

УДК 621. 311: 621. 317. 613: 621. 316. 935: 621. 316. 923. 5

ПОБИГАЙЛО В. А., кандидат технічних наук, доцент

КАЛІНЧИК В. П., кандидат технічних наук, доцент

Інститут енергозбереження та енергоменеджмента НТУУ «КПІ», м. Київ

КОМПЛЕКС «РЕАКТОР – КЕРОВАНІЙ ШУНТ», ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ В ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Рассмотрено научную и практическую актуальность проблемы повышения эффективности функционирования средств ограничения токов короткого замыкания (КЗ), сформулированы цель и задачи исследования. Как решение исследований предлагается комплекс и способ управления ограничением токов КЗ в электроснабжающих производственных системах по схеме "реактор - управляемый шунт". Построен алгоритм работы системы "реактор - управляемый шунт". Впервые построена схема причинно - следственных связей возникновения токов КЗ – схема Исикавы, согласно ISO 9004.

Ключевые слова: ток короткого замыкания, реактор, Исикава, ISO 9004, эффективность, ограничения, запобіжник, управляемый шунт, снижение потерь.

Розглянуто наукову і практичну актуальність проблеми підвищення ефективності функціонування засобів обмеження струмів короткого замикання (КЗ), сформульовано мету і задачі досліджень. Як рішення досліджень пропонується комплекс і спосіб керування обмеженням струмів КЗ у електропостачальних виробничих системах за схемою "реактор – керований шунт". Побудовано алгоритм роботи системи "реактор – керований шунт". Уперше побудовано схему причинно – наслідкових зв'язків виникнення струмів КЗ (схема Ісікави), згідно ISO 9004.

Ключевые слова: ток короткого замыкания, реактор, Исикава, ISO 9004, эффективность, ограничения, запобіжник, управляемый шунт, снижение потерь.

Вступ

Серед проблем розвитку енергетичного комплексу України важливе місце в умовах зростання рівнів струмів КЗ займають питання підвищення ефективності методів і засобів обмеження струмів КЗ. При цьому, основним чинником є інтенсифікація темпів зменшення втрат електричної енергії у електропостачальних виробничих систем (ЕПВС), що може бути досягнуто реалізацією нових і підвищенням ефективності існуючих методів і засобів обмеження струмів КЗ.

Дослідження показують, що питання зниження втрат електричної енергії під час відсутності струмів КЗ у ЕПВС, потребують нових підходів при їх вирішенні. Це пов'язано як з подальшим підвищенням ефективності функціонування засобів і методів обмеження струмів КЗ, що використовуються на сьогоднішній день, так і з активним використанням принципово нових засобів і методів обмеження струмів КЗ – пристроїв керування засобами обмеження струмів КЗ, побудованих на теорії прийняття рішень [1].

Проведений аналіз існуючих засобів і методів обмеження струмів КЗ доводить, що, підвищуючи ефективність засобів обмеження струмів КЗ з використанням теорії прийняття рішень, можна знизити витрати, які пов'язані з обслуговуванням устаткування, що обмежує струми КЗ, за рахунок зменшення втрат у режимі відсутності струмів КЗ, тобто здійснити реальне енергозбереження при обмеженні струмів КЗ у ЕПВС [2].

Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування засобів обмеження струмів КЗ у виробничих системах за рахунок оптимізації режимів їх функціонування.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- аналіз способів і засобів обмеження струмів КЗ у ЕПВС;
- розробка комплексу «реактор – керований шунт», що базується на теорії прийняття

рішень;

- побудова алгоритму роботи комплексу «реактор – керований шунт», що базується на теорії прийняття рішень.

Рішення поставленої задачі

При експлуатації ЕПВС промислових об'єктів часто відбуваються КЗ, які призводять до порушення нормального режиму роботи електроустановок і можуть вести до порушення електропостачання споживачів електроенергії. З огляду на основні причинно – наслідкові зв'язки виникнення струмів КЗ можна побудувати схему причинно – наслідкових зв'язків виникнення струмів КЗ (схема Ісікаві), згідно ISO 9004, що представлений на рис. 1.

