання усталених та перехідних процесів в РМПС для періодичного контролю омичних опорів ізоляції полюсів відносно землі..	39
2.7. Дослідження методичної похибки методів періодичного контролю ...	42
Висновки	43

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Виходячи зі стану сучасної енергетики та тенденцій щодо її розвитку слід нагадати що переважна більшість сучасних систем електропостачання базується на використанні джерел змінного струму.

Але наряду з тим існує ціла група відповідальних споживачів що забезпечують умови функціонування промислових установок і механізмів які мають у своєму складі апарати та прилади а також виконавчі елементи розраховані на живлення від мережі що складають джерела постійного струму.

До таких механізмів можна віднести цілий ряд промислового обладнання.

Системи електропостачання з джерелами постійного струму мають ті самі проблеми як і мережі змінного струму.

Виникає необхідність узгодження алгоритмів дії для набуття ефективності використання та безпечності експлуатації представленого обладнання.

Особливостями функціонування таких мереж є певні обмеження за рівнем живлячої напруги.

З тим слід зазначити що статичні характеристики струмових навантажень у таких мережах мають істотні значення що до рівнів струмів та режиму їх роботи.

Розподільчі мережі постійного струму що знаходяться у гірничій та металургійній галузі мають також бути захищені від дії шкідливих факторів що можуть призвести до виходу їх з ладу або частковій руйнації їх

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання яке може бути ушкоджене внаслідок невідповідності режимів роботи.

Наявність двопровідної лінії дещо полегшує виконання розрахунків таких систем.

Але необхідність здійснювати перетворення форми живлячої електричні установки постійного струму напруги ускладнює розуміння вигляду дійсних кривих.

Наявність дводровових ліній таким чином дозволяє використовувати аналітичні залежності що мають місце при однофазних ушкодженнях але при цьому слід враховувати форму спрямленої кривої живлячої напруги системи електропостачання.

На однофазні ушкодження при замиканні живлячого дроту на землю приходить 95% ушкоджень подібних систем.

Цей режим може протікати зі значним виділенням теплової енергії та впливати на роботу системи захисту й супутнього із нею експлуатованого обладнання.

Виявлення та припинення таких режимів є важливим завданням автоматичних систем.

Таму сучасні перетворювальні станції налагоджують на роботу із такими системами /1,2,3/.

Добре себе зарекомендували системи діагностики параметрів мережі живлення.

Такі системи дозволяють у режимі реального часу контролювати стан електричної ізоляції живлячих дротів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виникненні аварійних ситуацій система діагностування попереджує можливі наслідки щодо ушкоджень кабельної лінії та унеможливлення розвитку аварійної ситуації.

Сучасні системи діагностування базуються на поділі процесів контролю та псевдо спрацьовувань.

Режими роботи промислового обладнання мають бути забезпечені безперебійним живленням.

Тому для системи діагностування є важливим не тільки захистити працююче обладнання від коротких замикань на землю але й унеможливити помилкові спрацьовування системи захисту застосовуючи попередню оцінку стану системи електропостачання.

Визначення та контроль опору стану ізоляції може бути здійснено на протязі усього режиму роботи обладнання.

Періодичність вимірів має бути узгоджена із динамікою зміни режимів роботи.

Системи захисту розбудовуються виходячи зі схеми мережі електропостачання.

Аналітичні залежності щодо розрахунку опорів ізоляції складаються на основі цих схем.

Своєчасне виявлення розбіжності стану ізоляції допомагає виявити та попередити виникнення аварійної ситуації у системі електропостачання та зберегти функціональність промислового обладнання у межах технологічного циклу.

Своєчасне виявлення та припинення аварійних режимів, таких як коротке замикання на землю живлячого кабелю, може допомогти

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

удосконалити сучасну систему електропостачання промислових механізмів та підвищити надійність їх роботи.

Сучасні елементи схемотехнічних рішень мають забезпечити швидкодію прийняття рішень та неперервність подібного процесу діагностування.

Системи контролю стану ізоляції мають входити до структури діагностичних комплексів що забезпечують працездатність промислової мережі.

Таким чином реалізується функція регулювання виробничих режимів та забезпечується неперервність та безпечність функціонування подібних систем на практиці.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Стан проблеми та задачі дослідження

1.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження

Розподільчі мережі що мають у своєму складі джерела постійного струму доволі часто використовуються у промислових установках з технологічним обладнанням.

Типовими є електричні установки із параметрами щодо напруги живлення до 3 кВ.

Потужність таких установок може сягати значень 1 МВт та виконувати важливу технологічну роль.

Також слід врахувати наявність різного роду стабілізуючих схем та систем.

Перетворювальні пристрої є найпоширенішим виконанням джерел живлення постійного струму.

Їх промислові зразки мають широкий спектр різновидів та характеристик.

Багато в чому їх функціонування є залежним від режимів роботи технологічного обладнання.

Також значний вплив мають умови експлуатації та технологічні параметри споживачів.

У межах розглянутих завдань слід дотримуватись умов безпечної експлуатації подібних систем.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розділ 1	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>	Харченко І.С.						10	15
<i>Перевірів</i>	Сінчук О.М.							
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>	Сінчук О.М.							
<i>Затвердив</i>	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-20		

Номенклатура напруги живлення ускладнює процес налаштування системи захисту.

Тому важливим є врегулювання усіх параметрів джерела живлення відповідно до напруги споживачів.

$$U_{1(0)} = U \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}; U_{2(0)} = U \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}, \quad (1.1)$$

де C_1, C_2, R_1, R_2 – відповідно, ємність і омичний опір газового включення і тієї частини діелектрика, що залишилась. Якщо виникає канал високої провідності (пробою) - $R_{зам}$ відбувається перерозподіл напруг на ємностях, які в сталому режимі визначимо як

тді напругу джерела можна представити як передатну функцію між джерелом та споживачем.

