



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **101084** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
H02H 3/08 (2006.01)
H02H 7/00
H01H 73/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

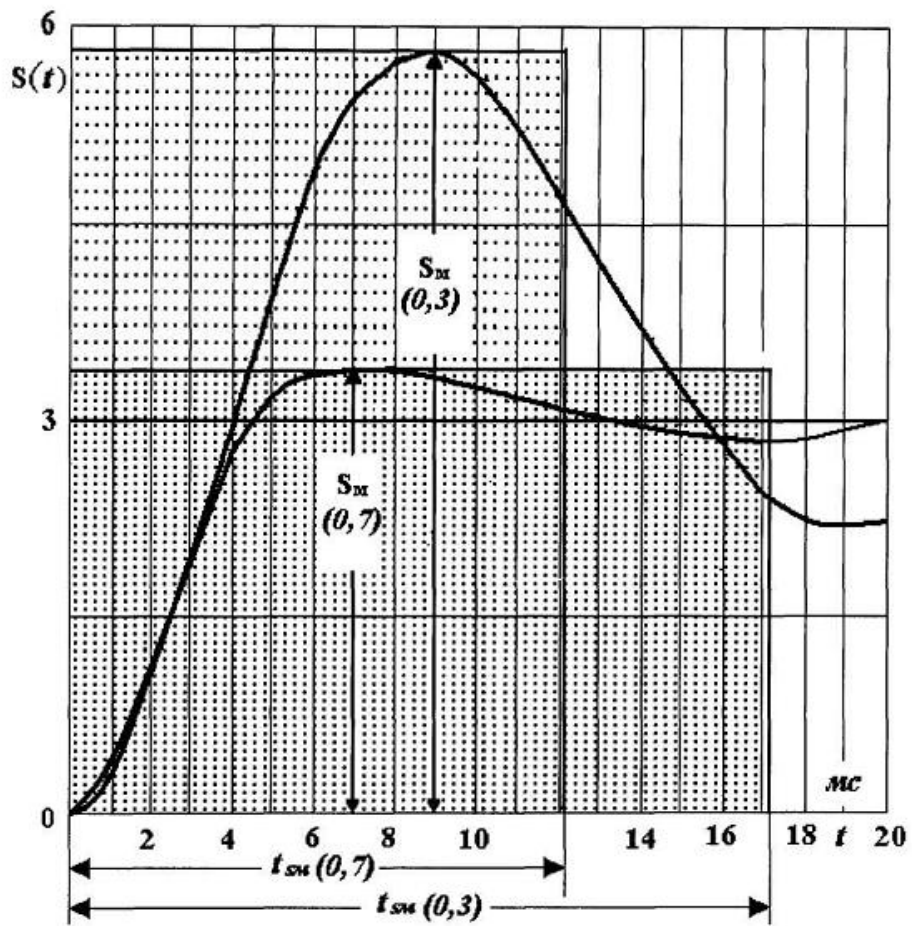
<p>(21) Номер заявки: а 2011 09057</p> <p>(22) Дата подання заявки: 19.07.2011</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.02.2013</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 12.12.2011, Бюл.№ 23</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2013, Бюл.№ 4</p>	<p>(72) Винахідник(и): Кобозєв Олександр Сергійович (UA), Середа Олександр Григорійович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Кобозєв Олександр Сергійович, пр. Перемоги, 78-б, кв. 62, м. Харків-204, 61204 (UA), Середа Олександр Григорійович, пр. Перемоги, 66, кв. 491, м. Харків-204, 61024 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 73195 C2; 15.06.2005 UA 81981 C2; 25.02.2008 UA 86078 C2; 25.03.2009 RU 74452 C2; 15.12.2005 RU 2168824 C1; 10.06.2001 US 5353188 A; 04.10.1994</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(54) СПОСІБ ШВИДКОДІЮЧОГО МАКСИМАЛЬНОГО СТРУМОВОГО ЗАХИСТУ З ВИСОКОЮ ЧУТЛИВІСТЮ ДО СТРУМІВ ВІДДАЛЕНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ

(57) Реферат:

В способі максимального струмового захисту трифазних електричних кіл від струмів короткого замикання (КЗ), зокрема в способі захисту від струмів віддалених КЗ, значення яких можуть бути сумірні і навіть менші за пускові струми підключених до цього електричного кола електродвигунів або струмів перевантаження за рахунок ідентифікації виду струму збурення електричного кола (струм віддаленого КЗ або пусковий струм) збільшено швидкодію захисту. Критерієм спрацьовування запропонованого струмового захисту вибрана така сукупність параметрів електричного кола (вид струму збурення - дво- або трифазний, величина $\cos\varphi$ і значення ΔI_{ϕ} , яка забезпечує найбільш надійну ідентифікацію виду струму збурення електричного кола (КЗ, пуск електродвигуна і ін.). А надійність і швидкість ідентифікації параметрів електричного кола забезпечується за рахунок того, що для цього використовується аналіз інтегралів суми квадратів миттєвих значень струмів приросту усіх трьох фаз $S_m = \sum (\Delta i_{ja}^2 + \Delta i_{jb}^2 + \Delta i_{jc}^2)$. Це дозволяє "відстроїтись" від такого випадкового параметра, як фаза виникнення КЗ - ψ і завдяки цьому швидко і точно визначити значення параметрів електричного кола - $\cos\varphi$ та ΔI_{ϕ} .

UA 101084 C2



Фиг. 1

Винахід належить до способів максимального струмового захисту трифазних електричних кіл від струмів короткого замикання (КЗ), зокрема до способів захисту від струмів віддалених КЗ, значення яких можуть бути сумірні і навіть меншими за пускові струми підключених до цього електричного кола електродвигунів або струмів перевантаження. Під швидкодією захисту

5

мається на увазі швидке, протягом 20 мс після виникнення струму збурення, тобто до загасання аперіодичної складової цього струму, визначення як коефіцієнта потужності електричного кола із струмом збурення, так і діючого значення періодичної складової струму збурення.

10

Швидке визначення коефіцієнта потужності електричного кола зі струмом збурення і симетричною складовою цього струму дозволяють, як буде наведено нижче, реалізувати такі нові захисти, як швидкодійний інтегральний селективний захист, захист від віддалених КЗ, а також забезпечити режим резервування.

15

Відомі способи, в яких максимальний струмовий захист електричних кіл від струмів КЗ здійснюють за допомогою мікропроцесорної техніки, що дозволяє для швидкого визначення діючого значення симетричної складової струму КЗ кола, що захищається, здійснювати досить складні розрахунки, неможливі у разі використання аналогових розчеплювачів [1]. Вказані розрахунки дозволяють швидко, не чекаючи закінчення перехідного процесу, коли існує ще аперіодична складова струму, визначити діюче значення симетричної складової струму збурення електричного кола.

20

Коли електричне коло знаходиться під навантаженням, струмом збурення є не повне

значення струму у фазі I_{ϕ} , а приріст струму ΔI_{ϕ} , який визначається як різниця значення

повного струму I_{ϕ} , що фіксується датчиками, і струму передісторії I_p - струму навантаження, який протікав в електричному колі до виникнення струму збурення електричного кола.

