

СУЧАСНІ МЕТОДИ ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ

Марченко А.А., к.т.н., доцент, Петруніна Д.П., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Надійність роботи електричних мереж та електропостачання споживачів зумовлюється стійкістю енергосистеми (ЕС). Для підвищення надійності роботи ЕС широко використовуються різноманітні пристрої автоматики. Це значно покращує роботу вже існуючих систем, але, разом з тим, вимагає створення нових умов щодо автоматизації керування режимами ЕС. Оперативний персонал не має змоги ліквідувати наявні в системі процеси при різкому виникненні аварійної ситуації у зв'язку зі швидкістю протікання цих процесів.

Щоб знівелювати неповне або некоректне керування, як одну з причин виникнення аварій в енергосистемі, однією з актуальних задач є протиаварійне керування стійкістю режимів роботи ЕС [1, 2, 3], яке виконуються спеціальними автоматичними пристроями – пристроями протиаварійної автоматики (ПА).

Мета роботи. Опис і аналіз сучасних методів протиаварійної автоматики в енергосистемах.

Матеріали і результати досліджень. В даній статті наведено огляд комплексів ПА, призначених для підвищення ступеня використання пропускної здатності електричної мережі, які складає автоматика запобігання порушенням стійкості (АЗПС), та комплексів ПА, призначених для забезпечення живучості ЕЕС. До них належать наступні:

- Автоматика ліквідації асинхронного режиму (АЛАР);
- Автоматика обмеження перевантаження обладнання (АОПО);
- Автоматики обмеження зниження або підвищення напруги (АОЗН та АОПН);
- Автоматика обмеження зниження або підвищення частоти (АОЗЧ та АОПЧ) [4].

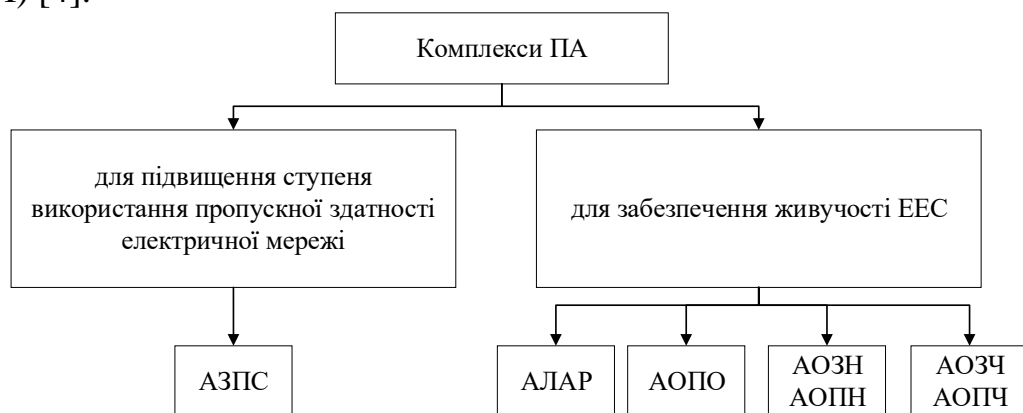


Рисунок 1 – Структура ПА

Кожна підсистема ПА вирішує певне завдання протиаварійного управління, що складається з наступних операцій:

1. Фіксація аварійного збурення чи порушення контрольованими параметрами режиму заданих обмежень;

2. Запам'ятовування передаварійного стану енергосистеми (схеми мережі – нормальна чи ремонтна, поточного режиму мережі у момент фіксації збурення чи порушення параметрами режиму заданих обмежень);

3. Оцінка ступеня тяжкості аварійного збурення та необхідності здійснення керуючих впливів (КВ) для зафіксованого передаварійного стану енергосистеми;

4. Вибір видів, обсягів та місць реалізації КВ;

5. Реалізація КВ.

Як правило, пристрої ПА здійснюють такі види КВ:

- Вимкнення генераторів електричних станцій (ВГ), у тому числі і на АЕС;

- Імпульсне або тривале розвантаження турбінного обладнання (ІРТ та ТРТ);

- Вимкнення навантаження (ВН);

- Автоматичне завантаження генераторів (АЗГ);

- Зміна топології електричної мережі (увімкнення ШР, розподіл мережі тощо).

Жодна з підсистем ПА не обмежується одним видом КВ і жодний КВ не призначений тільки для однієї підсистеми. Причому, реалізація КВ може здійснюватися як централізованим, і децентралізованим способом. Реалізація централізованого КВ на суміжних щодо місця встановлення дозуючого пристрою на енергооб'єктах потребує організації каналів зв'язку.

Далі розглянемо детальніше кожен вид пристроїв ПА (рис.1).