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_e + R_2}; U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_e}, \quad (1.2)$$

де $R_e = R_1 R_{зам} / (R_1 + R_{зам})$

Тоді значення постійної складової струму можна виділити у вигляді математичного виразу.

$$i_H = U / (R_1 + R_2) \quad (1.3)$$

Тоді струм абсорбції:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

$$i_{\text{абс}} = U \cdot G \cdot \exp(-t/\tau), \quad (1.4)$$

де G - провідність діелектрика струму абсорбції,

$$\tau = \frac{R_2 R_e}{R_2 + R_e} \cdot (C_1 + C_2) - \text{стала часу.}$$

Розглянемо загальний випадок у контурі струму при короткому замиканні.

$$i_B = \frac{U}{R_2 + R_e} + \frac{U_{1(0)} \cdot (C_2 R_e - C_1 R_2 R_e) + U_{2(0)} \cdot (C_1 R_2 - C_2 R_2 R_e)}{R_2 R_e (R_2 + R_e) (C_1 + C_2)} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (1.5)$$

Врахуємо сталі рівняння.

$$i_B = \frac{U}{R_2 + R_e} + \frac{U_{1(0)} \cdot (R_e - R_2 R_e) + U_{2(0)} \cdot (R_2 - R_2 R_e)}{2 R_2 R_e (R_2 + R_e)} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (1.6)$$

Тоді виходячи з початкових умов запишемо:

$$i_{B(0)} = U \frac{R_2 + R_e}{4 R_2 R_e}, \quad (1.7)$$

Тоді струм абсорбції:

$$i_{\text{абс}} = G \int_{-\infty}^T \exp\left(\frac{t_n - T}{\tau}\right) \frac{dU \sim}{dt}, \quad (1.8)$$

де t_n - час дискретизації;

T - період коливання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуємо синусоїдальність вхідної напруги перетворювача джерела живлення.

$$i_{abc} = U_m G \omega \int_{-\infty}^T \cos(\omega t) \cdot \exp\left(\frac{t-T}{\tau}\right) dt. \quad (1.9)$$

Тоді струм абсорбції:

$$I_{a.abc} = UG \frac{\omega^2 \tau^2}{\omega^2 \tau^2 + 1} \quad (1.10)$$

А його реактивна складова:

$$I_{p.abc} = UG \frac{\omega \tau}{\omega^2 \tau^2 + 1}. \quad (1.11)$$

Тоді загальне рівняння матиме вигляд:

$$I_a = I_n + I_{a.abc} = U \left(G \frac{\omega^2 \tau^2}{\omega^2 \tau^2 + 1} + \frac{1}{R_1 + R_2} \right); \quad (1.12)$$

А реактивна складова буде визначена як:

$$I_p = I_{емн} + I_{p.abc} = U \omega \left(C_{геом} + G \frac{\tau}{\omega^2 \tau^2 + 1} \right), \quad (1.13)$$

де - $I_{емн}$ ємнісний струм який випереджає напругу на 90° ; $I_p = I_{емн} = U \omega C_{геом}$;
 $C_{геом}$ - ємність ізоляції, яка залежить від її геометричних розмірів і вимірюється при високій частоті, коли впливом реактивної складової струму абсорбції можна знехтувати.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З отриманих рівнянь видно що для можливості виявлення стану ізоляції необхідно розраховувати активну та реактивну складові струмів навантаження.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.2. Аналіз існуючих методів і засобів контролю ізоляції в розподільних мережах постійного струму

Розглянемо методи контролю стану ізоляції що базуються на математичних розрахунках.

При виникненні ушкоджень характерним є наявність несиметричного режиму.

Такий стан відображається на значенні опорів системи електропостачання.

$$R_1 = \frac{U_0 - (I_1 + I_2)R}{I_2}; \quad (1.14)$$

де $R = R_g + R_p$;

U_0 – напруга на шинах;

I_1, I_2 – струм в міліамперметрі при розриві кола відповідно перемикачем SA1 та SA2;

R_p – опір обмотки реле KV.

Розглядати подібну математичну залежність слід виходячи зі схеми перетворювальної установки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Рисунок 1.1 – Схема заміщення контролю ізоляції мережі постійного струму

Тоді значення ударних струмів можна також розрахувати відповідно до схеми перетворювача.

$$i_1(t) = \frac{U_0}{R_2 + R(1 + 2R_2/R_1)} \left(1 + \frac{R_2}{R(1 + 2R_2/R_1)} e^{-t/\tau} \right); \quad (1.15)$$

де $\tau = \frac{2CR_1R_2}{R_1R_2 + R(R_1 + R_2)}$ – стала часу;

C – ємність полюса мережі відносно землі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

а)

б)

Рисунок 1.2 – Схема заміщення мережі; а) розрахункова схема визначення струму б)

Відповідну похибку вимірювань можна визначити виходячі зі схеми заміщення ділянки перетворювача.

$$\varepsilon_{R_1} = \left| \varepsilon_{U_0} (1 + \alpha_1 (1 + \alpha)) \right| + \left| -\varepsilon_{I_1} \frac{\alpha_1 \alpha_2 (1 + \alpha_1 + \alpha_1 \alpha_2)}{1 + \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1^2 \alpha_2} \right| + \left| -\varepsilon_{I_2} \frac{1 + \alpha_1 + \alpha_1 \alpha_2 (1 + \alpha_1 \alpha_2^2 + \alpha_2)}{1 + \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_2 \alpha_1^2} \right| + \left| -\varepsilon_{R_g} \frac{\alpha_1 (1 + 2\alpha_1 \alpha_2 (1 + \alpha_2))}{1 + \alpha_1 \alpha_2 + \alpha_1^2 \alpha_2} \right|, \quad (1.16)$$

де $\alpha_1 = R/R_1$;

$\alpha_2 = R_1/R_2$;

ε_{U_0} – гранична відносна похибка, зумовлена коливанням напруги мережі постійного струму;

$\varepsilon_{I_1} = \varepsilon_{I_2} = \varepsilon_I$ – гранична відносна похибка вимірювання струму;

ε_{R_g} – заводська гранична відносна похибка опору R_d .