25

Через те, що характер зміни струму збурення електричного кола в кожній з фаз і його миттєве значення i_j істотно залежать від випадкового параметра - моменту часу виникнення струму збурення (що характеризується фазою ЕРС - Ψ), то за миттєвим значенням струму збурення в кожній з фаз визначити величину симетричної складової струму збурення ΔI_{ϕ} неможливо. Тому розрахунок величини ΔI_{ϕ} в даному способі струмового захисту здійснюють, використовуючи "силову" функцію електричного кола - аналітичну залежність суми квадратів значень струмів збурення в усіх фазах в часі:

30

$$S\{\Delta i_{(a,b,c)}(t)\}^2 = 3\Delta I_{\phi}^2 \left\{ 1 - 2e^{-\frac{t}{T}} \cos(\omega t) + e^{-\frac{2t}{T}} \right\} \quad (1)$$

Характер зміни і значення функції $S\{\Delta i_{(a,b,c)}(t)\}^2$ не залежать від фази виникнення струму збурення Ψ , але істотно залежать від коефіцієнта потужності електричного кола ($\cos \varphi$) і значення симетричної складової струму збурення ΔI_{ϕ} . Тому в цьому способі струмового захисту, підставляючи в ліву частину рівняння миттєві значення функції S_j , досить швидко

35

визначають величину симетричної складової струму ΔI_{ϕ} і величину повного струму у фазі I_{ϕ} , як суми величин струмів передісторії I_p і збурення ΔI_{ϕ} ($I_{\phi} = \Delta I_{\phi} + I_p$). Критерієм спрацьовування захисту є порівняння з величиною струмової уставки саме повного струму фази I_{ϕ} .

40

При визначенні величини симетричної складової струму збурення ΔI_{ϕ} в даному способі струмового захисту [1] значення коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) електричного кола вважається заданим. Через те, що основним призначенням даного швидкодійного струмового захисту є швидке (миттєве) спрацьовування захисту при максимальному значенні струму електричного кола, тобто при КЗ на відвідних затискачах вимикача, то значення ($\cos \varphi$) електричного кола в місці установки вимикача, дійсно, відомо і може бути занесено в пам'ять мікропроцесора.

45

Таким чином, в даному способі струмового захисту [1] забезпечується швидке і точне спрацьовування захисту "відсічка" (захисту I) за рахунок відносно швидкого визначення величини симетричної складової струму КЗ I_{ϕ} і порівняння її зі значенням струмової уставки

"відсічки" I_i . Слід зазначити, що при реалізації даного захисту ("відсічки") селективність роботи з апаратами, що стоять нижче, забезпечувати не вимагається.

Реалізація селективного захисту цього способу струмового захисту [1] забезпечується за рахунок того, що спрацьовування захисту в даному випадку відбувається від інтегральної уставки Q_{sd} . При цьому розрахунок інтеграла струму збурення здійснюють з моменту визначення величини повного струму фази I_{ϕ} .

Недоліком розглянутого способу швидкодіючого струмового захисту є те, що цей спосіб не забезпечує високу чутливість до струмів КЗ, необхідну для реалізації захисту від віддалених КЗ. Для забезпечення високої чутливості до струмів віддалених КЗ необхідно "відстроюватись" від пускових струмів потужних електродвигунів, значення яких (пускових струмів) можуть бути більшими за значення струмів віддалених КЗ.

Відоме технічне рішення з реалізації захисту від віддалених КЗ [2], у якому для "відстроєння" від пускових струмів також використовується залежність суми квадратів значень струмів збурення в усіх фазах в часі - $S_{\Delta I_{(a,b,c)}(t)}^2$.

Суть зазначеного технічного рішення полягає в тому, що за відношенням максимального

значення S_{max} до мінімального значення S_{min} : $\left(K_s = \frac{S_{max}}{S_{min}} \right)$, здійснюється ідентифікація виду струму збурення електричного кола - чи являється він струмом віддаленого КЗ або пусковим струмом. Критерієм спрацьовування захисту в даному технічному рішенні [2], як і в розглянутому раніше [1], є величина повного струму у фазі I_{ϕ} .

Недолік цього технічного рішення полягає в тому, що при використанні як критерію спрацьовування захисту повного струму у фазі I_{ϕ} неможливо "відстроїтись" від короточасних струмів перевантажень в електричному колі, що захищається, а це означає, що висока чутливість до струмів КЗ не може бути забезпечена в усіх випадках.

При використанні обох технічних рішень можна реалізувати інтегральний селективний захист електричних кіл навіть у тому випадку, якщо навіть заздалегідь невідоме значення коефіцієнта потужності електричного кола - $(\cos \varphi)$. Проте, при цьому використовувати можливість підвищення швидкодії такого селективного захисту повною мірою не можна, через те, що розрахунок інтегралу струму збурення, згідн з [1], здійснюється тільки після визначення діючого значення повного струму фази I_{ϕ} . А оскільки мінімальне значення функції $S_{\Delta I_{(a,b,c)}(t)}$,

необхідне для визначення коефіцієнта $\left(K_s = \frac{S_{max}}{S_{min}} \right)$ і відповідного значення $(\cos \varphi)$, у відповідності з [2], досягається лише через (12÷18) мс після виникнення струму збурення, то мінімальний час спрацьовування інтегрального селективного захисту не може бути реалізованим за час менший одного періоду зміни струму (20 мс). Проте, у ряді випадків фактичний час спрацьовування від інтегральної уставки Q_{sd} може бути значно меншим.

Крім того, використання як критерію спрацьовування струмового захисту, величини повного струму у фазі I_{ϕ} не дозволяє "відстроїтись" від струмів перевантаження, а значить, не повною мірою може бути використана можливість підвищення чутливості до струмів віддалених КЗ.

Таким чином, ані кожне з розглянутих технічних рішень окремо, ані їх сукупність, не дозволяють забезпечити найбільш оптимальну захисну характеристику захисту, а саме, вищу чутливість до струмів віддалених КЗ і більшу швидкодію захисту при реалізації інтегрального селективного захисту. Слід також зазначити, що використання двох незалежних технічних рішень, одне з яких [1] дозволяє ще до закінчення перехідного процесу в електричному колі визначити величину симетричної складової струму I_{ϕ} , а інше рішення [2] дає можливість визначити величину $(\cos \varphi)$, не дозволяє повною мірою спростити алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою при формуванні оптимальної захисної характеристики. Доцільніше знайти технічне рішення з визначення комплексного критерію спрацьовування захисту, що характеризує ту або іншу аварійну ситуацію в електричному колі, що захищається.

В основу винаходу поставлена задача розробити такий спосіб максимального струмового захисту з підвищеною чутливістю до струмів віддалених КЗ, який завдяки використанню

комплексного критерію спрацьовування захисту, що включає декілька параметрів електричного кола, що захищається, у тому числі і значення струму збурення електричного кола дозволив би:

5 - за рахунок можливості "відстроїтись" від струмів перевантаження, суттєво підвищити чутливість захисту до струмів віддалених КЗ, а також за рахунок швидшої ідентифікації виду струму збурення електричного кола (струм віддаленого КЗ або пусковий струм) збільшити швидкодію захисту. Поставлено також задачу за рахунок застосування комплексних критеріїв спрацьовування спростити алгоритм спрацьовування захисту.

