

Н.А. ДЕЙНЕКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПІ"

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

Анализ статистических данных оценки надежности функционирования разных видов оборудования выявил значительное влияние надежности функционирования системы контроля и управления на общие показатели надежности системы электроснабжения. Предлагается уделить особое внимание совершенствованию методов и средств их контроля и испытания, направленного на повышение достоверности контроля, что будет способствовать повышению общей надежности функционирования объектов энергетики.

The statistical data analysis of estimation of reliability of functioning of different types of equipment exposed considerable influence of reliability of functioning of the checking system and management on the general reliability indexes of the system of supply by electric energy. It is suggested to spare the special attention to perfection of methods and facilities of their control and test directed on the increase of authenticity of control, that will be instrumental in the increase of general reliability of functioning of objects of energy.

Вступ. Ефективність функціонування системи електропостачання визначається надійністю роботи її окремих елементів: електростанцій, підстанцій, кабельних і повітряних ліній електропередачі й т.ін. Незважаючи на різноманіття робіт, що проводяться в області надійності функціонування електротехнічного устаткування об'єктів енергетики, забезпечити їх роботоздатність тільки за рахунок високої надійності окремих елементів не представляється можливим, тому що складність системи росте швидше, ніж надійність цих елементів[1-7].

Як відомо, вибір тих або інших показників надійності якого-небудь елемента або ланки системи залежить від характеру їх роботи й від вимог, що ставляться до їх функціонування. Для електроустаткування найчастіше використовують такі показники, як безвідмовність, контролепридатність, ремонтпридатність і т.ін. Разом з тим, необхідно більше звернути уваги на такий критерій, як критерій ефективності функціонування електроустановок.

Основна частина. Якщо критерій технічної досконалості (ефективність функціонування при ідеальній надійності) представити як

$$E_i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{sp}},$$

де Φ_i – математичне очікування вихідного ефекту при реальній технічній досконалості в припущенні ідеальної надійності установки; Φ_{sp} – математичне очікування граничного вихідного ефекту в певних умовах,

то критерій ефективності функціонування установки можна характеризувати відносною часткою граничного ефекту, що забезпечується реальною установкою

$$E = \frac{\Phi_p}{\Phi_{sp}},$$

де Φ_p – математичне очікування реального вихідного ефекту, що забезпечує установка у розглянутих умовах.

Виходячи з наведених співвідношень, можна встановити певний зв'язок між критеріями надійності й критерієм ефективності функціонування

$$E = E_i \cdot R,$$

де $R = \frac{\Phi_p}{\Phi_i}$ – імовірність відсутності відмов у виконанні функцій.

В [8-10] величина R була визначена, як коефіцієнт ефективності функціонування. У цих роботах це співвідношення отримане при використанні теореми множення ймовірностей, однак, область його дії обмежена об'єктами із чіткими рівнями вихідного ефекту - нуль або 100%. Показано, що цей критерій придатний для відповідного класу установок незалежно від їх складності й структури.

Такі критерії є природною мірою відповідних властивостей об'єктів. Наприклад, установка може недодавати в середньому $(1-R) \cdot 100\%$ вихідного ефекту стосовно потенційно можливого рівня при ідеальній надійності, або недодавати в середньому $(1-E) \cdot 100\%$ вихідного ефекту через прояв технічної недосконалості й ненадійності.

Для розглядаємих установок вихідний ефект пропорційний часу правильного функціонування. Після відмови через несправність установка перестає правильно функціонувати й піддається відновленню (налагодженню), після чого вона працює з повною віддачею. Якщо для простоти прийняти, що відмов з інших причин, крім несправності, не відбудеться, то $E_i = 1$. Тоді

$$\Phi_p = \int_0^t K_T(\tau) \cdot b \cdot d\tau; \quad \Phi_{sp} = \Phi_i = b \cdot t,$$

де $K_T(\tau)$ - імовірність того, що установка у момент τ справна; b – коефіцієнт пропорційності.

