

УДК 621.3.072.6

Костюк В.О., канд. техн. наук, доц., Беліков В.М., магістр
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

КЕРУВАННЯ СИЛОВИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ МАЛИХ ГЕНЕРУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК У СКЛАДІ МІКРОМЕРЕЖІ

Географічне розташування України та її технічний рівень забезпечують можливість широкого впровадження новітніх технологій в галузі застосування технологій відновлюваної енергетики (ТВЕ), а саме сонячної енергії. Цей вид енергії має найбільші переваги над іншими відновлюваними джерелами для природних умов Криму та півдня континентальної частини України завдяки значній кількості сонячних днів протягом року [1].

Мікромережа – електропостачальна система із власними джерелами генерації, також на основі ТВЕ, що може функціонувати як автономна, але зберігає зв'язок із зовнішньою електророзподільною мережею. Режим функціонування із підтриманням приєднання до вузла зовнішньої розподільної електричної мережі є основним. Особливості автоматичного переходу до автономного режиму функціонування із забезпеченням належних показників якості і надійності – складають основу автоматичного функціонування системи електропостачання за схемою мікромережі.

Мікромережа за своєю природою є розподіленою системою керування. Деякі функції керування у багаторівневій системі керування забезпечуються програмно мікромережовим централізованим контролером, який розташований в точці приєднання (PCC – *Point of Common Coupling*) між мікромережею і електророзподільною мережею (ЕМ). Інші функції, такі як відстеження струму та напруги, розподіл потужності та синхронізація мікромережі, виконуються локальними контролерами силових перетворювачів. Силові перетворювачі частоти (ПЧ) за функціональною ознакою поділяють на дві групи: а) перетворювачі, що живлять мережу та б) мережетвірні перетворювачі.

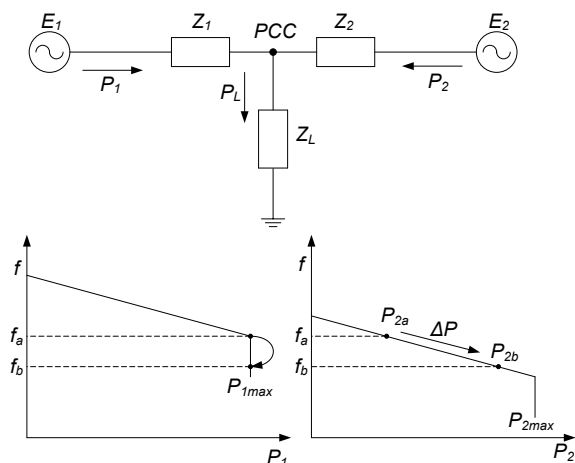
Силовий перетворювач називають *мережетвірним* у випадку його функціонування у автономній мікромережі (відокремлення від зовнішньої ЕМ). Мережетвірний перетворювач задає частоту мікромережі та регулює напругу у вузлі приєднання PCC. Відповідно, такі перетворювачі функціонують в режимі регульованого за частотою та стабілізованого за напругою *джерела напруги*: у статичній системі автоматичного регулювання (САР) значення напруги залежить від заданих значень складових повної потужності [3].

Силовий перетворювач, що *живить мережу*, приєднаний до через вузол приєднання мікромережі до зовнішньої ЕМ функціонує в режимі *джерела струму* із високоякісним слідкуючим контуром струму: частота і напруга задається електричними генераторами зовнішньої мережі, відтак струм визначається заданими значеннями (уставками) по активній та реактивній вихідній потужності системи. Передана до вузла мережі повна потужність може залежати від вимірюваних в режимі реального часу значень частоти і напруги вузла (відхилень, що подаються на вхід САР) частоти і напруги в точці приєднання PCC. Концепція мікромережі використовує частотні характеристики щоб забезпечити стабільну роботу електричної мережі під час роботи в автономному режимі [2]. Сформовані засобами автоматичного керування частотні характеристики використовуються для балансування потужності між джерелами розосередженої генерації мікромережі (зображено на рисунку, [3]). Крутизну частотних характеристик зазвичай визначають, послуговуючись співвідношенням:

$$k_c = \frac{\Delta P}{P_{\text{сист}}} / \frac{\Delta f}{f_{\text{ном}}},$$

де $\Delta P / P_{\text{сист}}$ – відносне значення зміни потужності джерела, яке відповідає відносному відхиленню частоти $\Delta f / f_{\text{ном}}$ на статичній частотній характеристиці «потужність-частота» джерела; $P_{\text{сист}}$ – номінальна потужність всіх джерел генерування, кВт; Δf – рівень відхилення частоти, Гц; $f_{\text{ном}}$ – номінальна частота мережі, Гц.