Пристрої АЗПС є першим ешеленом комплексу ПА енергосистеми та призначені для запобігання порушенню стійкості режиму ЕЕС при аварійних збуреннях, а також для забезпечення післяаварійних режимів нормативними запасами статичної стійкості. Вони виявляють виникнення небезпечних перевантажень або накидів потужності, раптові відключення ділянок електропередач або повні розриви, виникнення неповнофазних режимів та інші аналогічні порушення нормального режиму роботи. У всіх випадках, коли порушення нормального режиму, що виник, загрожує порушенням стійкості, пристрої АЗПС проводять швидке дозоване розвантаження електропередачі і міжсистемних зв'язків. Для розвантаження використовуються три основних види впливів: відключення гідро– та турбогенераторів (ВГ) або швидке розвантаження парових турбін (РТ) з подальшим обмеженням потужності (ОП) за умовами післяаварійного режиму, а також розподіл енергосистем або ОЕС (ДС), забезпечуючи виділення у потрібний район обмеженої потужності, та відключення частини навантаження (ВН).

Пристрої АЛАР мають місце при виникненні асинхронного режиму (АР), тобто такого режиму ЕЕС, що характеризується стійкими глибокими періодичними коливаннями напруг, струмів і потужностей, зміною взаємного кута ЕРС генераторів та різницею частот між частинами синхронної зони.

Виникнення АР може бути спричинене ненормативними аварійними збуреннями, відмовою АЗПС, каскадним розвитком аварії тощо.

- У мережах 330 кВ і вище АР повинен ліквідуватися АЛАР на першому циклі, у мережах 220 і нижче – після спрацювання АЛАР 330 кВ, але не пізніше 4-х циклів АР;

- Пристрої АЛАР повинні встановлюватись в обов'язковому порядку на ЛЕП 500 кВ та вище;

- АЛАР діють переважно на ДС.

Пристрої АОПО застосовуються для ліквідації недопустимих навантажень обладнання (уставки – струм і час). Перевантаження ЛЕП по струму викликає неприпустиме нагрівання проводу, наслідками чого можуть бути його незворотні деформації, перегрів сполучних затискачів з можливим роз'єднанням, провисання проводу з небезпекою виникнення пробою, збільшення похибки вимірювань ТС тощо. Окрім цього, перевантаження по струму (авто) трансформаторів викликає зношення ізоляції та знижує термін експлуатації. Найбільш небезпечним наслідком струмових перевантажень для ЕЕС є можливість виникнення каскадних відключень із подальшим її погашенням. Неприпустимі струмові завантаження можуть бути наслідком відключення шунтуючих ЛЕП, збільшення транзитних перетоків, зміни схеми мережі тощо.

Пристрої АОПН виявляють підвищення напруги до певних встановлених значень і забезпечують вмикання шунтуючих реакторів і відключення ліній, що є джерелами підвищеної напруги.

У вузлах навантаження найбільш чутливі до зниження напруги АД і при глибоких зниженнях напруги можливо виникнення «лавини напруги». У разі відсутності даних про величину критичної напруги $U_{кр}$, тобто такої, за якої відбувається перекидання двигунів, у вузлах навантаження $U_{кр}$ приймається рівним $0,7 \cdot U_{ном}$.

АОЗН впливає на:

- 1) відключення ШР;
- 2) включення БСК;
- 3) ВН;
- 4) ДС.

При цьому, КВ можуть бути як локальними (відключення навантаження на об'єкті установки АОЗН), і централізованими (ДАР по напрузі). Дія пристроїв АОЗН повинна бути організована за часом від дії РЗ (АПВ або АВР) і не повинна призводити до неприпустимого підвищення напруги. Важливою умовою є то, що виконання функцій АОЗН пристроями захисту мінімальної напруги (ЗМН) неприпустимо.

Пристрої АОПЧ призначені для запобігання недопустимого підвищення частоти в енергосистемі до рівня, при якому можливе спрацювання автоматів безпеки турбін ТЕС та АЕС. Дані пристрої встановлюються на електростанціях, розташованих у частинах енергосистеми, виділення на ізолювану роботу яких можливо з великим надлишком потужності, що призводить до підвищення частоти понад 53 Гц з урахуванням дії первинного регулювання частоти.

Уставки пристроїв АОПЧ повинні бути нижчими за уставки автоматів безпеки і перебувати в діапазоні 51,0–53,0 Гц; Дія пристроїв АОПЧ здійснюється ступінчасто з різними уставками по частоті (швидкості зміни частоти) та часу.

Ефективність системи протиаварійного керування можна суттєво підвищити застосуванням адаптивної автоматики [5]. В існуючих в ОЕС України системах протиаварійної автоматики реалізовано принцип, який використовує завчасно виконані розрахунки об'ємів керівних дій відповідно до прогнозованих збурень і прогнозованого стану системи. Використання мікропроцесорної цифрової апаратури створює можливість реалізації принципу, згідно з яким виконується постійне коригування об'ємів керівних дій ПА відповідно до поточного стану системи, завдяки чому надійно забезпечується стійкість ОЕС і разом з тим, мінімізуються вимкнення споживачів, які використовуються як засіб керівної дії ПА. Параметри поточного режиму визначаються програмним комплексом для оцінювання стану ОЕС на основі телевимірювань. Об'єми керівних дій для забезпечення нормативів стійкості визначаються на заданій множині зовнішніх збурень та для заданих траєкторій обважнення режиму. Заданими є також послідовність (черга) вимикання навантаження пристроями САВН, встановленими у визначених вузлах електричної мережі, і об'єми навантаження, яке вимикає конкретний пристрій. У центральному комплексі ПА формуються сигнали на виконання керівних дій відповідно до сигналу про збурення, яке трапилося в електричній мережі ОЕС.