Тоді гранична похибка складатиме:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$\varepsilon_{R_1} = \left| \varepsilon_{U_0} \frac{1+\alpha_1(1+\alpha_2)}{1+\alpha_1\alpha_2} \right| + \left| -\varepsilon_{I_2} (1 + \alpha_1\alpha_2)(1 + \alpha_1(1 + \alpha_2)) \right| + \left| \varepsilon_R \frac{1+\alpha_2+\alpha_1\alpha_2(1+\alpha_2)}{(1+\alpha_1\alpha_2)^2} \right|. (1.17)$$

Для реальних умов є прийнятним: $\varepsilon_U = \pm 5\%$, $\varepsilon_I = \pm 2.5\%$, $\varepsilon_R = \pm 5\%$, $\alpha_2 = 0,1 \div 10$. Для схеми широко відомого пристрою УКИ-1 [8], $R=16$ кОм. Аналіз виразів (1.10) та (1.17) показав, що похибка визначення ε_{R_1} може перевищувати 40%.

Розрахункове значення визначимо за [10, 24, 25]:

$$I_{p.o.} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{\quad}} (1.18)$$

де U_{\sim} – діюча величина напруги джерела живлення;

R_{Σ} – опір ізоляції та шунтувальних зв'язків в мережі;

R_{cx} – активний опір кола вимірювання струму;

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота;

C_{ϕ} – ємність фільтру приєднання; $C=C_1+C_2$;

Тоді складові струму будуть [27,28]:

$$i_1(t) = \frac{U_0}{R_2(1+2C/C_0)^2} e^{-\tau t}; (1.19)$$

$$i_2(t) = \frac{U_0}{R_1(1+2C/C_0)^2} e^{-\tau t}, (1.20)$$

де $\tau = \frac{R_1+R_2}{R_1R_2(C_0+2C)}$ - стала часу перехідного процесу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.3 – Схема заміщення пристрою для вимірювання омичного опору полюсів мережі постійного струму відносно землі

Визначимо базові опори:

$$R_2 = \frac{U_0}{i_1(0)(1+2C/C_0)^2}; (1.21)$$

$$R_1 = \frac{U_0}{i_2(0)(1+2C/C_0)^2}. (1.22)$$

Таким чином можемо бачити що значення початкової ємності суттєво впливатиме на подальші розрахунки.

Тому слід використовувати комбіновані пристрої контролю.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3. Аналіз існуючих пристроїв захисного вимкнення

Розглянемо захисне вимкнення та параметри щодо його застосування у системах електропостачання.

Таблиця 1.1 – Найбільш допустимі напруги дотику $U_{д.т}$ і струми I_b , що проходять через тіло людини в аварійному режимі роботи електроустановки постійного струму

Можливість спрацювання системи захисту базується на обробці сигналів струму.

$$k = I_b / I_{p.o.} = \text{const}, \quad (1.23)$$

$I_{p.o.}$ - струм через реагуючий орган пристрою захисного вимкнення (ПЗВ); I_b - струм через місце витікання, який не буде перевищувати допустимий рівень за умовами електробезпеки.

Для мостового перетворювача слід розрахувати співвідношення струмів базуючись на значеннях опорів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$k = \frac{I_B}{I_{p.o.}} = \frac{R_1(R_g+R_2)}{R_g(R_2-R_1)+R_1R_2}. \quad (1.24)$$

Також мають бути розглянуті граничні умови.

$$k = \frac{I_B}{I_{p.o.}} = \frac{R_g+R_i}{R_i} = \frac{R_{i*+1}}{R_{i*}}, \quad (1.25)$$

де $R_{i*} = R_i/R_g$.

Тоді покажемо:

$$I_{p.o.} = \frac{U_{\sim}}{R_{\Sigma}} = \frac{U_{\sim}[R_h+R_1R_2/(R_1+R_2)]}{R_1R_2R_h/(R_1+R_2)}, \quad (1.26)$$

де R_h - опір шунтувального зв'язку між полюсом і землею (опір тіла людини відносно землі).

У наближеному значенні:

$$k_{\sim} = \frac{I_B}{I_{p.o.}} = E_0 R_{h*} \frac{R_{i3*}}{U_{\sim}} \quad (1.27)$$

де $R_{h*} = \frac{R_h}{R_{доп}}$; $R_{i3*} = \frac{R_{i3}}{R_{доп}}$ - відносні величини; $R_{доп} = 6$ кОм (ГОСТ 12.1.038-82).

На практиці значення струмів зручно вносити застосовуючи систему відносних одиниць.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{в.о.} = U_{\sim} \cdot \sqrt{1/R_{із}^2 + (2\omega C - k_{LC}/\omega L_{др})^2} \quad (1.28)$$

де U_{\sim} - напруга змінного струму, що накладається на мережу (друга обмотка ТЛ),

$R_{із}$ - загальний активний опір ізоляції полюсів мережі відносно землі;

$L_{др}$ - індуктивність дроселя;

k_{LC} - коефіцієнт перетворення генератора LC.

Принципова схема пристрою захисту має враховувати отримані рівняння для її налаштування.

