

РОЗДІЛ 1. КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСТУ ВІД ВТРАТИ ЖИВЛЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДСТАНЦІЙ

Босак А.В., магістрант, Курсон О.І., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. На промислових підстанціях з високовольтними синхронними двигунами (СД) виникають труднощі розпізнавання втрати живлення. Збільшення швидкодії захисту від втрати живлення забезпечить уникнення можливостей несинхронного включення СД і успішність їх самозапуску.

Мета роботи. Розглянути шляхи зменшення часу розпізнавання втрати живлення застосовуючи як інформаційні ознаки характеристики зниження частоти.

Матеріали дослідження. Пристрої РЗА підстанцій, які живлять синхронні двигуни, повинні відповідати загальним та додатковим вимогам, які викликані особливістю роботи синхронних двигунів в аварійних режимах [1]. Основні ускладнення виникають при побудові захистів від втрати живлення (ЗВЖ) з послідуною ресинхронізацією СД. Основним критерієм ефективності ЗВЖ є успішність самозапуску СД. Найбільш чутливими до ефективності ЗВЖ являються промислові підстанції, які живлять об'єкти, тимчасова зупинка котрих приводить до значних економічних збитків, наприклад, насосно-перекачувальні станції нафтопровідного транспорту. Типова схема такої підстанції приведена на рис. 1.

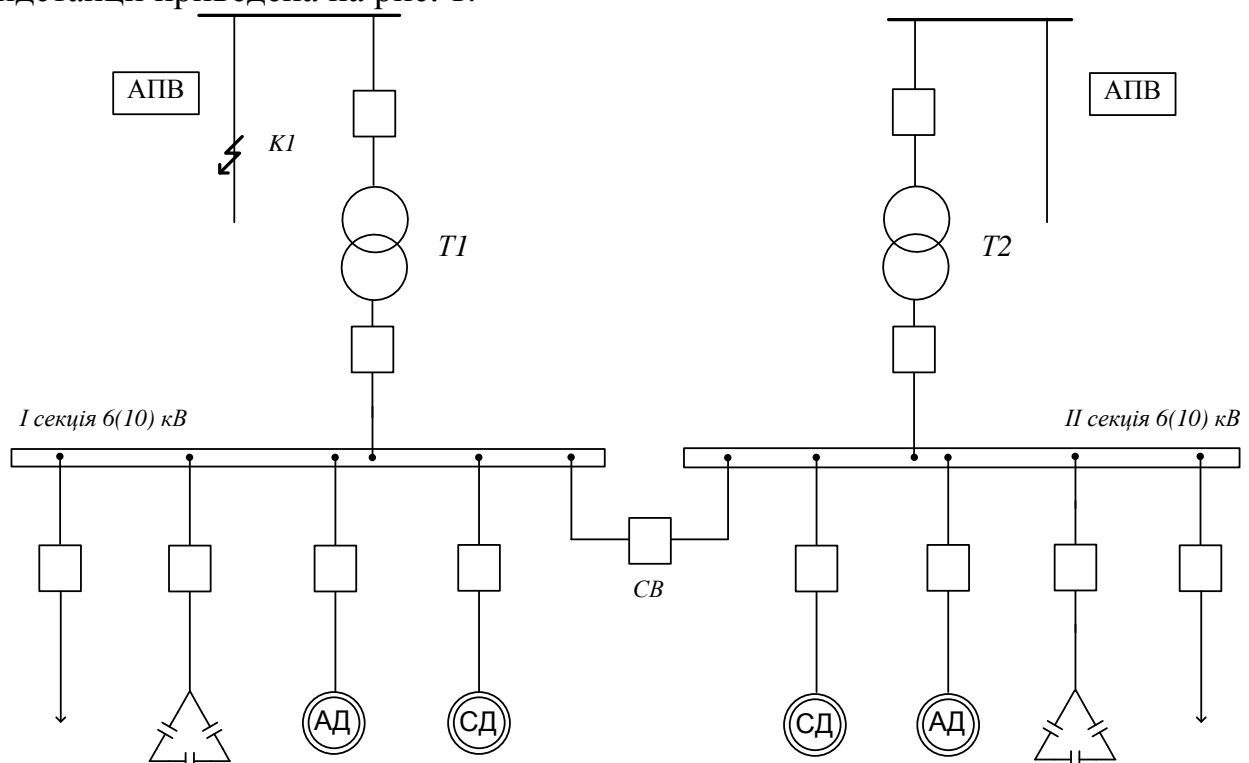


Рисунок 1 – Спрощена схема промислової живлячої підстанції

Найбільш поширений алгоритм реалізації ЗВЖ контролює зниження напруги, частоти та направлення потужності [2]. Теоретично він задовольняє всі вимоги до ЗВЖ, якщо час роботи автоматичного повторного включення (АПВ) живлячої лінії більше часу підготовки СД до ресинхронізації (К1, рис. 1). При розрахунках витримки $t_{АПВ}$ енергопостачальна організація враховує в першу чергу системні потреби, що може привести до незначних її значень і несинхронного включення двигуна. Це потребує зменшення часу розпізнавання втрати живлення.

При порушеннях зовнішнього електропостачання напруга на секції шин, до яких підключений СД, достатньо тривалий час може змінюватись незначно, причому не обов'язково в сторону зменшення, а іноді, за рахунок дії пристроїв форсування збудження, в перший момент часу може навіть збільшуватись [3]. Тому контроль зниження напруги застосовують в ЗВЖ як допоміжну функцію.

Втрата живлення СД супроводжується зниженням частоти на шинах за рахунок виникнення моменту опору на його валу. Але виникають труднощі відокремлення такого зниження частоти від системного, пов'язаного з виникненням дефіциту потужності в мережі. Просте вирішення цієї задачі можливо шляхом порівняння частоти на різних секціях підстанції при двосторонньому її живленні, як показано на рис.1, що безумовно приводить до значного зменшення часу розпізнавання втрати живлення.