Така задача вирішується в способі швидкодіючого максимального струмового захисту з високою чутливістю до струмів віддалених КЗ, відповідно до якого, здійснюють вимір миттєвих

10 значень струму в кожній з трьох фаз i_j та їх аналого-цифрове перетворення, при цьому визначення миттєвих значень струму i_j здійснюють через однакові проміжки часу Δt безперервно із зрушенням часового інтервалу Δt на величину чергового відліку значення струму i_j , здійснюють вимір миттєвого значення струму збурення електричного кола Δi_j , як природи миттєвої величини струму в кожній фазі електричного кола i_{jT_1} протягом першого

15 поточного періоду зміни струму T_1 і аналогічних значень струму i_{jT_p} в попередній період зміни струму T_p - струму передісторії ($\Delta i_j = i_{jT_1} - i_{jT_p}$), визначають діюче значення струму передісторії I_p , здійснюють розрахунок величин інтеграла квадрата миттєвих значень приросту струму в

кожній фазі $Q_{(a,b,c)} = \int_0^t \Delta i_{j(a,b,c)}^2 dt$, які порівнюють зі значенням інтегральної уставки Q_{sd} , при

цьому момент часу, що відповідає рівності значень - $Q_{(a,b,c)} = Q_{sd}$, використовують для формування часу спрацьовування інтегрального селективного захисту t_Q , за рахунок того, що розрахунок величин інтегралів квадрата миттєвих значень приросту струму в кожній фазі

$Q_{(a,b,c)} = \int_0^t \Delta i_{j(a,b,c)}^2 dt$ проводять у момент часу, коли миттєве значення струму збурення в одній з

25 фаз $\Delta i_{(a,b,c)j}$ стане більшим за величину $\sqrt{2}i'_{sd}$, де i'_{sd} - значення струмової уставки, вибраної з урахуванням захисту від віддалених КЗ, проводять також аналіз виду струму збурення - є він двофазним або трифазним і у разі, якщо струм збурення трифазний, то підсумовують значення інтегралів квадратів миттєвих значень струму приросту усіх трьох фаз за час періоду зміни

струму $T - Q_3 = \sum_0^T Q_{(a,b,c)j}$ визначають максимальне значення суми квадратів миттєвих значень

струмів приросту усіх трьох фаз $S_M = \sum (\Delta i_{ja}^2 + \Delta i_{jb}^2 + \Delta i_{jc}^2)$, потім шляхом ділення величини сумарного для усіх трьох фаз інтеграла квадратів миттєвих значень струму приросту усіх трьох

30 фаз Q_3 на максимальне значення суми квадратів миттєвих значень струмів приросту S_M

визначають час $t_{SM} = \frac{Q_3}{S_M}$, після чого за величиною t_{SM} визначають величину коефіцієнта потужності електричного кола зі струмом збурення $\cos \varphi$, яка пов'язана зі значенням коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ наступною табличною залежністю $\cos \varphi = f(t_{SM})$:

t_{SM}	10,4	11,1	12,05	13,2	14,1	15,0	17,2	17,8	18,8	20
$\cos \varphi$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

35

потім обчислюють значення симетричної складової струму приросту ΔI_Φ за виразом

$3\Delta I_\Phi = \sqrt{\frac{S_M}{K_y}}$, де K_y - коефіцієнт ударності струму в електричному колі, значення якого

визначають з відомої залежності $K_y = f(\cos \varphi)$, після чого, виходячи з поєднання знайдених значень наступної сукупності параметрів електричного кола, що захищається - ΔI_Φ , $\cos \varphi$ і виду струму збурення, виробляють один з наступних керуючих сигналів на спрацьовування захисту:

- якщо струм збурення двофазний виробляють керуючий сигнал на формування часів

5 спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} ;

- якщо струм збурення трифазний, значення струму збурення більше за величину уставки миттєвого спрацьовування ("відсічки") I_i , то при будь-якому значенні $\cos \varphi$ ($\cos \varphi = 0 \div 1$) виробляють керуючий сигнал на миттєве спрацьовування захисту;

- якщо струм трифазний, значення струму збурення ΔI_Φ більше за величину струмової 10 уставки I_{sd} , що вибрана з урахуванням забезпечення нормального запуску електродвигунів, включених в електричне коло, що захищається, то при будь-якому значенні $\cos \varphi$ ($\cos \varphi = 0 \div 1$) виробляють керуючий сигнал, на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} .

- якщо струм збурення трифазний, значення струму ΔI_Φ більше за величину струмової 15 уставки I_{sd} , що вибрана з урахуванням захисту від віддалених коротких замикань, а значення $\cos \varphi$ тотожне або більше за задану величину K_m ($\cos \varphi > K_m$), то виробляють керуючий сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} ;

- якщо за час, що дорівнює двом періодам зміни струму $2T$ (при частоті мережі 50 Гц $2T=40 \text{ мс}$), не сталося спрацьовування захисту, визначають величину діючого значення струму

20 збурення електричного кола у фазах ΔI_Φ , як різницю діючого значення повного струму у фазі за третій період зміни струму T_3 після виникнення струму збурення I_Φ і діючого значення струму передісторії I_p ($\Delta I_\Phi = I_\Phi - I_p$) і у випадку, якщо значення ΔI_Φ виявиться меншим за величину уставки I_{sd} , то виробляють керуючий сигнал на блокування формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} .

25 Саме завдяки тому, що розрахунок величин інтегралів квадрата миттєвих значень приросту

струму в кожній фазі $Q_{(a,b,c)} = \int_0^t \Delta i_{j(a,b,c)}^2 dt$ проводять у момент часу, коли миттєве значення

струму збурення в одній з фаз $\Delta i_{(a,b,c)j}$ стане більшим за величину $\sqrt{2} I_{sd}$, де I_{sd} - значення струмової уставки, вибраної з урахуванням захисту від віддалених КЗ, проводять також аналіз 30 виду струму збурення - є він двофазним або трифазним і у разі, якщо струм збурення трифазний, то підсумовують значення інтегралів квадратів миттєвих значень струму приросту

усіх трьох фаз за час періоду зміни струму $T - Q_3 = \sum_0^T Q_{(a,b,c)j}$, визначають максимальне значення суми квадратів миттєвих значень струмів приросту усіх трьох фаз $S_M = \sum (\Delta i_{ja}^2 + \Delta i_{jb}^2 + \Delta i_{jc}^2)$, потім шляхом ділення величини сумарного для усіх трьох фаз

інтеграла квадратів миттєвих значень струму приросту усіх трьох фаз Q_3 на максимальне

35 значення суми квадратів миттєвих значень струмів приросту S_M визначають час $t_{SM} = \frac{Q_3}{S_M}$,

після чого за величиною t_{SM} визначають величину коефіцієнта потужності електричного кола зі струмом збурення $\cos \varphi$, яка пов'язана зі значенням коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ наступною табличною залежністю $\cos \varphi = f(t_{SM})$;

t_{SM}	10,4	11,1	12,05	13,2	14,1	15,0	17,2	17,8	18,8	20
$\cos\varphi$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

потім обчислюють значення симетричної складової струму приросту ΔI_{Φ} за виразом

$$3\Delta I_{\Phi} = \sqrt{\frac{S_M}{K_y}}$$

5 визначають з відомої залежності $K_y = f(\cos\varphi)$, після чого, виходячи з поєднання знайдених значень наступної сукупності параметрів електричного кола, що захищається - ΔI_{Φ} , $\cos\varphi$ і виду струму збурення, виробляють один з наступних керуючих сигналів на спрацьовування захисту:

- якщо струм збурення двофазний виробляють керуючий сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} ;

10 - якщо струм збурення трифазний, значення струму збурення більше за величину уставки миттєвого спрацьовування ("відсічки") I_i , то при будь-якому значенні $\cos\varphi$ ($\cos\varphi=0\div 1$) виробляють керуючий сигнал на миттєве спрацьовування захисту;

15 - якщо струм трифазний, значення струму збурення ΔI_{Φ} більше за величину струмової уставки I_{sd} , що вибрана з урахуванням забезпечення нормального запуску електродвигунів, включених в електричне коло, що захищається, то при будь-якому значенні $\cos\varphi$ ($\cos\varphi=0\div 1$) виробляють керуючий сигнал, на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} .