Рисунок 1.5 – Принципова схема УЗО

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Також мають бути враховані у представленій системі резонансні явища.

$$R_{із} = 0,25 \cdot \frac{U_0}{I_{h\text{доп}}}, (1.29)$$

де U_0 - напруга джерела постійного струму;

$I_{h\text{доп}}$ - допустимий струм через тіло людини при часі його дії $t \geq 1$ с. При такій уставці спрацювання реле можна забезпечити безпеку експлуатації мережі, але вона є надлишковою і призводить до невиправданих відключень машин і механізмів на всьому реально можливому діапазоні зміни опору ізоляції полюсів мережі відносно землі.

Комбінований метод враховує недоліки що виникають при необхідності контролю вимірюваної величини [51-53].

$$I_h = i_h(0) \cdot \frac{R_{із}}{R'_{із}}, (1.30)$$

де $i_h(0)$ - максимальне значення струму через тіло людини при $t=0$;

$R'_{із}, R_{із}$ - відповідно активний опір ізоляції полюсів мережі відносно землі до моменту дотику людини (до утворення шунтувального зв'язку) до полюсів мережі та після нього.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Методи і пристрої пошуку пошкодження в двопровідних мережах постійного струму

Отже у мережах постійного струму що містять дводротові лінії електропередач має застосовуватись комбінований метод контролю стану ізоляції.

Промислові підприємства представлені широким асортиментів перетворювачів.

Тому налагодження системи контролю стану ізоляції має відбуватись відповідно до схеми конкретного перетворювача та базуватись на отриманих розрахунках параметрів мережі.

Система контролю стану ізоляції має входити до діагностичного комплексу.

Відповідна схема мережі живлення має бути оснащена усіма засобами щодо вимірювання та обліку та розрахунку контрольованих величин системи електропостачання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Комбінований метод контролю технічного стану ізоляції відносно землі в двопровідних мережах постійного струму

2.1. Загальна характеристика комбінованого методу контролю технічного стану ізоляції полюсів відносно землі

Для виявлення режимів короткого замикання при однофазному ушкодженні живлячого дроту можна використовувати різні методи пошуку несправності.

Одним з відповідних методів є комбіноване визначення параметрів мережі живлення.

Такий підхід надає змогу враховувати як активну так і реактивну складові вимірюваних сигналів.

Цей факт обумовлено тим що при виникненні аварійних ситуацій що характерні із протіканням значних струмів короткого замикання перестають умови щодо розвитку несиметричних режимів які складно піддаються розрахунку.

Значним стає вплив ємнісної складової струмів що у кінцевому рахунку впливає на точність визначення результуючого опору.

Комбінований метод надає можливість враховувати окремо активну та реактивну складову отриманого сигналу та визначити дійсне значення опорів [57,58,60,62-64].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розробив</i>		Харченко І.С.			Розділ 2	<i>Літ.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевірів</i>		Сінчук О.М.					25	19
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		Сінчук О.М.						
<i>Затвердив</i>		Пересунько І.І.			КНУ ЕЕМ-20			

Іншим аспектом функціонування комбінованих систем діагностики є необхідність забезпечувати безпосередній неперервний контроль стану ізоляції.

При цьому розраховуються системи що налічують безперербійне живлення від стороннього джерела [60] або наявність резервуючого живлення у своєму складі [62].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Теоретичне обґрунтування методу безперервного контролю омичного опору ізоляції РМПС відносно землі

Розглянемо теоретичні засади запропонованого методу контролю стану ізоляції.

При компенсуванні реактивної складової слід записати уточнене значення функції струму із врахуванням функціональної схеми пристрою захисту.

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{R_{\text{із}}} \left(\frac{4\omega^2 R_{\text{із}}^2 C_{\phi}^2}{1+4\omega^2 R_{\text{із}}^2 (C_{\phi}+C)^2} \right) + +j \left(\frac{2\omega C_{\phi} (1+2\omega^2 C (C_{\phi}+C) R_{\text{із}}^2)}{1+4\omega^2 R_{\text{із}}^2 (C_{\phi}+C)^2} - \frac{1}{\omega L_{\text{к}}} \right) \quad (2.1)$$

Рисунок 2.1 – Функціональна схема пристрою для безперервного контролю ізоляції РМПС

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

де R_1, R_2 – активний опір ізоляції полюсів відносно землі;

$R_{із} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ – активний опір ізоляції полюсів відносно землі; C, C_ϕ – відповідно ємність полюса відносно землі та фільтра;

L_κ – індуктивність дроселя компенсації ємнісної складової;

\dot{U} – комплекс напруги джерела живлення.

Рисунок 2.2 – Розрахункова схема визначення активного опору ізоляції мережі відносно землі з урахуванням компенсації ємнісної складової

Тоді відповідно до розрахункової схеми з врахуванням засад що описано у [61]:

$$I_{a.} = \frac{U}{R_{із}} \left(\frac{4\omega^2 R_{із}^2 C_\phi^2}{1 + 4\omega^2 R_{із}^2 (C_\phi + C)^2} \right) \frac{1}{n_{ТА}}, \quad (2.2)$$

де $n_{ТА}$ – коефіцієнт трансформації трансформатора струму

Тоді при перенесенні розрахункового значення відносно полюсності на землю слід врахувати опори системи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{вим}} = \frac{U}{I_a} = R_{\text{із}} \left(\frac{1 + 4\omega^2 R_{\text{із}}^2 (C_{\phi} + C)^2}{4\omega^2 R_{\text{із}}^2 C_{\phi}^2} \right) n_{\text{ТА}}. (2.3)$$

Запишемо виходячи з умови резонансу.

