

СКЛАДОВІ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Виконано аналіз основних складових втрат електричної енергії в елементах систем електропостачання й представлена їхня класифікація.

Выполнен анализ основных составляющих потерь электрической энергии в элементах систем электроснабжения и представлена их классификация.

The analysis of the basic components of electric power losses in elements of the power supply system is carried out and their classification is proposed.

Однією з характерних особливостей функціонування електричних систем є те, що кількість виробленої енергії завжди дорівнює кількості спожитої, тобто в кожний момент часу існує точний баланс для активної та реактивної енергії і потужності. Транспортування і перетворення електричної енергії завжди відбувається з витратами самої енергії. Внаслідок цього її деяка частина витрачається на транспортування по лініях електропередач і перетворення в трансформаторах. Для більш чіткого розуміння фізичних явищ, що відбуваються в електричних мережах, поряд з виразом «втрати електричної енергії», широко вживається термін «витрати електричної енергії в електричних мережах на її транспортування», «транспортні витрати електроенергії» або «технологічні витрати електроенергії». Рівень цих втрат визначається кількістю переданої енергії, параметрами проводів і трансформаторів, рівнями напруг у центрах живлення, наявністю пристроїв компенсації реактивної потужності – тобто технічним станом мереж і рівнем їх експлуатації. Для скорочення цей вид втрат в подальшому буде називатися технічними втратами і означати витрати електроенергії в елементах мереж при її передачі, розподіленні і перетворенні.

Технічні втрати електроенергії обумовлені фізичними втратами передачі і розподілення електроенергії. Технічні втрати включають втрати холостого ходу в трансформаторах, в батареях статичних конденсаторів і компенсаторів, в шунтуючих реакторах, синхронних компенсаторах (умовно-постійні втрати), а також навантажувальні втрати на нагрів дротів при передачі по ним енергії (умовно-змінні втрати). До технічних також відносять втрати на корону в лініях.

Рівень технічних втрат залежить від режиму роботи, складу працюючого обладнання і зміни його технічного стану в процесі експлуатації, а також кліматичних умов.

Інша частина втрат, зумовлена станом комерційного обліку електроенергії, називається комерційними втратами. Це врахована з похибкою (додатною чи від'ємною) частина корисно відпущеної електроенергії. Похибка є наслідком точності вимірювання електроенергії і розрахунків зі споживачами [1].

Комерційні втрати електроенергії на практиці включають наступні складові:

$$\Delta W_{\text{КВ}} = \Delta W_{\text{НВ}} + \Delta W_{\text{ТВ}} + \Delta W_{\text{ПР}},$$

де $\Delta W_{\text{НВ}}$ – втрати за рахунок експлуатаційної недостовірності вимірювань;

$\Delta W_{\text{ТВ}}$ – втрати за рахунок точності вимірювань;

$\Delta W_{\text{ПР}}$ – втрати за рахунок прямих розкрадань.

Величина $\Delta W_{\text{НВ}}$ залежить від рівня і організації експлуатації систем вимірювання. До цієї складової можна віднести втрати, викликані відміною режимів роботи кіл вимірювальних трансформаторів від нормативних, помилками при зйомці та передаванні інформації і т.ін. [2].

Втрати за рахунок точності вимірювань ($\Delta W_{\text{ТВ}}$) обумовлені виконанням вимірювань приладами і системами, точність вимірювань яких за паспортними даними не відповідає потрібним регламентам. Наприклад, втрати, обумовлені невідповідністю класу точності трансформаторів струму, напруги електролічильників вимогам ППЕ, державним і галузевим нормам і стандартам і т.ін. [4].

Втрати за рахунок прямих розкрадань ($\Delta W_{\text{ПР}}$) обумовлені навмисними змінами в ко-

лах вимірювальних трансформаторів струму, напруги, вимірювальних колах і електролічильниках; підключенням приймачів електроенергії в обхід електролічильників, а також зміна даних в інформаційних системах з метою перекручення величини вимірювання. Ця складова може бути обумовлена відсутністю організації і контролю несанкціонованого доступу до вимірювальних та інформаційних систем обліку обсягів електроенергії.

Кожний з цих видів втрат – технічних і комерційних – має свій обґрунтований рівень. Наприклад, у діючих мережах обґрунтований рівень технічних втрат – це їх відносне значення, розраховане для визначеного часу по існуючих навантаженнях відповідно до схем і параметрів мережі, які відповідають реалізації всіх економічно обґрунтованих технічних і організаційних заходів по зниженню втрат електроенергії. Тобто ця величина дорівнює різниці між фактичними технічними втратами в мережі і загальним ефектом від впровадження всіх техніко-економічно обґрунтованих заходів зі зниження втрат.