20 - якщо струм збурення трифазний, значення струму ΔI_{Φ} більше за величину струмової уставки I'_{sd} , що вибрана з урахуванням захисту від віддалених коротких замикань, а значення $\cos\varphi$ тотожне або більше за задану величину K_m ($\cos\varphi > K_m$), то виробляють керуючий сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} ;

25 - якщо за час, що дорівнює двом періодам зміни струму $2T$ (при частоті мережі 50 Гц - $2T=40$ мс), не сталося спрацьовування захисту, визначають величину діючого значення струму збурення електричного кола у фазах ΔI_{Φ} , як різницю діючого значення повного струму у фазі за третій період зміни струму T_3 після виникнення струму збурення I_{Φ} і діючого значення струму передісторії I_p ($\Delta I_{\Phi} = I_{\Phi} - I_p$) і у випадку, якщо значення ΔI_{Φ} виявиться меншим за величину уставки I'_{sd} , то виробляють керуючий сигнал на блокування формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} ;

30 і забезпечується істотне підвищення чутливості захисту до струмів віддалених КЗ; швидкодії захисту, а також спрощення алгоритму спрацьовування захисту.

Підвищення чутливості до струмів КЗ забезпечується за рахунок того, що при реалізації захисту від віддаленого КЗ критерієм спрацьовування запропонованого струмового захисту є така сукупність параметрів електричного кола (вид струму збурення: дво-, або трифазний, величина $\cos\varphi$ і значення ΔI_{Φ} , яка забезпечує найбільш надійну ідентифікацію виду струму збурення електричного кола.

35 Зокрема, підвищена чутливість захисту досягається за рахунок того що для ідентифікації типу струму збурення, використовують не значення повного струму у фазі I_{Φ} , а величину струму збурення ΔI_{Φ} . А в цьому випадку завдяки тому, що безперервний моніторинг величини струму збурення здійснюється протягом дуже незначного проміжку часу - протягом одного періоду, забезпечується "відстройка" від струмів перевантаження.

40 Дійсно, адже використання як одного з критеріїв спрацьовування захисту струму збурення, за визначенням виключає негативний вплив на точність захисту до струмів віддалених КЗ заздалегідь існуючих струмів навантаження або перевантаження. А швидкий, протягом одного півперіоду, моніторинг струму збурення, після чого в пам'яті мікропроцесора його значення "обнулюються", фактично виключає можливість у вказаний короткий відрізок часу підключення

45 до довгої лінії, що захищається, одночасно декількох споживачів.

У запропонованому технічному рішенні визначення величини $\cos\varphi$, а потім і значення ΔI_{Φ} здійснюється на підставі аналізу величин інтегралів струму збурення у фазах. Тому і розрахунок вказаних інтегралів здійснюють не після визначення величини ΔI_{Φ} , а раніше, саме у момент часу, коли миттєве значення струму збурення в одній з фаз $\Delta i_{(a,b,c)}$ стає більшим за величину $\sqrt{2}I'_{sd}$, де I'_{sd} - значення струмової уставки. Це дозволяє забезпечити час спрацьовування інтегрального селективного захисту за час менший, ніж 20 мс, тобто підвищити швидкодію захисту в порівнянні з технічним рішенням, прийнятим в [1].

Використання комплексного критерію спрацьовування захисту, що включає декілька параметрів (ΔI_{Φ} , $\cos\varphi$ та вид струму збурення) кола, що захищається, дозволяє помітно спростити алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою при реалізації швидкодіючого струмового захисту з високою чутливістю до струмів віддалених КЗ. Цьому сприяє і запропонований спосіб визначення значень ΔI_{Φ} та $\cos\varphi$ на основі аналізу інтегралів квадратів

$$Q_{(a,b,c)} = \int_0^t \Delta i_{(a,b,c)}^2 dt$$

струмів збурення у фазах

Дійсно, адже розрахунок вказаних інтегралів одночасно використовується як для реалізації інтегрального захисту, так і для реалізації захисту від віддалених КЗ.

Суть способу струмового захисту, що заявляється, пояснюється кресленнями (фіг. 1-4).

На фіг. 1 наведені графіки залежностей $S\{\Delta i_{(a,b,c)}(t)\}^2$ при двох значеннях $\cos\varphi$, там же проілюстрована фізична суть часу, що використовується для ідентифікації струмів віддалених КЗ.

На фіг. 2 наведена залежність коефіцієнта потужності електричного кола $\cos\varphi$ від часу t_{SM} .

На фіг. 3 наведена блок-схема, що ілюструє алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою при реалізації запропонованого струмового захисту.

На фіг. 4 наведена часострумова захисна характеристика, що формується мікропроцесорним пристроєм, при реалізації запропонованого струмового захисту.

Для того, щоб зрозуміти суть способу швидкодіючого струмового захисту, що заявляється, передусім, слід розглянути фізичну суть часу t_{SM} , використовуваного для визначення ($\cos\varphi$) - одного з параметрів комплексного критерію ідентифікації виду струму збурення.

На фіг. 1 наведені залежності функції $S\{\Delta i_{(a,b,c)}(t)\}^2 = 3\Delta I_{\Phi}^2 \left\{ 1 - 2e^{-\frac{t}{T}} \cos(\omega t) + e^{-\frac{2t}{T}} \right\}$ для двох

значень коефіцієнта потужності електричного кола, характерних для запуску електродвигунів ($\cos\varphi=0,3$) і віддаленого КЗ ($\cos\varphi=0,7$). Як витікає з фіг. 1, час t_{SM} - це час, протягом якого термічна дія струмів збурення, сума квадратів величин яких дорівнює максимальному значенню

функції $S\{\Delta i_{(a,b,c)}(t)\}^2$, тобто S_M , дорівнюватиме фактичній термічній дії струмів збурення за час, що дорівнює періоду зміни струму. По суті, це час еквівалентної термічної дії на мережу максимальної суми квадратів струмів усіх трьох фаз, яка залежить від величини коефіцієнта потужності електричного кола - $\cos\varphi$. Математично цей еквівалентний час t_{SM} визначається

рівністю: $\int_0^T S\{\Delta i_{(a,b,c)}(t)\}^2 dt = \int_0^{t_{SM}} S_M dt$, а графічна ілюстрація суті вказаного часу показана на фіг. 1.