Так як $4\omega^2 R_{\text{із}}^2 (C_{\phi} + C)^2 \gg 1$, то із (2.3) маємо

$$R_{\text{вим}} = R_{\text{із}} \frac{(C_{\phi} + C)^2 n_{\text{ТА}}}{C_{\phi}^2} = R_{\text{із}} (1 + 2n + n^2) n_{\text{ТА}}, (2.4)$$

де $n = C/C_{\phi}$, тобто методична похибка виміру ізоляції буде залежати від співвідношення $n = C/C_{\phi}$.

Отже запропоновані рівняння можна використовувати для забезпечення системи контролю стану ізоляції відповідно до представленого методу діагностування.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Метод безперервного контролю ізоляції окремих приєднань РМПС

Безперервний контроль має ґрунтуватись на вибірковості вимірювань у процесі роботи.

Функціонально це має забезпечувати структура діагностичного комплексу.

Рисунок 2.3 – Функціональна схема селективного контролю ізоляції полюсів окремих приєднань РМПС

Відповідне функціонування подібної структури має забезпечувати розрахункова схема.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Рисунок 2.4 – Розрахункова схема для визначення струму через ізоляцію полюсів в окремому приєднанні

Розглянемо загальний випадок вимірювання сигналу відповідно до схеми заміщення.

$$I_{\Pi} = Y_{\Pi} \left[\dot{U} - I_C \left(-\frac{j}{2\omega C_{\Phi}} \right) \right] = \dot{U} Y_{\Pi} \left(1 + \frac{j}{2\omega C_{\Phi} Z} \right) (2.5)$$

Опір загального сигналу буде містити усі складові відповідно до їх пропорційності у схемі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z = \frac{R_{\text{із.П}} \cdot R_{\text{із.ЕК}}}{R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}} + j2\omega(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}}) \cdot 2R_{\text{із.П}}R_{\text{із.ЕК}}} - \frac{j}{2\omega C_{\text{Ф}}} \quad (2.6)$$

де $R_{\text{із.ЕК}} = \frac{R_{1,\text{ЕК}} \cdot R_{2,\text{ЕК}}}{R_{1,\text{ЕК}} + R_{2,\text{ЕК}}}$ - омичний опір ізоляції решти приєднань РМПС; $C_{\text{ЕК}}$ - ємність ізоляції полюсів відносно землі решти приєднань РМПС.

Тоді сигнал струму буде містити відповідні складові вимірюваних опорів.

$$i_{\text{П}} = \left(\frac{1}{R_{\text{із.П}}} + 2j\omega C_{\text{П}} \right) \times \left[1 - \frac{2\omega(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}})R_{\text{із.П}} \cdot R_{\text{із.ЕК}}}{2\omega(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}} + C_{\text{Ф}})R_{\text{із.П}} \cdot R_{\text{із.ЕК}} - j(R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}})} + j \frac{R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}}}{2\omega(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}} + C_{\text{Ф}})R_{\text{із.П}} \cdot R_{\text{із.ЕК}} - j(R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}})} \right] \cdot \dot{U} = \frac{\dot{U}}{R_{\text{із.П}}} \left[\frac{4\omega^2 C_{\text{Ф}}(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}} + C_{\text{Ф}})R_{\text{із.П}}^2 R_{\text{із.ЕК}}^2}{4\omega^2(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}} + C_{\text{Ф}})^2 R_{\text{із.П}}^2 R_{\text{із.ЕК}}^2 + (R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}})^2} + \frac{\pm 4\omega^2 C_{\text{П}} C_{\text{Ф}} R_{\text{із.П}}^2 R_{\text{із.ЕК}}(R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}})}{\dots} + j2\omega C_{\text{Ф}} R_{\text{із.П}} R_{\text{із.ЕК}}(R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}}) + \frac{+8\omega^3 C_{\text{П}} C_{\text{Ф}}(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}} + C_{\text{Ф}})R_{\text{із.П}}^3 R_{\text{із.ЕК}}^2}{4\omega^2(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}} + C_{\text{Ф}})^2 R_{\text{із.П}}^2 R_{\text{із.ЕК}}^2 + (R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}})^2} \dots \right] \quad (2.7)$$

Тоді активна складова струму:

$$i_{\text{а.в.}} = \frac{U}{n_{\text{ТА}} R_{\text{із.П}}} \times \frac{4\omega^2 C_{\text{Ф}} R_{\text{із.П}} R_{\text{із.ЕК}}}{4\omega^2(C_{\text{П}} + C_{\text{ЕК}} + C_{\text{Ф}})^2 R_{\text{із.П}}^2 R_{\text{із.ЕК}}^2 + (R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ЕК}})^2}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\frac{(R_{\text{із.П}}R_{\text{із.ек}}(C_{\text{П}} + C_{\text{ек}} + C_{\text{ф}}) - R_{\text{із.П}}C_{\text{П}}(R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ек}}))}{.4\omega^2(C_{\text{П}} + C_{\text{ек}} + C_{\text{ф}})^2 R_{\text{із.П}}^2 R_{\text{із.ек}}^2 + (R_{\text{із.П}} + R_{\text{із.ек}})^2..}$$

$$= \frac{U}{R_{\text{із.П}}n_{\text{ТА}}} N. (2.8)$$

Коефіцієнт N буде відповідати за похибку вимірювань.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.4. Дослідження похибки методу безперервного контролю омічного опору ізоляції полюсів РМПС відносно землі та окремих приєднань

Дослідимо ефективність запропонованих рішень щодо визначення та контролю стану ізоляції.