Інформативною ознакою втрати живлення може також служити прискорення зміни кутової швидкості обертання СД. Приймаючи за базові величини номінальний момент на валу ($M_{ном}$) і синхронну кутову швидкість двигуна (ω_0), можна записати диференціальне рівняння, яке є вихідним для визначення кутової швидкості еквівалентного СД в умовах вільного вибігу:

$$-m_o = -m_{mp} - (k_3 - m_{mp}) \cdot \omega^\gamma = \tau_j \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

де m_o - момент опору механізму у відносних одиницях номінального моменту на валу; τ_j - еквівалентна електромеханічна постійна часу еквівалентного СД; m_{mp} - початковий момент опору механізму при ковзанні $s=1$, який зазвичай визначається силами тертя; k_3 - коефіцієнт завантаження двигуна при синхронній кутовій швидкості; γ - показник степеню, який характеризує даний механізм [4]. При наявності кількох СД перехід до еквівалентного двигуна не представляє труднощів.

Для привідних механізмів, для яких момент опору пропорційний квадрату кутової швидкості ($\gamma=2$), тобто для найпоширенішого типу насосів, закон зміни кутової швидкості $\omega(t)$, рад/с, може бути знайдений шляхом вирішення рівняння (1):

$$\omega(t) = \omega_0 \cdot \frac{1 - \sqrt{\frac{m'_{mp}}{1 - m'_{mp}} \operatorname{tg} \frac{t}{\tau_j}}}{1 + \sqrt{\frac{1 - m'_{mp}}{m'_{mp}} \operatorname{tg} \frac{t}{\tau_j}}} \quad (2)$$

В формулі (2) використані наступні умовні позначення:

$m'_{mp} = \frac{m_{mp}}{k_3}$ - відносний початковий момент опору механізму;

$\tau_j'' = \frac{\tau_j}{k_3 \sqrt{m'_{mp}(1 - m'_{mp})}}$ - електромеханічна постійна часу агрегату з $\gamma = 2$.

Кутове прискорення вибігу, визначається як похідна кутової швидкості еквівалентного СД на етапі вибігу:

$$\varepsilon(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (3)$$

Закон зміни кутового прискорення $\varepsilon(t)$, рад/с² для насосів ($\gamma = 2$):

$$\varepsilon(t) = \omega_0 t \left(\frac{\sqrt{\frac{m'_{mp}}{1 - m'_{mp}}} \cdot \frac{1 + \frac{m'_{mp}}{1 - m'_{mp}}}{\left(\sqrt{\frac{m'_{mp}}{1 - m'_{mp}}} + \operatorname{tg} \frac{t}{\tau_j} \right)^2} \cdot \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \left(\frac{t}{\tau_j} \right)}{\tau_j''}} \right) \quad (4)$$

Початкове кутове прискорення ε_0 , рад/с² для $\gamma = 2$:

$$\varepsilon_0 = \omega_0 \frac{k_3}{\tau_j} \quad (5)$$

Як видно з формули (5), в початковий момент вибігу еквівалентного синхронного двигуна ($t \rightarrow 0$) його кутове прискорення ε_0 визначається відношенням приведених коефіцієнта завантаженості механізму і електромеханічної постійної часу.

Таким чином, можна розрахувати зміну кутового прискорення для всього можливого діапазону навантаження СД в конкретних умовах експлуатації. Порівняння з відомим діапазоном змінень значень кутового прискорення для

режимів дефіциту активної потужності дозволить вибрати уставку для датчика прискорення зміни частоти, яка дозволить констатувати, що зміна частоти відповідає втраті живлення СД. Це дає змогу максимально прискорити процес розпізнавання ситуації втрати живлення.

Для виключення можливості несинхронного включення двигуна після успішного АПВ зовнішньої живлячої лінії сигнал датчика прискорення зміни частоти діє на відключення СД, з подальшим запуском автомату гасіння поля і підготовкою до ресинхронізації.

Після витримки АПВ в разі успішного АПВ при готовності СД (остаточна напруга дорівнює $0,4-0,5U_{ном}$) і контролю напруги на шинах секції підстанції подається сигнал на включення вимикача СД, який втягується в синхронізм.

Якщо АПВ неуспішне, з витримкою часу роботи $t_{АПВ}$ після контролю відсутності напруги на шинах секції з підключеним СД, подається сигнал на відключення ввідного вимикача і вмикання секційного з запуском ресинхронізації в штатному режимі. При виконанні умов самозапуску СД втягується в синхронізм.

Висновки. На підстанціях з двостороннім живленням найбільш простим і швидкодіючим засобом розпізнавання втрати живлення є порівняння частоти напруги на різних секціях підстанції. Розрахунки зміни кутового прискорення для всього можливого діапазону навантаження СД в конкретних умовах експлуатації та їх порівняння зі змінами значень кутового прискорення для режимів дефіциту активної потужності дають змогу визначення уставки датчика втрати живлення. Застосування в якості критерію втрати живлення прискорення зміни кутової швидкості, і як наслідок частоти, дає змогу значно підвищити ефективність захисту від втрати живлення.

Перелік посилань

1. Шабад М. А. Релейная защита и автоматика на электроподстанциях, питающих синхронные двигатели. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984.
2. Патент №2573603, 20.01.2014. Шабанов В.А., Леонтьева Т.А. Устройство защиты от потери питания, 2014.
3. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. М.: Энергоиздат, 1984.
4. Крышнев Ю. В. Вестник Гомельского гос.техн.университета им. П.О. Сухого, Вып. № 3-4 (9), 2002.