Як видно з фіг. 1, при $\cos\varphi=0,3$ і $\cos\varphi=0,7$ значення t_{SM} досить істотно відрізняються один від одного (12,05 і 17,2 мс відповідно), що свідчить про вагомість значень t_{SM} для надійного визначення величини $\cos\varphi$.

На фіг. 2 наведена графічна залежність коефіцієнта потужності електричного кола $\cos\varphi$ від еквівалентного часу t_{SM} . Табличну залежність вказаних параметрів в запропонованому способі струмового захисту використовують для визначення величини $\cos\varphi$ і "відстройки" від пускових струмів при реалізації захисту від віддалених КЗ.

Що стосується "відстройки" від струмів перевантаження при реалізації запропонованого струмового захисту, то її здійснюють за рахунок того, що, по-перше, критерієм спрацьовування захисту від струмів КЗ є не значення повного струму фази I_{Φ} , а тільки та його частина, яка обумовлена збуренням електричного кола, тобто значення струму збурення вказаного кола -

ΔI_{ϕ} . По-друге, визначення параметрів струму збурення (ΔI_{ϕ} та $\cos \varphi$) здійснюється дуже швидко (протягом одного періоду зміни струму), після чого значення струму збурення в пам'яті мікропроцесора "обнулюють". Оскільки значення струму навантаження кожного з підключених до лінії, що захищається, споживачів не може бути більшим за значення робочого струму I_r лінії, що захищається, струм збурення електричного кола, обумовлений підключенням одного споживача, не може бути більше робочого струму лінії I_r . А оскільки вірогідність одночасного підключення до цієї лінії декількох споживачів в короткий проміжок часу 20 мс надзвичайно мала, то запропонований струмовий захист в зоні струмів КЗ, фактично, не реагує на струми перевантаження.

Залежність коефіцієнта потужності електричного кола $\cos \varphi$ від часу t_{SM} використовують також для визначення і іншого параметра електричного кола, що входить до комплексного критерію спрацьовування запропонованого струмового захисту - величини симетричної складової струму збурення ΔI_{ϕ} . Вказану величину ΔI_{ϕ} визначають виходячи з виразу, що зв'язує максимальне значення суми квадратів струмів збурення у фазах S_M зі значеннями струму збурення електричного кола і коефіцієнта ударності струму $K_v \cdot S_M = 3 \Delta I_{\phi}^2 \cdot K_v$. Значення коефіцієнта ударності K_v , що зв'язує величину максимального значення струму в електричному колі (ударного значення струму) з величиною $\cos \varphi$ є в довідковій і нормативній літературі.

Реалізація підвищеної чутливості захисту до струмів КЗ в запропонованому технічному рішенні передбачає, що в зоні КЗ захист має не одну, а дві струмові уставки. При цьому значення однієї із струмових уставок I_{sd} вибирається з умови, щоб захист не спрацював у разі запуску електродвигуна, а друга струмова уставка I'_{sd} вибирається з умови, щоб захист спрацював у разі виникнення віддаленого КЗ, величина струму при якому може бути меншою за значення пускового струму або струму перевантаження.

Блок-схема, що ілюструє роботу мікропроцесорного розчеплювача (чи іншого пристрою захисту) при реалізації запропонованого способу швидкодіючого максимального струмового захисту з підвищеною чутливістю до струмів віддалених КЗ, наведена на фіг. 3. Окремі обчислювальні і логічні операції, які виробляє мікропроцесорний пристрій, на фіг. 3 умовно представлені у вигляді модулів. Фізично вказані модулі не існують, їх зображення потрібне для зручності викладу функціонування мікропроцесорного пристрою при реалізації запропонованого способу струмового захисту.

Функціонує мікропроцесорний пристрій при реалізації запропонованого способу струмового захисту наступним чином.

1. У модулі 1 сигнали від датчиків струму у фазах а, b, с після їх аналого-цифрового перетворення заносять в оперативну пам'ять мікропроцесора, де безперервно, в ковзаючому режимі, шляхом заміни старих миттєвих значень струму у фазах новими, знаходять миттєві значення струмів $i_{j(a,b,c)}$ за проміжок часу, що дорівнює двом періодам зміни струму (T_D і T_1), визначають миттєві значення струмів збурення електричного кола $\Delta i_{j(a,b,c)}$, а також значення I_p та I_{ϕ} .

2. У модулі 2 роблять порівняння миттєвих значень струмів збурення електричного кола $\Delta i_{(a,b,c)j}$ з величиною $\sqrt{2} I'_{sd}$ і у випадку $\Delta i_{(a,b,c)j} > \sqrt{2} I'_{sd}$ виробляють сигнал на визначення параметрів струму збурення - виду (дво- або трифазний), значень $\cos \varphi$ та ΔI_{ϕ} .

3. У модулі 3 за знайденими значеннями струму збурення у фазах $\Delta i_{(a,b,c)j}$ проводять аналіз виду струму збурення (дво- або трифазний). У разі, якщо струм двофазний, виробляють керуючий сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} .

4. У модулі 4, виходячи з миттєвих значень струмів збурення у фазах $\Delta i_{j(a,b,c)}$ визначають інтеграли квадратів вказаних миттєвих значень струму $Q_{(a, b,c)j}$ за період часу T_1 , їх суму

$$Q_3 = \sum_0^T Q_{(a,b,c)j} \quad \text{і еквівалентний час } t_{SM}, \text{ а потім і відповідні значення } \cos \varphi \text{ та } \Delta I_{\phi}.$$

5. У логічному модулі 5 виробляють сигнал на спрацьовування захисту І ("відсічка") у випадку, якщо значення струму збурення ΔI_{ϕ} більше за струмову уставку "відсічка" I_i і вид струму збурення - трифазний. Час спрацьовування захисту t_i визначається часом визначення величини ΔI_{ϕ} і залежить від того, задане значення $\cos \varphi$ для електричного кола із струмом $\Delta I_{\phi} = I_i$ або ні. Якщо вказане значення задане, то час спрацьовування захисту t_i дорівнюватиме

моменту часу, коли сума квадратів величин $S = \sum (\Delta i_{ja}^2 + \Delta i_{jb}^2 + \Delta i_{jc}^2)$ досягне свого максимального значення S_M .

6. У логічному модулі 6 виробляють сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} . Сигнал "Так" виробляється у випадку, якщо вид струму - трифазний і значення струму збурення ΔI_ϕ більше за струмову уставку I_{sd} , вибрану з урахуванням забезпечення нормального запуску електродвигунів, включених в електричне коло, що захищається, при цьому значення $\cos\varphi$ може набувати будь-якого значення в діапазоні ($\cos\varphi=0\div 1$).

7. У логічному модулі 7 виробляють сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} . Сигнал "Так" виробляється у разі, якщо вид струму - трифазний і значення струму збурення ΔI_ϕ більше величини струмової уставки I_{sd} , вибраної з урахуванням захисту від віддалених коротких замикань, а значення $\cos\varphi$ тотожне або більше за задану величину K_M ($\cos\varphi > K_M$).

8. У модулі 8 формують сигнал на спрацьовування захисту з часом спрацювання селективного захисту t_{sd} і t_Q . Сигнал "Так" визначається моментом часу, що відповідає рівності значення інтеграла квадрата величини струму збурення в одній з фаз величині інтегральної уставки ($Q_{(a, b, c)} = Q_{sd}$).