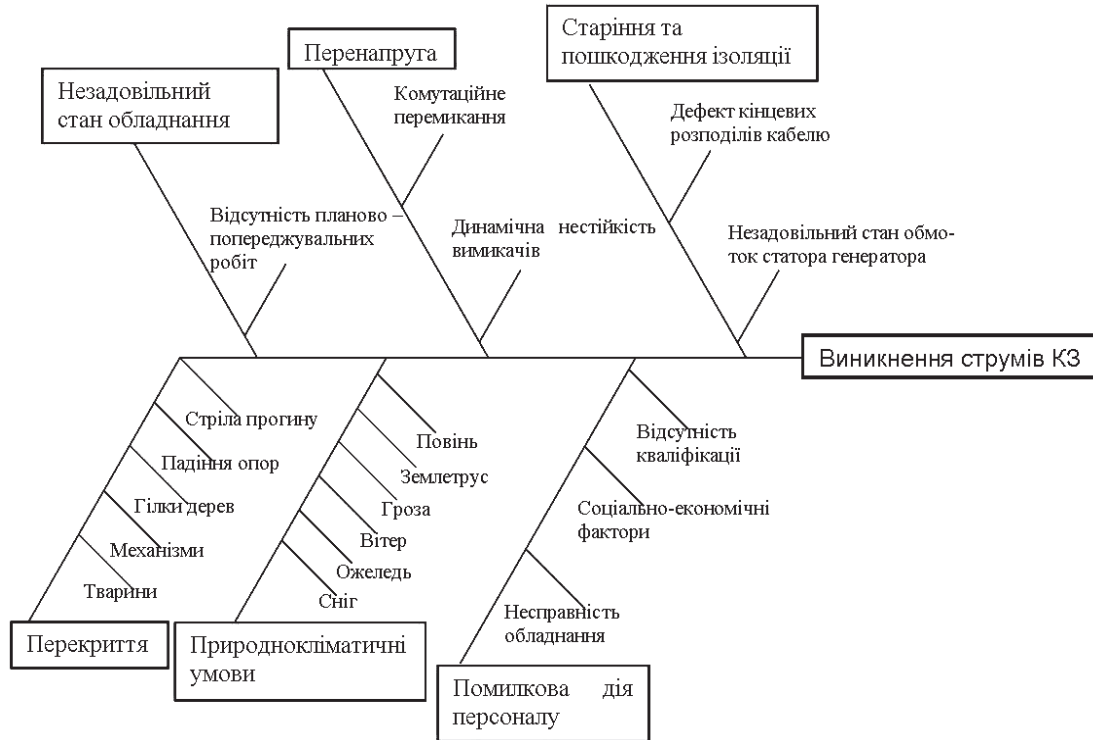


Рис. 1. Схема причинно – наслідкових зв'язків виникнення струмів КЗ

Наслідками КЗ в електроустановках є: ушкодження електроустановки, знос ресурсу вимикачів, зниження рівня напруги в мережі, загоряння й інші прояви збитку. По своїй фізичній сутності струм КЗ є безперервно випадковим процесом. Сукупність характеристик, що описують ймовірний характер різних параметрів і умов КЗ, є ймовірними характеристиками КЗ в електроустановці.

З метою зменшення впливу струмів КЗ на електроустановки запропоновані і використовуються різні методи і засоби обмеження струмів КЗ [2, 3]. З огляду на специфіку розвитку ЕПВС, а також техніко – економічні характеристики розробляються і досліджуються принципово нові засоби обмеження струму КЗ, які дозволяють обмежувати не тільки величину струму КЗ, але і його тривалість. Також проаналізовано недоліки та переваги існуючих методів та засобів обмеження струму КЗ.

Як відомо, на Україні найбільш розповсюдженим засобом обмеження струмів КЗ у мережах 6–10 кВ є нерегульовані одинарні та здвоєні бетонні реактори з лінійною характеристикою. Вони розрізняються конструктивним виконанням, а також технічними і техніко – економічними характеристиками і параметрами. Існує загальна класифікація реакторів з різним призначенням, що наведена в ГОСТ 18624–73.