Похибку можна представити виходячи зі складових отриманих значень у рівняннях.

$$\varepsilon_{R_{i3}} = \frac{1}{R_{i3}} \left(\left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial U} dU \right| + \left| \frac{\partial R_{i3}}{\partial I_a} dI_a \right| \right) = |\varepsilon_U| + |\varepsilon_{I_a}|,$$

де $\varepsilon_U = \frac{dU}{U}$ - гранична відносна похибка вимірювання напруги джерела живлення, що накладається на контрольовану мережу, яка визначається класом точності вимірювальної системи;

$\varepsilon_I = \frac{dI_a}{I_a}$ - відносна похибка визначення струму, яка складається із відносної похибки вимірювальної системи і методичної похибки. Методичну похибку можна визначити із (2.2) як:

$$\varepsilon_M = \frac{I_{ад} - I_{ав}}{I_{ад}} = 1 - \frac{4\omega^2 C_\phi^2 R_{i3}^2}{1 + 4\omega^2 R_{i3}^2 (C_\phi + \Delta C)^2}, \quad (2.9)$$

де $I_{ад}, I_{ав}$ - відповідно дійсне значення активної складової струму і визначене; ΔC - ємність недокомпенсації.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Встановлюємо математичну залежність вимірюваних величин у відповідності до похибки вимірювань.

$$\varepsilon'_M = 1 - \frac{4\omega^2 C_\phi (C_\Pi + C_{ек} + C_\phi) R_{із.П} R_{із.ек}^2}{4\omega^2 (C_\Pi + C_{ек} + C_\phi)^2 R_{із.П} R_{із.ек}^2} - \frac{4\omega^2 C_\phi C_\Pi R_{із.П} R_{із.ек} (R_{із.П} + R_{із.ек})}{4\omega^2 (C_\Pi + C_{ек} + C_\phi)^2 R_{із.П} R_{із.ек}^2 + (R_{із.П} + R_{із.ек})^2} = 1 - \frac{4\omega^2 C_\phi (C_\phi + C) - 4\omega^2 C_\phi C_\Pi (K+1)}{4\omega^2 (C_\phi + C)^2 + \frac{K^2 + 2K + 1}{R_{із.П}^2}}, \quad (2.10)$$

де $K = R_{із.П}/R_{із.ек}$; $C = C_\Pi + C_{ек}$.

Рисунок 2.5 – Залежність відносної методичної похибки визначення активної складової струму від рівня активного опору ізоляції і компенсації ємності мережі при постійному значенні ємності фільтра $C_\phi=40$ мкФ; $C_\phi=100$ мкФ

Тоді похибка методу вимірювання складе розподіл сигналу за умовною шкалою визначень.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Рисунок 2.6 – Залежність відносної методичної похибки визначення активної складової струму на окремому приєднанні РМПС від співвідношення опорів приєднання і ємність C_{Π} приєднання при $C_{ек}=2$ мкФ, $R_{із.п}=20$ кОм, $C_{\phi}=\text{const}=40; 100$ мкФ

Абсолютна погрішність буде визначена як математичний вираз розглянутих сигналів вимірювання.

$$\varepsilon_{R_{із}} = \sqrt{\varepsilon_U^2 + (\varepsilon_{I_a} + \varepsilon_M)^2} 100\%, \quad (2.11)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2.5. Теоретичне обґрунтування методу накладання постійного струму різної полярності на контрольовану мережу постійного струму

Розглянемо особливості протікання перехідних процесів у мережах постійного струму.

Виходячи зі схеми системи діагностування зробимо розрахунок її параметрів.

А саме для напруги.

$$U_B = \frac{U_0}{2(R_1 + R_2)} (R_2 - R_1), (2.12)$$

Та струму.

$$I = \frac{U_0 \cdot (R_2 - R_1)}{2R_1 R_2 + R_d (R_1 + R_2)}, (2.13)$$

Та виходячи з цього для розрахункового опору.

$$R_{із.в} = \frac{U_B}{I} = \frac{2R_1 R_2 + R_d (R_1 + R_2)}{2(R_1 + R_2)} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_d}{2} = R_{із} + \frac{R_d}{2},$$

де R_d - опір плеча дільника.

Тоді загальний опір:

$$R_{із} = \frac{U_B}{I} - \frac{R_d}{2}, (2.14)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

При враховуванні полюсності слід скористатись відповідною сталою часу.

$$i_1(t) = \frac{U_0}{R_2(1+2C/C_0)^2} e^{-t/\tau}; \quad (2.15)$$

де $\tau = \frac{R_2 R_1 (C_0 + 2C)}{R_1 + R_2}$ - стала часу.

Остаточне значення можна знайти виходячи з максимального значення протікаючого струму.

$$R_2 = \frac{U_0}{i_1(0)(1+2C_1/C)^2} \quad (2.16)$$

Рисунок 2.7 – Розрахункова схема для визначення омичного опору полюсів мережі відносно землі

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Запишемо:

$$R_2 = \frac{U_0}{i_1(0)}; R_1 = \frac{U_0}{i_2(0)}, (2.17)$$

Останнє рівняння надає можливість більш точного визначення значення опору.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

2.6. Використання усталених та перехідних процесів в РМПС для періодичного контролю омичних опорів ізоляції полюсів відносно землі

В останньому розділі були запропоновані рівняння щодо визначення похибки вимірювань.