Розглянемо АОПО Черкаського енерговузла, що згідно нормативним документам з протиаварійної режимної автоматики Центральної ЕС носить назву спеціальної автоматики відключення навантаження (САВН).

Черкаський енерговузол живиться загалом від ліній 330кВ КанівГЕС – Поляна та КремГЕС – Черкаси. При цьому, є можливість живлення незначної частини споживачів від ЧкТЕЦ.

Для забезпечення цілісності за пропускнуою здатністю даних ліній 110кВ застосовується САВН.

В разі відключення ПЛ–330 КанівГЕС – Поляна і КремГЕС – Черкаська і перевищення уставки по активній потужності через перетин ПЛ–110 кВ Шевченко–РМЗ, Шевченко–Балаклея, спрацьовує САВН на ПС–330 Поляна і без витримки часу передає на ПС–330 Черкаська команду про перевищення потужності через перетин.

САВН на ПС–330 Черкаси приймає команду з ПС–330 Поляна і з контролем відключеного положення ПЛ–330 Черкаська–КремГЕС діє згідно уставок автоматики на відключення відповідних приєднань 110 кВ. При цьому, з першою витримкою часу відключається ПЛ-110 кВ СТО – АСЗ, з другою витримкою часу – автотрансформатор зв'язку АТ-90 на ПС Шевченко, з третьою витримкою часу – ПЛ-110 кВ Шевченко – Ротмистрівка і Шевченко – Новомиргород.

В разі зниження потужності через перетин ПЛ–110 кВ Шевченко – РМЗ, Шевченко–Балаклея з ПС Шевченко передається команда на ПС–330 Черкаська, через ПС–330 Поляна, на блокування відключення приєднань.

На ПС–330 Черкаська для реалізації схеми САВН застосовується МП–термінал типу REC–650. В комплекті САВН реалізовано функцію пристрою фіксації відключення лінії (ПФВЛ) ПЛ–330 КремГЕС – Черкаси.

Дискретні входи терміналу призначені для контролю відключеного положення ПЛ–330 Черкаська – КремГЕС, ПЛ–330 КанівГЕС – Поляна та контролю перевантаження транзиту 110 кВ.

Для обміну командами ПА в схемі САВН використовується схема прийому/передачі команд:

– між ПС–330 Черкаська, ПС–330 Поляна з використанням пристроїв АНКА–АВПА;

– між ПС–330 Черкаська та ПС–110 СТО – телефонний кабель;

– між ПС–330 Черкаська та ЗРУ–10 ПС 110 кВ Дніпровська – оптоволоконний кабель ДЗЛ КЛ–10 Дніпровська–1(2).

Даний приклад є типовим та ілюструє принцип дії АОПО в багатьох енерговузлах ОЕС України.

Висновки. Проведено огляд сучасних методів ПА. У системах ПА підстанцій та генеруючих об'єктів умовно виділено два рівні протиаварійного управління: рівень пристроїв локальної ПА та рівень пристроїв АЗПС. Різниця обладнання цих двох рівнів полягає в обсязі вхідної інформації, що обробляється, і наборі функцій, що виконуються пристроями.

Пристрої локальної ПА обробляють інформацію, що надходить з одного або двох приєднань, у той час як пристрої АЗПС збирають і обробляють дані з безлічі приєднань, що відносяться до одного енергорайону, що включає як генеруючі об'єкти, так і підстанції. АЗПС можуть працювати як автономно, на підставі заздалегідь підготовлених таблиць, так і під управлінням програмно–технічного комплексу верхнього рівня централізованої системи ПА (ПТК ВР ЦСПА), що знаходиться у розпорядженні системного оператора (СО), а пристрої локальної ПА найчастіше функціонують відокремлено від ПТК ВУ ЦСПА за алгоритмами, закладеними на етапі налагодження та введення в експлуатацію.

Перелік посилань

1. Кириленко О. В. Проблеми з забезпечення надійної роботи ОЕС України в умовах реформування енергетики / О. В. Кириленко // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. — 2009. — № 3. — С. 135—141.

2. Літвінов В. В. Дослідження впливу відмов протиаварійної автоматики на ризик виникнення аварії в енергосистемі / В. В. Літвінов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — № 74. — С. 47—56

3. Марченко А.А., Майкович І.В. Моделювання впливу збурень на динамічну стійкість електричної мережі . // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики» [Електронний ресурс] – 2019. – С.33-38.

4. Протиаварійна автоматика [Електронний ресурс] / URL: <https://www.soups.ru/functioning/tech-base/rza/rza-means/rza-emercon/>, 2021.

5. Протиаварійна автоматика забезпечення статичної стійкості енергосистеми / [Стогний Б. С., Авраменко В. М., Сопель М. Ф., Прихно В. Л.] // Технічна електродинаміка. — 2014. — № 4. — С. 50—52.