9. У модулі 9, якщо через 40 мс після виникнення струму збурення (часу двох періодів зміни струму частоти 50 Гц) не сталося спрацьовування захисту від інтегральної уставки $t_Q > 40$ мс, визначають значення струму збурення як різницю значень повного струму у фазі I_ϕ і струму передісторії I_p . При цьому значення струму I_ϕ визначають методом інтегрування миттєвих значень струму у фазах за третій період T_3 .

10. У модулі 10 порівнюють значення струму збурення ΔI_ϕ , визначеного методом інтегрування миттєвих значень з величиною струмової уставки I_{sd} , вибраної з урахуванням захисту від віддалених коротких замикань, і у випадку, якщо $\Delta I_\phi < I_{sd}$ виробляють керуючий сигнал "Ні" в модуль 8 формування часів селективного захисту t_Q і t_{sd} . Тим самим блокують формування часів спрацьовування селективного захисту, розпочате раніше керуючими сигналами з модулів 6, 7 і 8.

Мікропроцесорний розчеплювач вимикача (чи іншого мікропроцесорного пристрою) при роботі за наведеним вище алгоритмом формує нову захисну, досконалішу в порівнянні з існуючими, часострумову характеристику струмового захисту, яка наведена на фіг. 4.

Ділянка 1-2 часострумової характеристики захисту формується так само, як і існуючі захисти від струмів перевантаження - час спрацьовування t_c залежить від величини повного струму у фазі.

Перехід від часострумової характеристики зони перевантаження (L) до часострумової характеристики зони КЗ (S), залежно від типу струму збурення, може відбуватися або по лінії 2-3, коли величина струму збурення ΔI_ϕ більша за величину струмової уставки I_{sd} , вибраної з урахуванням забезпечення пуску електродвигуна, або по ламаній лінії 2-7-8 у разі віддаленого КЗ (чи реалізації режиму резервування). Якщо струм збурення електричного кола ΔI_ϕ ідентифікований як пусковий струм електродвигуна, то струмова уставка захисту, по суті, збільшується від величини уставки віддаленого КЗ I_{sd} до величини уставки I_{sd} , вибраної з умови можливості запуску електродвигуна, що і відображене на фіг. 4.

Відрізок часострумової характеристики від струму, що дорівнює уставці віддаленого КЗ (чи резервування) $\Delta I_\phi = I_{sd}$, до струму, що дорівнює уставці "відсічення" $\Delta I_\phi = I_i$, формується часовим і інтегральним модулями (див. фіг. 3). Обидва вказані модулі паралельно формують час спрацьовування селективного захисту по двох різних залежностях. Час спрацьовування, що формується часовим модулем, не залежить від значення струму електричного кола - $t_c = t_{sd} = \text{const}$, а час спрацьовування t_Q , що формується інтегральним модулем, визначається величиною інтеграла квадрата струму, що протікає у фазі, тобто знаходиться в зворотній залежності від квадрата величини діючого значення струму. Завдяки такому паралельному формуванню часів спрацьовування і забезпечується оптимальна захисна характеристика селективного захисту. При порівняно невеликих струмах час спрацьовування обмежується значенням фіксованої витримки часу $t_c = t_{sd} = \text{const}$ (ділянки 8-4, або 9-4). При значних значеннях струму ΔI_ϕ (ділянка 9-10), часи спрацьовування захисту t_c виявляються невеликими внаслідок того, що інтегральна уставка Q_{sd} , забезпечуючи селективність, враховує особливості роботи

вимикача, що стоїть нижче, при великих струмах КЗ - зменшення часу відключення (з 40-50 мс при невеликих струмах до 5-7 мс при великих), а також і обмеження струму КЗ. В результаті цього інтеграл відключення вимикача, що стоїть нижче, електричного кола з великим струмом КЗ виявляється значно меншим інтеграла відключення цього ж електричного кола вимикачем, що стоїть вище, з фіксованою витримкою часу на відключення. Тому за наявності у вимикача інтегральної уставки Q_{sd} , величина якої вибирається в два рази більшою, ніж значення інтеграла відключення електричного кола апаратом, що стоїть нижче, час спрацьовування селективного захисту виходить значно меншим за умисну затримку спрацьовування (часової уставки t_{sd}). На фіг. 4 таке зниження часу спрацьовування селективного захисту характеризується ділянкою 4-10.

У разі перевищення струмом збурення ΔI_{ϕ} значення уставки "відсічки" I_i захист спрацьовує без умисної затримки спрацьовування - ділянка 10-5-6.

Таким чином, спосіб струмового захисту, що пропонується, формує більш досконалі часострумові характеристики захисту і тим самим реалізує поставлене у основу винаходу задачу - забезпечує, як високу чутливість до струмів віддалених КЗ, так і, обумовлений вказаною високою чутливістю до струмів КЗ режим резервування, а також забезпечує швидкодію селективного захисту.

Джерела інформації:

1. Пат. 73195 України МПК Н 02 Н 3/08 Спосіб максимального струмового захисту електроустановок / Г.М. Гапоненко, Ю.М. Агафонов, С.Г. Рассомахін, В.М. Шлокін. - № 2003010807. Заявлено 30.01.2003; Опубл. 15.06.2005, Бюл. № 6.

2. Пат. 81981 України МПК Н 02 Н 7/00, Н 01 Н 73/00 Система захисту розгалужених трифазних електричних кіл від струмів віддалених коротких замикань / Г.М. Гапоненко, В.В. Омельченко, О.С. Кобозев. - № а200604596. Заявлено 25.04.2006; Опубл. 25.02.2008, Бюл. № 4.

3. Венцель Е.С. Теория вероятности и её инженерные приложения. - М., Академия, 2003.- 455 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб швидкодіючого максимального струмового захисту з високою чутливістю до струмів віддалених коротких замикань, відповідно до якого здійснюють вимір миттєвих значень струму в кожній з трьох фаз і їх аналого-цифрове перетворення, при цьому визначення миттєвих значень струму i_j здійснюють через однакові проміжки часу Δt безперервно із зрушенням часового інтервалу t_u на величину чергового відліку значення струму i_j , здійснюють вимір миттєвого значення струму збурення електричного кола Δi_j , як приросту миттєвої величини струму в кожній фазі електричного кола i_{jT_1} , протягом першого поточного періоду зміни струму T_1 та аналогічних значень струму i_{jT_p} в попередній період зміни струму T_p - струму передісторії ($\Delta i_j = i_{jT_1} - i_{jT_p}$), визначають діюче значення струму передісторії I_p , здійснюють розрахунок

величин інтеграла квадрата миттєвих значень приросту струму в кожній фазі $Q_{(a,b,c)} = \int_0^t \Delta i_{j(a,b,c)}^2 dt$,

які порівнюють зі значенням інтегральної уставки Q_{sd} , при цьому момент часу, що відповідає рівності значень - $Q_{(a,b,c)} = Q_{sd}$, використовують для формування часу спрацьовування інтегрального селективного захисту t_Q , який **відрізняється** тим, що розрахунок величин

інтегралів квадрата миттєвих значень приросту струму в кожній фазі $Q_{(a,b,c)} = \int_0^t \Delta i_{j(a,b,c)}^2 dt$