Перевіримо межі відхилень похибки вимірюваного сигналу у відповідності до представленої методики.

$$\varepsilon_{R_{i3}} = \sqrt{\left(\frac{\partial R_{i3}}{\partial U_B} \frac{dU_B}{R_{i3}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{i3}}{\partial I} \frac{dI}{R_{i3}}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{i3}}{\partial R_D} \frac{dR_D}{R_{i3}}\right)^2} = \sqrt{\varepsilon_{I^2} + \varepsilon_{U_B^2} + \varepsilon_{R_D^2}} \quad (2.18)$$

Запишемо відповідний вираз із врахуванням значень напруги системи електропостачання.

$$U_{BX} = \frac{U_0}{\left(\frac{R_D}{R_V} + \frac{2R_1}{R_V} + 2\right)} \cdot \left[\frac{(R_2 - R_1) \left(\frac{R_D}{2R_V} + 1\right) + \frac{R_1 R_2 - R_1^2}{R_V}}{(R_1 + R_2) \left(\frac{R_D}{2R_V} + 1\right) + \frac{R_1 R_2}{R_V}} \right] = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R_D + 2R_{i3}}{2R_V} + 1\right)} = U_D \cdot k \quad (2.19)$$

де R_V – внутрішній опір вольтметра, а U_D – дійсне значення вимірюваної напруги: $U_D = \frac{U_0}{2} \cdot \frac{(R_2 - R_1)}{R_1 + R_2}$; $k = \frac{1}{\left(\frac{R_D + 2R_{i3}}{2R_V} + 1\right)}$.

Запишемо відповідний вираз із врахуванням значень струму системи електропостачання.

$$I_B = \frac{U_0}{R_D + 2R_1 + 2R_a} \cdot \left[1 - \frac{2R_1(R_D + R_1 + 2R_a)}{(R_1 + R_2)(R_D + 2R_a) + 2R_1 R_2} \right] = \frac{U_0(R_2 - R_1)}{(R_1 + R_2)(R_D + 2R_a) + 2R_1 R_2} \quad (2.20)$$

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
							39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де R_a - внутрішній опір амперметра.

Тоді граничні умови функціонування розробленої системи у межах розрахованої похибки:

$$\varepsilon_U = |\varepsilon_V| + \left| \frac{U_A - U_B}{U_B} \right| = |\varepsilon_V| + |1 - k_U|; (2.21)$$

$$\varepsilon_i = |\varepsilon_i| + \left| \frac{I_A - I_B}{I_A} \right| = |\varepsilon_i| + |1 - k_i|; (2.22)$$

$$\text{де } I_A = \frac{U_0(R_2 - R_1)}{(R_1 + R_2)R_A + 2R_1R_2}; k_i = \frac{I_B}{I_A} = \frac{R_A + 2R_{i3}}{R_A + 2R_{i3} + 2R_a}.$$

Запишемо вираз для середньоквадратичних відхилень:

$$\varepsilon_{R_1} = \frac{1}{R_1} \left[\left| \frac{\partial R_1}{\partial U_0} dU_0 \right| + \left| \frac{\partial R_1}{\partial i_2(0)} di_2(0) \right| + \left| \frac{\partial R_1}{\partial \alpha} d\alpha \right| \right]; (2.23)$$

Тоді:

$$\varepsilon_{R_1} = \varepsilon_{R_2} = |\varepsilon_{U_0}| + |\varepsilon_{i(0)}| + \left| \varepsilon_C \frac{2m^2}{1+m+m^2} \right|; (2.24)$$

де ε_{U_0} , $\varepsilon_{i(0)}$ – граничні відносні похибки вимірювання напруги та струму і визначаються класом точності вимірювальних пристроїв:

ε_C – гранична відносна похибка установки додаткової ємності C : $\alpha = 2C/C_0$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже з отриманих виразів слід зазначити що при застосованому комбінованому методі граничні межі вимірювань обумовлені значенням ємності у межах $C \leq 20$ мкФ і $C_0 \leq 1000$ мкФ.

У іншому похибка вимірювань буде базуватися лише на точності приладів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7. Дослідження методичної похибки методів періодичного контролю

Розширити автоматичність та автономність функціонування діагностичного комплексу щодо контролю стану ізоляції можна у межах оптимізації алгоритмів його роботи.

Рисунок 2.8 – Алгоритм контролю технічного стану ізоляції двопровідної мережі постійного струму

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Виходячи зі стану сучасної енергетики та тенденцій щодо її розвитку слід нагадати що переважна більшість сучасних систем електропостачання базується на використанні джерел змінного струму.

Але наряду з тим існує ціла група відповідальних споживачів що забезпечують умови функціонування промислових установок і механізмів які мають у своєму складі апарати та прилади а також виконавчі елементи розраховані на живлення від мережі що складають джерела постійного струму.

До таких механізмів можна віднести цілий ряд промислового обладнання.

Системи електропостачання з джерелами постійного струму мають ті самі проблеми як і мережі змінного струму.

Виникає необхідність узгодження алгоритмів дії для набуття ефективності використання та безпечності експлуатації представленого обладнання.

Особливостями функціонування таких мереж є певні обмеження за рівнем живлячої напруги.

З тим слід зазначити що статичні характеристики струмових навантажень у таких мережах мають істотні значення що до рівнів струмів та режиму їх роботи.

Розподільчі мережі постійного струму що знаходяться у гірничій та металургійній галузі мають також бути захищені від дії шкідливих факторів що можуть призвести до виходу їх з ладу або частковій руйнації їх обладнання яке може бути ушкоджене внаслідок невідповідності режимів роботи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність двопровідної лінії дещо полегшує виконання розрахунків таких систем.

Але необхідність здійснювати перетворення форми живлячої електричні установки постійного струму напруги ускладнює розуміння вигляду дійсних кривих.

Наявність дводротових ліній таким чином дозволяє використовувати аналітичні залежності що мають місце при однофазних ушкодженнях але при цьому слід враховувати форму спрямленої кривої живлячої напруги системи електропостачання.

На однофазні ушкодження при замиканні живлячого дроту на землю приходить 95% ушкоджень подібних систем.

Цей режим може протікати зі значним виділенням теплової енергії та впливати на роботу системи захисту й супутнього із нею експлуатованого обладнання.

Виявлення та припинення таких режимів є важливим завданням автоматичних систем.

Таму сучасні перетворювальні станції налагоджують на роботу із такими системами /1,2,3/.

Добре себе зарекомендували системи діагностики параметрів мережі живлення.