Звідси

$$E = R = \frac{1}{t} \cdot \int_0^t K_T(\tau) \cdot d\tau = K_{Tsp}(\tau).$$

Розглянуті критерії ефективності мають сенс тільки за певних умов роботи. Зміна умов спричиняє зміну значень критеріїв. Таким чином, варто більш докладно розглянути особливості функціонування установок, що

підлягають оцінюванню, комплексу ситуацій, у відношенні яких сформульоване їх призначення, комплексу різноманітних впливів на установку в умовах експлуатації, що несуть небезпеку критичних змін у схемах і алгоритмах функціонування.

Тому представляється важливим уточнити постановку основних питань надійності, зосередивши увагу на найбільш важливих напрямках: вибір найбільш надійних схем живлення на основі аналізу показників надійності; виявлення найбільш ненадійних елементів і вживання заходів по підвищенню їхньої надійності; розробка методів і засобів технічного контролю експлуатаційних показників пристроїв, що входять у розглянутий комплекс.

Звичайно при живленні електроенергією споживачів розглядають два характерні види порушення надійності функціонування установок. В одних випадках це відбувається через ушкодження одного із елементів системи і пов'язане з необхідністю його відновлення, тобто витратами часу й матеріальних витрат на виявлення несправності і її усунення. В інших випадках порушення функціонування може відбуватися й без ушкодження, тобто лише при відхиленні вихідних параметрів від установленого режиму. Звичайно, на відміну від порушень першого виду, порушення другого виду доцільно відзначати не як відмови, а як порушення стабільності живлення (порушення якості функціонування). Для визначення показників надійності в першому випадку використовують дані аварійно-відновлювальної статистики різних елементів системи. У той же час порушення стабільності живлення має внутрішні причини, рівень стабільності може бути визначений параметрами навантажень і колами передачі електроенергії від центрів живлення до споживачів.

Відмови основних елементів системи відбуваються по різним причинам: внаслідок концентрації електричних навантажень, перенапруг, механічних ушкоджень, зносу, метеорологічних факторів і т.п. Аналіз даних показує, що коливання статистичної частоти відмов порівняно невеликі. На цій підставі можна вважати, що усереднені статистичні оцінки частоти $\omega(t)$ і інтенсивності відмов λ устаткування дозволяють у багатьох випадках застосовувати експонентний закон розподілу часу безвідмовної роботи $P(t) = e^{-\lambda t}$. Тобто ймовірність відмови елемента протягом часу t визначається виразом $Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, а кількість відмов розподіляється за законом Пуассона

$$P_n(t) = (\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t} / n!$$

де $P_n(t)$ – ймовірність n відмов за час t .

В [11, 12] відзначено, що відмови, пов'язані з порушенням стабільності функціонування системи електропостачання (СЕП) через порушення живлення також утворюють найпростіший потік, тобто розподіляються за законом Пуассона.

Показники надійності основних елементів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

| Найменування | Значення показників безвідмовності елементів ($t = 1$ рік) | | |
|------------------------------|---|--------|--------|
| | $\lambda \cdot 10^3, 1/\text{год}$ | $P(t)$ | $Q(t)$ |
| Лінія вводу 6 і 10 кВ | 1,0425 | 0,9269 | 0,0731 |
| Роз'єднувач | 0,0266 | 0,9981 | 0,0019 |
| Масляний вимикач | 0,1220 | 0,9906 | 0,0094 |
| Трансформатор | 0,7233 | 0,9486 | 0,0514 |
| Швидкодіючий вимикач | 0,3247 | 0,9766 | 0,0334 |
| Живильна лінія для живлення: | | | |
| централізованого | 0,5383 | 0,9614 | 0,0386 |
| децентралізованого | 0,0781 | 0,9943 | 0,0057 |