проводять у момент часу, коли миттєве значення струму збурення в одній з фаз $\Delta i_{(a,b,c)j}$ стане більшим за величину $\sqrt{2}I'_{sd}$, де I'_{sd} - значення струмової уставки, вибраної з урахуванням захисту від віддалених КЗ, проводять також аналіз виду струму збурення - є він двофазним або трифазним і у разі, якщо струм збурення трифазний, то підсумовують значення інтегралів квадратів миттєвих значень струму приросту усіх трьох фаз за час періоду зміни струму

$T - Q_3 = \sum_0^T Q_{(a,b,c)j}$, визначають максимальне значення суми квадратів миттєвих значень струмів

приросту усіх трьох фаз $S_M = \sum (\Delta i_{ja}^2 + \Delta i_{jb}^2 + \Delta i_{jc}^2)$, потім шляхом ділення величини сумарного для усіх трьох фаз інтеграла квадратів миттєвих значень струму приросту усіх трьох фаз Q_3 на максимальне значення суми квадратів миттєвих значень струмів приросту S_M визначають час

5 $t_{SM} = \frac{Q_3}{S_M}$, після чого за величиною t_{SM} визначають величину коефіцієнта потужності електричного кола зі струмом збурення $\cos \varphi$, яка пов'язана зі значенням коефіцієнта потужності $\cos \varphi$ наступною табличною залежністю $\cos \varphi = f(t_{SM})$:

t_{SM}	10,4	11,1	12,05	13,2	14,1	15,0	17,2	17,8	18,8	20
$\cos \varphi$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0,

10 потім обчислюють значення симетричної складової струму приросту ΔI_ϕ за виразом

$3\Delta I_\phi = \sqrt{\frac{S_M}{K_y}}$, де K_y - коефіцієнт ударності струму в електричному у колі, значення якого

визначають з відомої залежності $K_y = f(\cos \varphi)$, після чого, виходячи з поєднання знайдених значень наступної сукупності параметрів електричного кола, що захищається - ΔI_ϕ , $\cos \varphi$ і виду струму збурення, виробляють один з наступних керуючих сигналів на спрацьовування захисту:

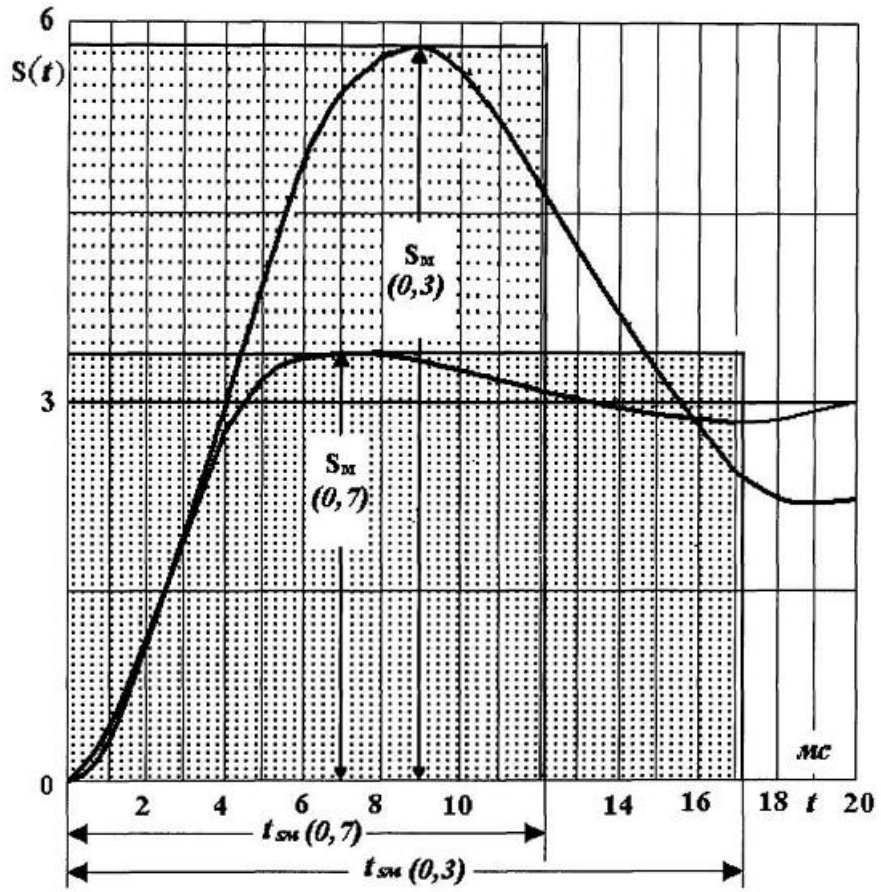
15 якщо струм збурення двофазний, виробляють керуючий сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q та t_{sd} ;

якщо струм збурення трифазний, значення струму збурення більше за величину уставки миттєвого спрацьовування ("відсічки") I_i , то при будь-якому значенні $\cos \varphi$ ($\cos \varphi = 0 \div 1$) виробляють керуючий сигнал на миттєве спрацьовування захисту;

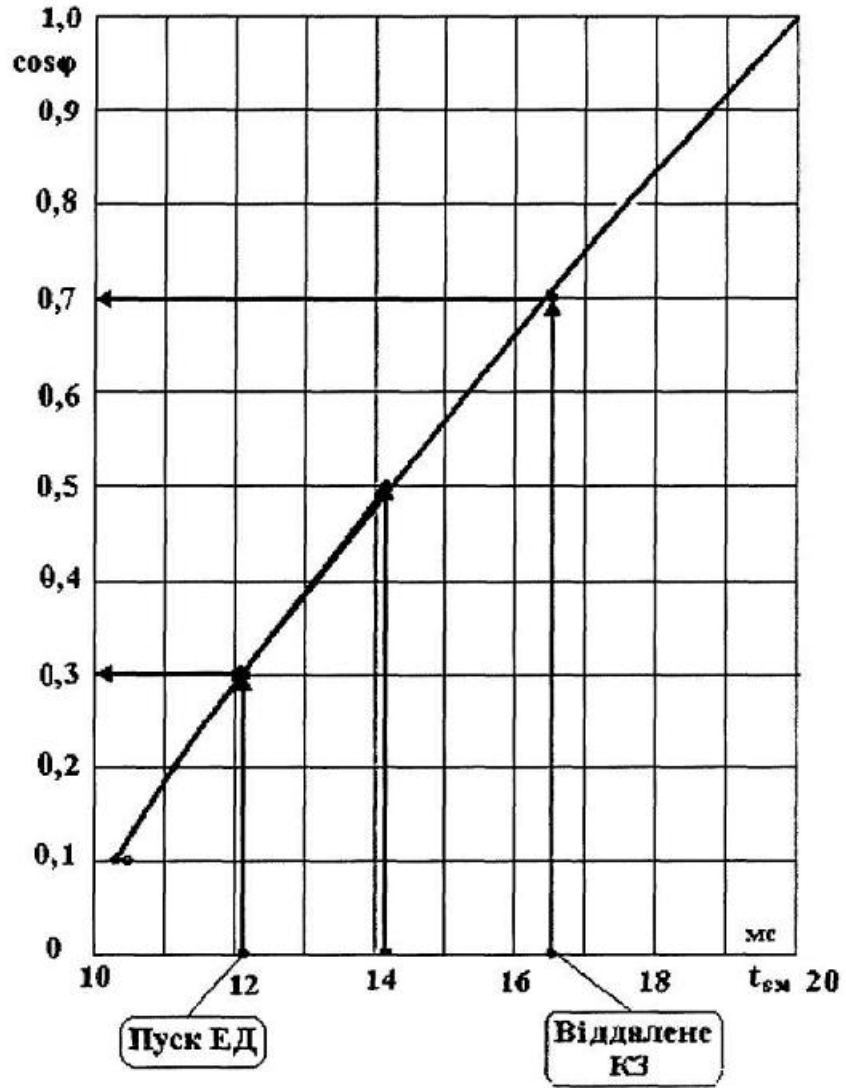
20 якщо струм трифазний, значення струму збурення ΔI_ϕ більше за величину струмової уставки I_{sd} , що вибрана з урахуванням забезпечення нормального запуску електродвигунів, включених в електричне коло, що захищається, то при будь-якому значенні $\cos \varphi$ ($\cos \varphi = 0 \div 1$) виробляють керуючий сигнал, на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q та t_{sd} ;