Поряд з існуючими способами і засобами обмеження струмів КЗ знаходить застосування також теорія прийняття рішень. Зокрема, розглянемо спосіб прийняття рішень, який може базуватися на теорії розпізнавання образів, застосування якої дозволяє розпізнавати нормальні, передаварійні та аварійні режими експлуатації ЕПС виробничих систем.

Для рішення задачі підвищення ефективності функціонування засобів обмеження струмів КЗ пропонується комплекс і спосіб керування обмеженням струмів КЗ у ЕПВС за схемою “реактор – керований шунт”, у якому включення і відключення індуктивного опору здійснюється автоматично при виникненні струму КЗ [4].

Принцип дії пристрою заснований на використанні теорії прийняття рішень, а саме, на порівнянні вимірюваного струму з еталонним і формуванні керуючого сигналу, що впливає на індуктивний опір. На рис. 2 представлена структурна схема пристрою обмеження струму КЗ. У розріз електричної мережі 1 включений індуктивний опір (реактор, що обмежує струм КЗ) 2, який зашунтовано комутаційним елементом 3. До електричної мережі підключений блок виміру 4, зв'язаний з аналізатором 5, керуючий вихід якого через пристрій 6 підключений до входу керування комутаційного елемента 3.

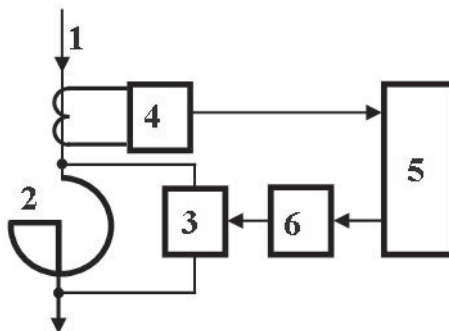


Рис. 2. Структурна схема пристрою обмеження струму КЗ

Періодично через відрізки часу Δt ($\Delta t = T/N$, де T – інтервал контролю, N – число точок контролю) вимірюють величину фактичного струму електричної мережі $I_{Тф}$. Визначають величину неузгодженості ΔI_T між фактичним $I_{Тф}$ і заданим (еталонним) $I_{Те}$ струмом за контрольований інтервал часу T

$$\Delta I_T = \sqrt{\sum_{t=1}^n (I_{Тф} - I_{Те})^2}, \quad (1)$$

де $I_{Те}$ – величина, що враховує умови навантаження, яке виникає в момент пуску електродвигунів; визначається з виразу $I_{Те} = 1,8 I_{норм}$.

У випадку, якщо $\Delta I_T \geq \delta I$, де величина δI (наприклад $\delta I = 0,1$), встановлюється кроком дискретизації, формується керуючий вплив, що відключає комутуючий елемент.

У всіх інших випадках пристрій 6 формує сигнал керування для комутаційного елемента 3, що шунтує індуктивний опір 2. Після цього інформація з блоку виміру 4 знову надходить на аналізатор 5.

У комплексі “реактор – керований шунт” використовується математичний метод нелінійного перетворення, який полягає в тому, що в процесі прийняття рішення наданий для розпізнавання сигнал і еталон піддають нелінійному перетворенню і, як міру подібності, використовують функціонал

$$S = \int_0^T \{\phi[x(t)] - \phi[z(t)]\}^2 dt,$$

де ϕ – оператор перетворення.

Таким чином, вибирається відстань між сигналом та еталоном після їх нелінійного перетворення, мета якого є мінімізація цієї відстані, тобто ущільнення сигналів усередині одного класу при одночасному збільшенні відстані між сигналами та еталонами різних класів. Цей принцип базується на принципі стислих зображень, який формулюється теоремою Банаха.