Найбільш поширеним напрямом економії електроенергії є зниження втрат електроенергії в елементах системи електропостачання: у силових трансформаторах усіх ступенів напруги, у лініях електричної мережі, у реакторах, в установках реактивної потужності, що компенсують. Великі різнобічні можливості економії електроенергії реалізуються заходами, які можна підрозділити на конструктивні й експлуатаційні [5].

До конструктивних заходів відносяться посилення мережі шляхом введення нових ланцюгів електроживлення, заміна декількох трансформаторів більш потужним, заміна раніше обраних проводів ліній проводами більшого перетину, установка пристроїв, що компенсують реактивну потужність (КУ), біля електроприймачів для розвантаження мережі від реактивної потужності та для підвищення рівнів напруги, переклад мереж на наступні ступені номінальної напруги: 380 на 660 В, 6 на 10 кВ, 10 на 20 кВ.

Експлуатаційні заходи щодо зниження втрат, як заходи, що не вимагають додаткових капіталовкладень, повинні здійснюватися в першу чергу. У заводських мережах для економії електроенергії в процесі їхньої експлуатації необхідно забезпечувати рівномірність навантаження обох ланцюгів живильної мережі — трансформаторів і ліній зовнішнього електропостачання — своєчасним перерозподілом на-

вантаження між секціями, своєчасне відключення малозавантажених трансформаторів цехових трансформаторних підстанцій для зменшення втрат у сталі, максимально можливе підвищення рівня експлуатаційної напруги (крім освітлювального навантаження) правильною установкою відгалужень трансформаторів з переключенням без напруги (ПБЗ) і раціональним використанням регулювання під напругою (РПН) головних трансформаторів ГПП, усунення розходження напруги на секціях роздільної мережі заводу, своєчасне включення і відключення КУ, правильну організацію обліку витрати електроенергії [3]. Нижче розглядаються тільки експлуатаційні заходи щодо зниження втрат у промислових електромережах.

У розподільних мережах промислових підприємств застосовується глибоке секціонування при роздільній роботі секцій шин розподільних пунктів на всіх рівнях напруги розподільної мережі. При такій схемі виникає нерівномірність навантаження в лініях і трансформаторах, різниця напруг на секціях і в результаті – додаткові втрати потужності. Для зменшення цих втрат необхідно перевіряти і забезпечувати рівномірність навантаження секцій. Для перевірки рівномірності на практиці застосовують короткочасне включення секцій на паралельну роботу включенням секційних вимикачів. Переключаючи в мережах навантаження з більш завантаженої секції на менш завантажену, домагаються зниження перетікання через секційний апарат до мінімуму.

Втрати електроенергії в лініях електричної мережі складають значну частину сумарних втрат у всій системі електропостачання. Одним із заходів щодо зменшення втрат у лініях є включення в роботу всіх ліній: у схемі не повинно бути ліній тільки резервних.

Рекомендується включення трансформаторів на постійну паралельну роботу за наявності технічної можливості такої роботи зі струму КЗ і за умовами роботи захисту – це розглядається як діючий захисту щодо зниження втрат електроенергії та з поліпшення якості електроенергії.

Досвід передових підприємств, показує, що зниження комерційних втрат – це тривала і важка робота, що потребує постійної уваги і пильності, значних матеріальних засобів на організацію і удосконалення обліку електроенергії, на розрахунки і аналіз технічних втрат, на створення інформаційної системи по споживачах електроенергії. Послаблення уваги до зниження комерційних втрат навіть на короткий період неминує призводить до їх зростання.

Найбільш перспективним рішенням проблеми зниження комерційних втрат електроенергії являється розробка, створення і широке застосування автоматизованих систем контролю і комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), щільна інтеграція цих систем з програмним і технічним забезпеченням автоматизованих систем диспетчерського керування (АСДК) з використанням надійних каналів зв'язку і передачі інформації. Однак ефективне упровадження АСКОЕ – задача довгострокова і дорога, рішення якої можливе лише шляхом поетапного розвитку. На сьогоднішній же день до першочергових задач розвитку систем обліку відносяться :

- здійснення комерційного обліку електроенергії (потужності) на основі розроблених для енергооб'єктів і атестованих методик виконання вимірювань;
- періодична калібровка (перевірка) лічильників індукційної системи з метою визначення їх похибки;
- заміна індукційних лічильників на електронні лічильники;
- утворення нормативної і технічної бази для періодичної перевірки вимірювальних трансформаторів струму ТС і напруги ТН в робочих умовах експлуатації з метою оцінки їх фактичної похибки;
- утворення нормативної і технічної бази для упровадження приладів обліку електроенергії з передплатою;
- удосконалення правової основи для запобігання крадіжок електроенергії, підвищення громадянської і карної відповідальності за ці крадіжки.