Такі системи дозволяють у режимі реального часу контролювати стан електричної ізоляції живлячих дротів.

При виникненні аварійних ситуацій система діагностування попереджує можливі наслідки щодо ушкоджень кабельної лінії та унеможливлення розвитку аварійної ситуації.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні системи діагностування базуються на поділі процесів контролю та псевдо спрацьовувань.

Режими роботи промислового обладнання мають бути забезпечені безперебійним живленням.

Тому для системи діагностування є важливим не тільки захистити працююче обладнання від коротких замикань на землю але й унеможливити помилкові спрацьовування системи захисту застосовуючи попередню оцінку стану системи електропостачання.

Визначення та контроль опору стану ізоляції може бути здійснено на протязі усього режиму роботи обладнання.

Періодичність вимірів має бути узгоджена із динамікою зміни режимів роботи.

Системи захисту розбудовуються виходячи зі схеми мережі електропостачання.

Аналітичні залежності щодо розрахунку опорів ізоляції складаються на основі цих схем.

Своєчасне виявлення розбіжності стану ізоляції допомагає виявити та попередити виникнення аварійної ситуації у системі електропостачання та зберегти функціональність промислового обладнання у межах технологічного циклу.

Своєчасне виявлення та припинення аварійних режимів, таких як коротке замикання на землю живлячого кабелю, може допомогти удосконалити сучасну систему електропостачання промислових механізмів та підвищити надійність їх роботи.

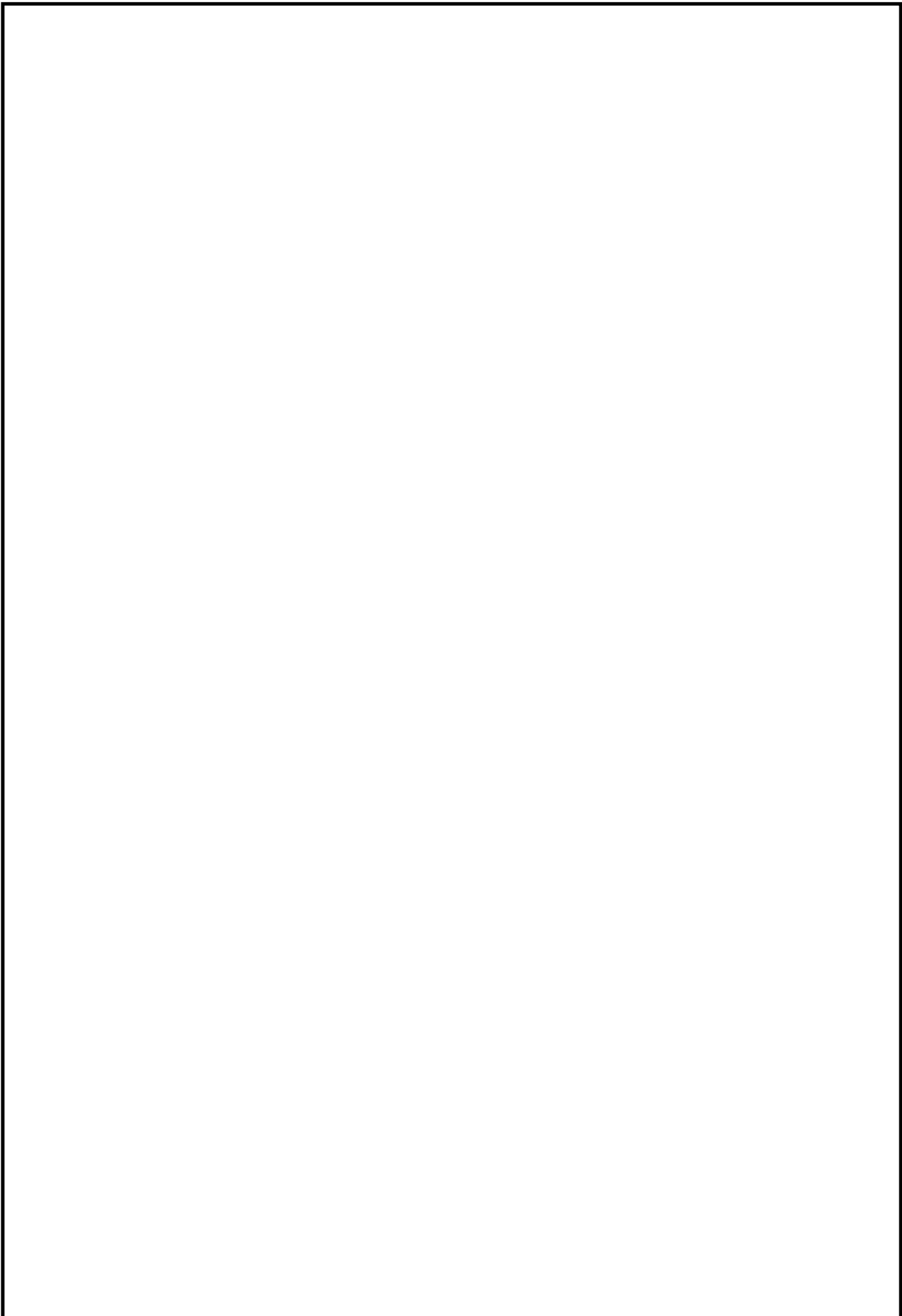
					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні елементи схемотехнічних рішень мають забезпечити швидкодію прийняття рішень та неперервність подібного процесу діагностування.

Системи контролю стану ізоляції мають входити до структури діагностичних комплексів що забезпечують працездатність промислової мережі.

Таким чином реалізується функція регулювання виробничих режимів та забезпечується неперервність та безпечність функціонування подібних систем на практиці.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.303-26	
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		