Проектуючи систему «реактор – керований шунт» було доведено залежність статистичних ознак – функцій, які використовуються при побудові системи прийняття

рішення в комплексі обмеження струмів КЗ “реактор – керований шунт”, від характеристик ймовірного процесу. Для цього було використано математичний апарат викиду ймовірних функцій. Було визначено, що математичне очікування статистичної ознак – функції випадкового процесу дорівнює густині розподілу ймовірності цього процесу, що усереднена за час аналізу

$$M[h(x)] = \frac{1}{T} \int_0^T f(x, t) dt.$$

Було також виведено залежності, які визначають перший і другий статистичні моменти ознак – функції по відомим одномірним і двомірним щільностям розподілу імовірності вихідного випадкового процесу.

Алгоритм обмеження струму КЗ системою «реактор – керований шунт», наведено на рис. 3.

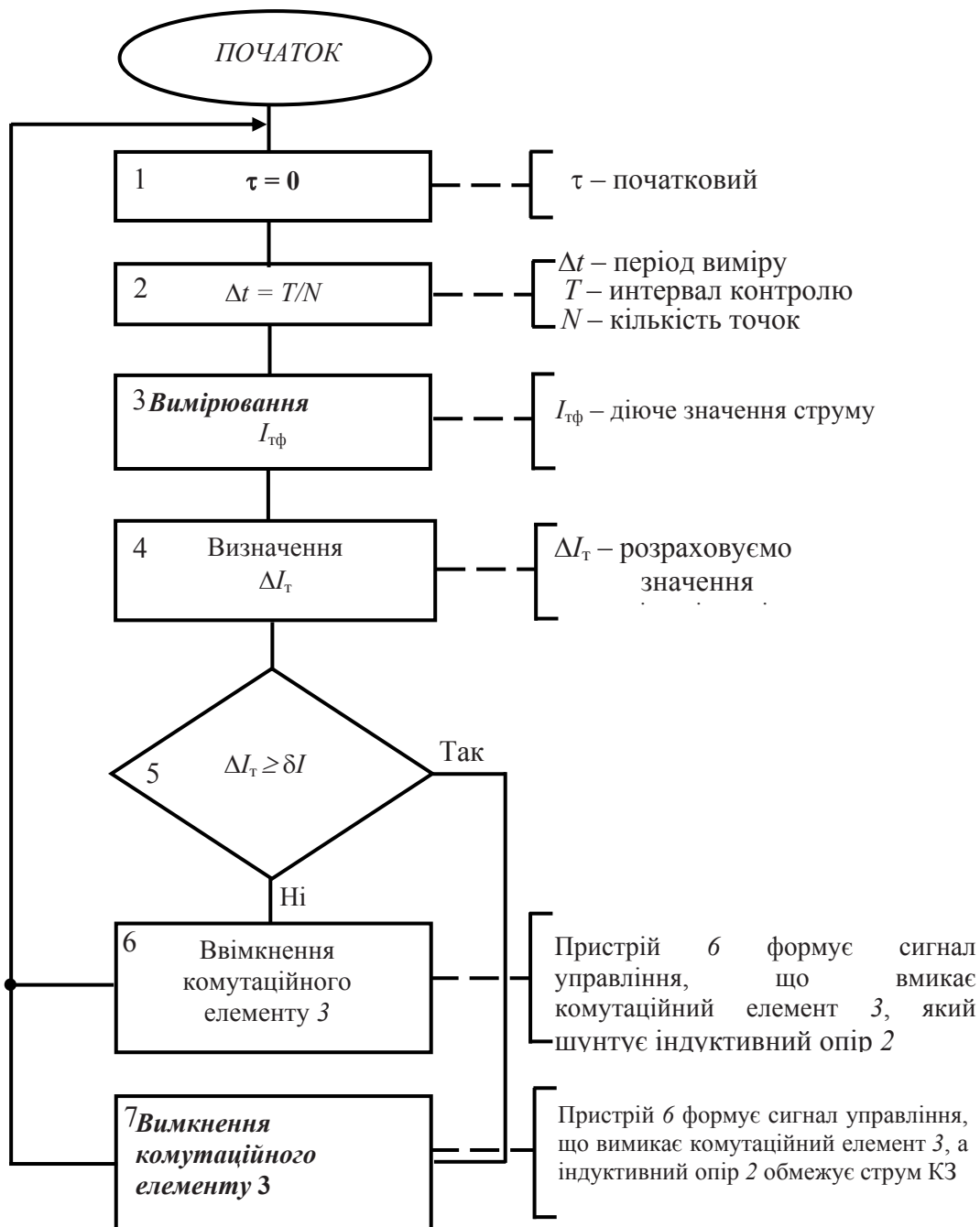


Рис. 3. Алгоритм роботи аналізатору

Запропонований спосіб обмеження струмів КЗ у ЕПВС та комплекс для його реалізації за схемою “реактор – керований шунт” повністю компенсує всі недоліки, які мають місце при обмеженні струмів КЗ у ЕПВС за схемою “реактор – некерований шунт” [3]. Слід також зазначити, що обмеження струмів КЗ у ЕПВС за схемою “реактор – керований шунт” має певні переваги по відношенню до інших засобів обмеження струмів КЗ, зокрема:

- наявність подальшого розвитку та вдосконалення цієї системи обмеження струмів КЗ;
- швидкодія та надійність;
- дотримання вимог з енергозбереження;
- можливість збору та якісного використання статистичних даних по струмам КЗ у ЕПВС.

Висновки

Існуючі пристрої і методи обмеження струмів КЗ мають ряд істотних недоліків [1–3]:

- одноразовість роботи, тобто необхідна заміна запобіжника після перегорання плавкої вставки;
- наявність електричної дуги в момент перегорання, що є провідником струму КЗ;
- недостатня експлуатаційна надійність;
- нестабільні струмо-часові характеристики;
- обмежена зона використання по величині номінальних струмів і номінальних напруга;
- некерованість від зовнішніх пристроїв, зокрема від пристроїв АПВ ланцюга, що захищається.