Важливе значення на стадії втілення заходів зі зниження комерційних втрат електроенергії в мережах має так званий людський фактор, під яким розуміється:

- навчання і підвищення кваліфікації персоналу;
- усвідомлення персоналом важливості для підприємства в цілому і для кожного його робітника ефективного рішення поставленої задачі;
- мотивація персоналу, моральне і матеріальне стимулювання;
- зв'язок з громадськістю, широке оповіщення про цілі і задачі зниження комерційних втрат, очікуваних і отриманих результатах.

При довгостроковій експлуатації ліній електропередач втрати енергії в них навіть при незмінному навантаженні зростають. Одна з причин – зміна конфігурації окремих ділянок ЛЕП і в зв'язку з цими змінами розрахункових

значень еквівалентних опорів. З інших можливих причин слід відмітити:

- зменшення поперечного перетину і збільшення довжини проводів, обумовленого їх залишковою деформацією внаслідок дії вітрових, ожеледевих та інших навантажень;
- корозія проводів ЛЕП при впливі на них різних кліматичних факторів, в тому числі кислотних дощів, вологості, підвищеної температури, сонячної радіації, також приводять до зниження їх активного поперечного перетину;
- збільшення питомого опору матеріалу проводів ЛЕП, викликаного зміною їх структури (старінням) і залишковою деформацією («наклепом»);
- погіршення технічного стану ізоляторів, викликає появу відносно великих струмів витіку.

При довгостроковій експлуатації електричної мережі її навантаження практично завжди змінюється (зменшується або збільшується). Це призводить до зміни споживаної електроенергії споживачами цієї мережі і зміни величини та структури втрат електроенергії. Для прикладу розглянуто електричну мережу зі сталою схемою, яка розрахована на відпущену в мережу енергію 2000 тис. кВт-год на рік. Відповідно до фізичних явищ, абсолютне значення втрат від навантаження буде змінюватися пропорційно квадрату зміни сили струму, а умовно-постійні втрати залишатимуться незмінними; значно більший інтерес становить зміна відносних значень втрат. При малих навантаженнях і відповідно малому значенні відпущеної електроенергії у мережі (до 1300 тис. кВт-год на рік) головну частину втрат становлять втрати у трансформаторах і з них – умовно-постійні. При збільшенні навантаження частка умовно-постійних втрат зменшується від 24 до 4 %, а загальні втрати у мережі – від 25 до 7,3 %. Втрати від навантаження у цьому діапазоні зміни навантаження зростають від 1,0 до 1,5 %.

Якщо кількість відпущеної у мережу електроенергії становить 1300...3400 тис. кВт-год, загальні втрати описуються положою кривою з мінімальним значенням втрат 6,3 % при кількості відпущеної електроенергії 2000 тис. кВт-год, і кінцевим 7 % – при 3400 тис. кВт-год. Умовно-постійні втрати знизяться від 3,9 % до 1,3 %, а втрати від навантаження збільшаться від 1,5 до 2,6 %.

При зміні кількості відпущеної електроенергії майже в три рази загальні втрати від 7,3 % знизилися до 6,3 %, а потім зросли до 7,0 %, а потім зросли до 7,0 %, а потім зросли до 7,0 %.

тобто функція загальних втрат має мінімум, а зміна функції біля точки мінімуму дуже повільна. Це дозволяє визначити величину загальних втрат 6,3 % для цієї мережі як оптимальну. Відповідно оптимальною буде і структура втрат: 1,9 % – у проводах ліній і 4,4 % – у трансформаторах, з них – 2,8 % – умовно-постійні, 1,6 % – втрати від навантаження.

Такі криві описують зміну втрат у кожній лінії. Хід кривих залежить від співвідношення характеристик лінії (довжини, площі поперечного перерізу проводу) і трансформаторів (кількість, установлена потужність).

При розрахунках втрат електроенергії у діючих електричних мережах слід звертати увагу на такий характер зміни величини і структури втрат; доцільно розглядати також зміну втрат електроенергії у мережі по місяцях протягом року.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кудрин, Б. И. О потерях электрической энергии и мощности в электрических сетях [Текст] / Б. И. Кудрин // Энергетика. – 2003. – № 2. – С. 3.
2. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем [Текст] / В. Э. Воротницкий и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
3. Маркович, М. М. Режимы энергетических систем [Текст] / М. М. МАРкович. – М.: Энергия, 1969. – 352 с.
4. Инструкция по расчету и анализу технологического расхода электроэнергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений [Текст]. – М.: СПО «Союзтехэнерго», 1987.
5. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем [Текст] / под ред. В. Н. Казанцева. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

Надійшла до редколегії 18.03.2009.