Для оцінки надійності функціонування СЕП істотне значення має ремонтпридатність окремих елементів, що визначає час їхнього відновлення. Значення показників ремонтпридатності окремих елементів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

| Найменування | Значення показників ремонтпридатності елементів | |
|------------------------------|---|---------------------|
| | $t_a^*, \text{ год}$ | $\gamma \cdot 10^3$ |
| Лінія вводу 6 і 10 кВ | 86,0 | 0,897 |
| Роз'єднувач | 2,47 | 0,0007 |
| Масляний вимикач | 3,16 | 0,0041 |
| Трансформатор | 43,0 | 0,311 |
| Швидкодіючий вимикач | 3,42 | 0,0112 |
| Живильна лінія для живлення: | | |
| - централізованого | 109,0 | 0,587 |
| - децентралізованого | 15,8 | 0,0123 |

У табл. 2 t_a^* – статистичне середнє часу відновлення, γ – коефіцієнт аварійного простою.

$$t_a^* = \frac{1}{\sum_{i=1}^k n_i} \cdot \left(\sum_{i=1}^k n_i x_i \right),$$

де n_i – кількість ремонтів, тривалість яких попадає в i – інтервал; x_i – середина i – го інтервалу; k – число інтервалів розбивки.

$$\gamma = \frac{\lambda}{\mu},$$

де μ – інтенсивність відновлення елемента.

Результати розрахунків показників надійності для окремих елементів СЕП з урахуванням несправностей системи контролю й управління наведені в табл. 3.

Таблиця 3

| Найменування елемента | Значення показників надійності елемента ($t = 1$ рік) | | | | |
|---------------------------------|---|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
| | $\lambda \cdot 10^3, \text{ год}^{-1}$ | $P_o(t)$ | $Q_o(t)$ | $\gamma_P \cdot 10^3$ | $\gamma_Q \cdot 10^3$ |
| Лінія вводу 6 і 10 кВ | 1,37 | 0,9048 | 0,0952 | 0,9157 | 7,226 |
| Перетворювальний агрегат | 1,24 | 0,9130 | 0,0870 | 0,4303 | 9,73 |
| Централізоване живлення лінії | 0,935 | 0,9343 | 0,0657 | 0,6104 | 5,58 |
| Децентралізоване живлення лінії | 0,465 | 0,9665 | 0,0335 | 0,0253 | 4,66 |

Аналіз наведених даних свідчить про значний вплив надійності функціонування системи контролю й управління на загальні показники надійності всієї системи. При аналізі надійності функціонування системи контролю й управління використовують наступні параметри: потік необхідних спрацьовувань $\lambda_{\text{необх}}$, потік відмов у спрацьовуванні $\lambda_{\text{в}}$, потік помилкових $\lambda_{\text{п}}$ і неселективних $\lambda_{\text{н}}$ дій. Приклади показників надійності пристроїв релейного захисту та автоматики зведені в табл. 4.

Таблиця 4

| Найменування пристрою | Параметр потоку, 1/рік | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | $\lambda_{\text{необх}}$ | $\lambda_{\text{в}}$ | $\lambda_{\text{п}}$ | $\lambda_{\text{н}}$ |
| Максимально - струмовий захист (МСЗ) | $(1-0,2) \cdot 10^3$ | 0,002 | 0,0014 | 0,0026 |
| Газовий захист трансформаторів (ГЗ) | $1,4 \cdot 10^5$ | $4,2 \cdot 10^{-5}$ | 0,0044 | 0,0009 |
| Автоматичне включення резерву (АВР) | 110 | 0,012 | 0,007 | - |

Щодо пристроїв телемеханіки, то вони досить різноманітні і тому оцінити їхню надійність у цілому не представляється можливим, однак можна констатувати, що більшість порушень функціонування відбувається в схемах формування вимірювальної й сигнальної інформації. Це в першу чергу пов'язане з недоліками якості напруги джерел їхнього живлення, зокрема, з порушенням нормального функціонування відповідних стабілізаторів.