У розробленому пристрої керування обмеженням струмів к. з., де включення і відключення індуктивного опору виробляється автоматично при виникненні струму КЗ усі перераховані недоліки відсутні.

Список літератури

1. Розен В. П., Побігайло В. А. Засіб струмообмеження як один з способів ефективного енерговикористання // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2001. – № 421. – С. 181 – 188.
2. Розен В. П., Тарадай В. И., Несен Л. И., Побігайло В. А. Аналіз підходів до вирішення проблеми обмеження струмів короткого замикання у виробничих і енергетичних системах / ІЕЕ НТУУ “КПІ”. – Київ.: 1999. – 18 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ України 26.07.99, № 225 Ук99 // Анот. в ж. ВИНТИ РАН № 10 (333), 1999.
3. Розен В. П., Соловей О. І., Момот Д. Є., Побігайло В. А. Математична модель роботи струмообмежувальних пристроїв за схемою “реактор – запобіжник” // Вісник Національного технічного університету України “КПІ”. Серія гірництво. – 2000 р. – № 4. – С. 82 – 90.
4. Патент України № 2002021620 від 15.11.2002 р. Спосіб обмеження струмів КЗ і пристрій для його реалізації. В. П. Розен, В. П. Калинчик, Д. Е. Момот, В. А. Побігайло.

THE COMPLEX "REACTOR – CONTROLLED SHUNT" AS MEANS FOR INCREASING EFFECTIVENESS OF LIMITATION OF SHORT CIRCUIT CURRENTS IN INDUSTRIAL SYSTEMS OF ELECTRIC POWER SUPPLY

POBIGAYLO V. A., p.h.d., assistant professor
 KALINCHIK V. P., p.h.d., assistant professor
 Institute for Energy Saving and Energy Management NTUU «KPI»

The paper consider scientific and practical relevance of the problem of increasing the efficiency of the means for limitation of short-circuit (SC) currents , formulates the goal and objectives of the study. It suggests a complex and a method to manage limitation control of SC currents in industrial electric power supply systems using the "reactor - controlled shunt" design as a solution. It builds an operating procedure for the system "reactor - controlled shunt". A cause and

effect diagram for emergence of SC currents - the Fishbone Diagram as per ISO 9004 was built for the first time.