25 якщо струм збурення трифазний, значення струму ΔI_ϕ більше за величину струмової уставки I'_{sd} , що вибрана з урахуванням захисту від віддалених коротких замикань, а значення $\cos \varphi$ тотожне або більше за задану величину K_M ($\cos \varphi > K_M$), то виробляють керуючий сигнал на формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} ;

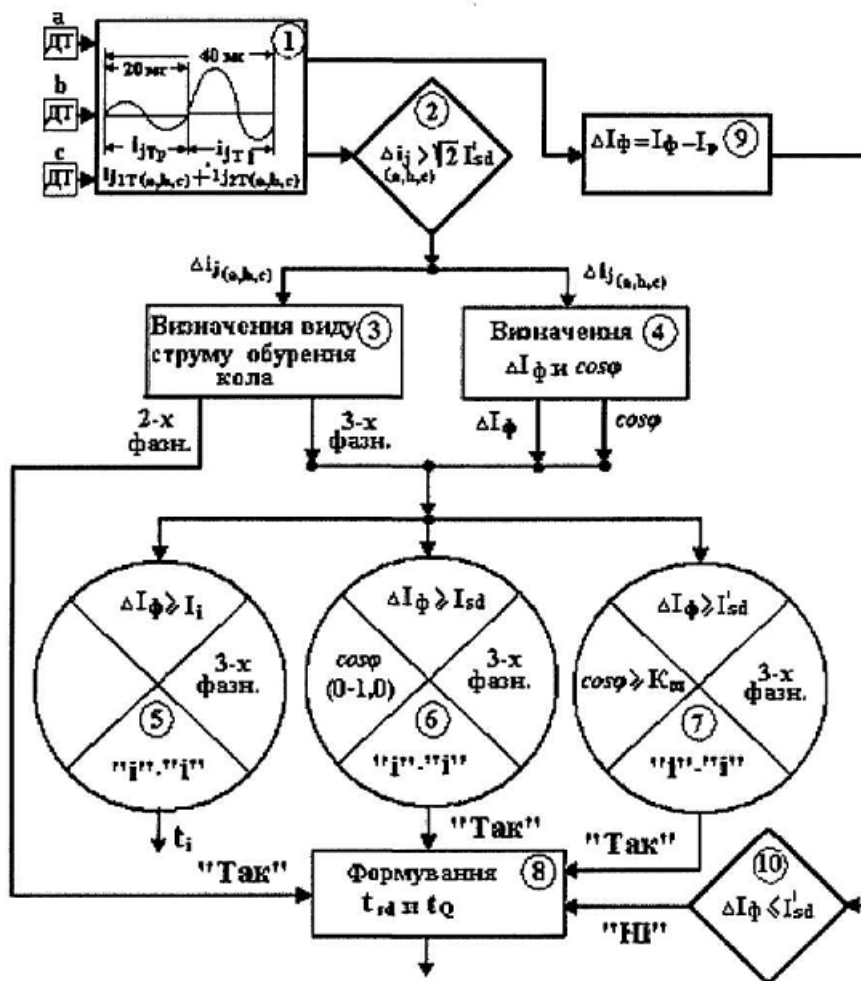
30 якщо за час, що дорівнює двом періодам зміни струму $2T$ (при частоті мережі 50 Гц- $2T=40$ мс), не сталося спрацьовування захисту, визначають величину діючого значення струму збурення електричного кола у фазах ΔI_ϕ , як різницю діючого значення повного струму у фазі за третій період зміни струму T_3 після виникнення струму збурення I_ϕ і діючого значення струму передісторії I_p ($\Delta I_\phi = I_\phi - I_p$) і у випадку, якщо значення ΔI_ϕ виявиться меншим за величину уставки I'_{sd} , то виробляють керуючий сигнал на блокування формування часів спрацьовування селективного захисту t_Q і t_{sd} .



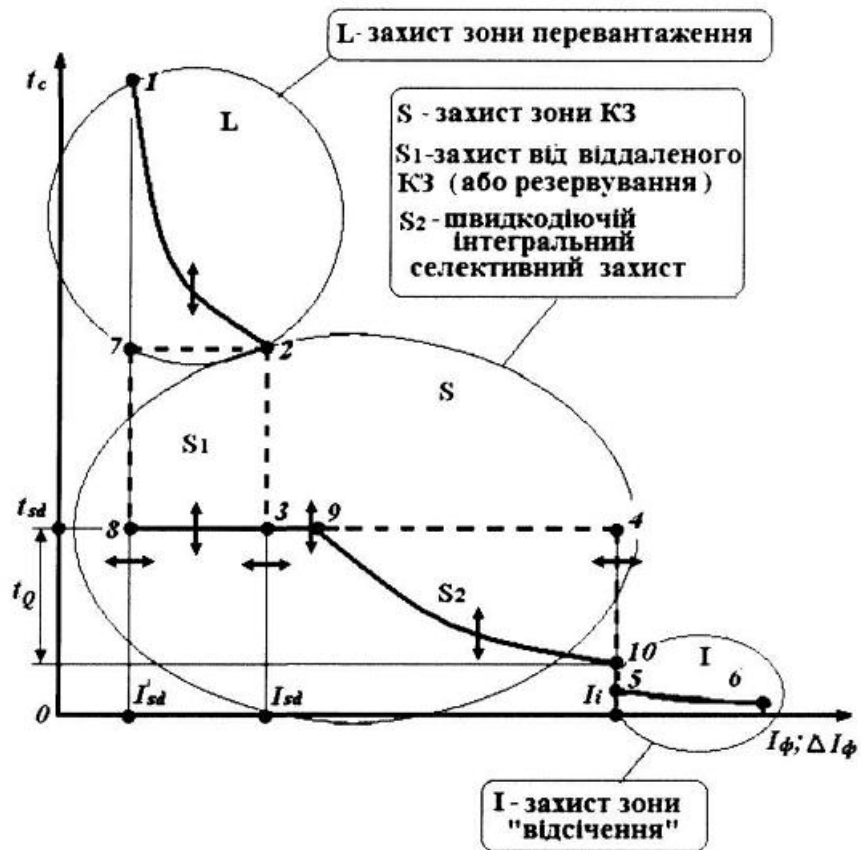
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка Л. Купенко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601