Заключення. Таким чином, в останні роки здійснюється ряд заходів, спрямованих на підвищення надійності електротехнічного устаткування об'єктів енергетики. До числа цих заходів відносяться: підвищення якості конструкції елементів, що входять до складу цих об'єктів; підвищення якості технології їхнього виготовлення; підтримка правильного режиму функціонування; належна організація контролю їхнього технічного стану, а також технологія проведення профілактичних заходів. Звідси відносно високі

статистичні показники роботи розглянутого встаткування. Але отримані дані можуть стати основою лише для загальних рекомендацій і тепер недостатньо даних, заснованих на кількісному аналізі умов профілактичного обслуговування СЕП і, зокрема, обслуговування системи контролю й управління. Тому в удосконалюванні організаційних форм обслуговування є чималий резерв для підвищення достовірності контролю технічного стану цих пристроїв. Зокрема, необхідно застосовувати заходи щодо підвищення рівня ремонтно- і контролепридатності самих пристроїв, удосконалюванню методів і засобів контролю й випробування, спрямованих на підвищення достовірності контролю, поліпшенню умов праці й підвищенню кваліфікації обслуговуючого персоналу, організації робочих місць, і, нарешті, автоматизації технологічних операцій, що знижують вплив на надійність функціонування суб'єктивних факторів обслуговуючого персоналу. Запропоновані заходи мають сприяти підвищенню надійності функціонування, а також по-новому вирішувати завдання експлуатації й ремонту електроустаткування, що приведе до зменшення числа відмов електроустановок, а також підвищенню загальної надійності роботи СЕП.

Список літератури: 1. Бурак В.Н. Эксплуатация систем электроснабжения / В.Н.Бурак - Харьков: ХВВКИУ, 1982. - 460 с. 2. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем / В.Л. Волкович и др. - К.: Наукова думка, 1992. - 311 с. 3. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике / Ю.Б. Гук. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 378 с. 4. Дейнеко Н.А. Влияние условий эксплуатации на надежность устройств релейной защиты и автоматики систем электроснабжения городского электрического транспорта / Н.А. Дейнеко // Коммунальное хозяйство городов.- Харьков, 1999. - Вып. 20. - С.141 - 143. 5. Ефремов И.С. Надежность тяговых подстанций городского транспорта / И.С. Ефремов Т.И. Лантева. - М.: Транспорт, 1975. - 175 с. 6. Загайнов Н.А. Повышение эффективности и надежности оборудования электроснабжения ГЭТ / Н.А.Загайнов, Т.И.Лантева. - М.: Транспорт, 1974. - 56 с. 7. Назарычев А.Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния / А.Н. Назарычев; под ред. В.А. Савельева; Иван.гос.ун-т. - Иваново, 2202. - 168 с. 8. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем / И.А. Рябинин. - Л.: Судостроение, 1971. - 456 с. 9. Сыромятников И.А. Некоторые вопросы применения вероятностных и статистических методов в энергетике / И.А. Сыромятников // Электричество. - 1964. - №8. - С. 16 - 18. 10. Техническая диагностика. - М.: Наука, 1972. - 586 с. 11. Краснов Б.Д. Показатели безотказности и ремонтпригодности устройств систем электроснабжения трамвая и троллейбусов /Б.Д. Краснов, Д.К. Томлянович // Городской транспорт. - 1970. - №7. - С. 114 - 123. 12. Кузнецов С.М. Эксплуатация и ремонт тяговых подстанций городского электрического транспорта / С.М. Кузнецов, Л.Н.Ефремов. - М.: Транспорт, 1981. - 311 с.



Дейнеко Наталья Анатольевна закончила Харьковской государственной академии городского хозяйства (1990). Круг научных интересов: контроль технологического состояния электрооборудования систем электроснабжения.