Key words: short circuit current, reactor, Fishbone Diagram, ISO 9004, effectiveness, limitations, protecting device, controlled shunt, losses reduction

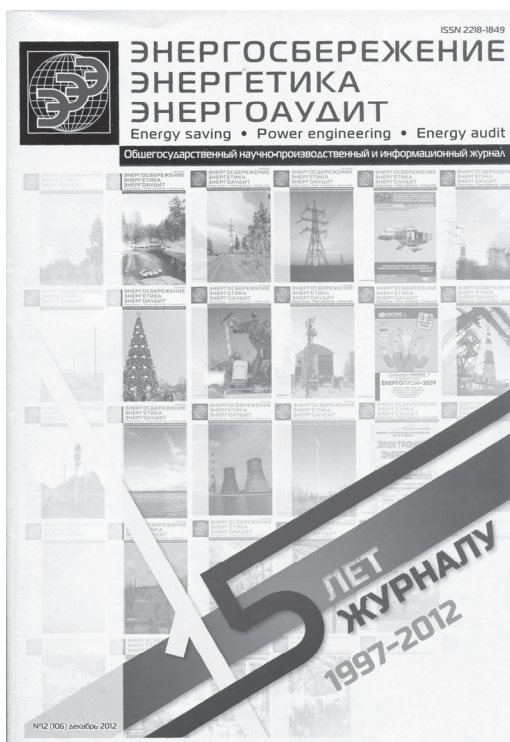
1. Rosen V.P., Pobigaylo V.A. Tool strumoobmezhennya as one of the effective ways of energy use // Proceedings of the National University "Lviv Polytechnic". [Zasib ctrumoobmezhennia yak odyn z spocobiv efektyvnogo energokorystuvannia// Visnyk Natsionalnogo universytetu "Lvivska Politehnika"]. Electricity and electromechanical systems. – 2001. – № 421. – S. 181–188.

2. Rosen V. P., Taradai V. I., Nesen L. I., Pobigaylo V. A. Analysis approaches k Decision Problems restrictions currents in short замыканыа proizvodstvennykh and enerhetycheskyh systems [Analiz pidkhodiv do vyrishennia problemy obmezhennia strumiv korotrogo zamykannia u vyrobnychykh i enerhetychnykh systemakh] / IEE "KPI". – Kiev.: 1999. – 18 p. – Eng. – Dep. HNTB of Ukraine on 26.07.99, № 225 Uk99 // anoth. in the same. VINITI RAS № 10 (333), 1999.

3. Rosen V. P., Solovey O.I., Momot D.E., Pobigaylo V.A. A mathematical model of the limiting current devices under the "reactor - fuse" // Proceedings of the National Technical University of Ukraine "KPI". [Matematychna model roboty strumoobmezhuvalnykh prystroiv za skhemoiu "reaktor-zapobizhnyk"// Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu Ukrainy "KPI"]. A series of mining. – 2000 – № 4. – S. 82–90.

4. Patent of Ukraine № 2002021620 from 15.11.2002, the way to limit short-circuit currents and device for its implementation [Patent Ukrainy № 2002021620 vid 15.11.2002 r. Sposib obmezhennia strumiv KZ i prystriy dla yogo realizatsii] Rosen V .P., Kalynchyk V. P., Momot D. E., Pobigaylo V. A.

Поступила в редакцию 13.03 2014 г.



**Уважаемые предприниматели!
Подписчиками журнала
«Энергосбережение·Энергетика·
Энергоаудит»**

**являются руководители
государственных предприятий
промышленности и энергетики,
жилищно-коммунального хозяйства,
агропромышленного комплекса, ВУЗов.
Разместив свою рекламу на страницах
журнала, Вы построите еще одну ступеньку
к вершине своего бизнеса!**

**Постоянным подписчикам журнала –
скидка на размещение рекламной
продукции**

**На сайте <http://eee.khpi.edu.ua>
изложена информация об условиях
размещения рекламы**