Крутизна статичної частотної характеристики дає змогу визначити величину і знак первинної регулюючої потужності, що виникає в них у разі певного відхилення частоти [4].



Значне збільшення навантаження може призвести до перевищення потужності P_{\max} . Система з двома мікроджерелами використовується для прикладу того, як додаткове навантаження передається від одного мікроджерела до іншого.

Коли мікромережа приєднана до розподільної мережі, споживачі мікромережі отримують живлення як від розподільної електромережі, так і від мікроджерел, залежно від розташування споживача. Якщо втрачається постачання від розподільної мережі внаслідок понаднормового відхилення (зниження) напруги у вузлі приєднання, несправності,

тощо, мікромережа може плавно переходити до роботи в автономному режимі. В момент коли мікромережа відокремлюється від розподільної мережі, фазові кути напруги на кожному мікроджерелі змінюються, що призводить до помітного зменшення частоти в мікромережі [5]. Для аналізу процесів керування мікромережею, на рисунку зображено діаграми залежності потужності джерел мікромережі від робочої частоти напруги у вузлі приєднання PCC.

На рисунку позначено: E_1, E_2 – мікроджерела, Z_L – навантаження мікромережі, Z_1, Z_2 – результуючі опори ліній електропередач, P_1, P_2 – вихідна потужність мікроджерел. Вважатимемо, що регульовані координати змінюються «повільно» у часі (система переходить від одного квазістатичного режиму до іншого), попри те, що процес збільшення споживаної потужності ΔP , зумовлений зміною режиму функціонування споживачів мікромережі, відбувається протягом малого інтервалу часу 0,2 с [3]. Нехай мікроджерело E_1 характеризується максимальною потужністю $P_{1\max}$; відповідно, мікроджерело E_2 має вихідну потужність P_{2a} , усталене початкове значення якої є значно меншим від деякого граничного значення потужності $P_{2\max}$. У початковий момент обидва мікроджерела функціонують на номінальній розрахунковій частоті f_a . Для забезпечення оптимального розподілу сумарної споживаної потужності P_L у разі її збільшення на ΔP_L , перевантажене мікроджерело E_1 зменшує свою частоту швидше, ніж мікроджерело E_2 , що забезпечується системою автоматичного керування. Після завершення перехідного процесу в системі встановлюється нове значення частоти f_b , причому мікроджерело E_1 забезпечує початкове значення потужності $P_{1\max}$, а мікроджерело E_2 – потужність P_{2b} . В такий спосіб можна забезпечити баланс потужності в мікромережі з двома джерелами розосередженої генерації з вузлом приєднання в автономному режимі роботи.

Висновки. Двонаправлені перетворювачі частоти які є основою силових установок з використанням технологій відновлюваної енергетики, зокрема використовуються у складі малих сонячних, вітрових та комбінованих енергетичних установок. В увагу зосереджено на основних принципах організації системи керування ЕПС за схемою мікромережі, в котрій забезпечується оптимальний розподіл потужності джерел завдяки вибору законів раціонального керування силовими перетворювачами частоти (ПЧ). Дослідження ставить за мету розглянути особливості функціонування сучасних силових ПЧ у схемах малих енергетичних установок, проаналізувати структурні схеми та закони автоматичного керування стабілізованими ЕПС із розосередженими джерелами у складі мікромережі в основних робочих режимах.

Список використаної літератури:

1. Проблеми впровадження вітрових та сонячних електростанцій на території південної енергосистеми та вплив їх роботи на режими об'єднаної енергосистеми [Електронний ресурс] / О. М. Лінник, Р. Є. Кануннікова // Інформаційний збірник «Промислова електроенергетика та електротехніка» - 2015 - Режим доступу: <http://promelektro.blogspot.com/2015/09/oi.html>.
2. Voltage-Source Control of PV Inverter in a CERTS Microgrid / Wei Du, Qirong Jiang, Micah J. Erickson, Robert H. Lasseter; IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY 2014 / DOI: 10.1109/TPWRD.2014.2302313.
3. Comparison of PV inverter controller configurations for CERTS microgrid applications / M. J. Erickson, T. M. Jahns, and R. H. Lasseter / in Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo., 2011, pp. 659–666.
4. Основні вимоги щодо регулювання частоти та потужності в ОЕС України: СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. - Офіц. вид. — К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2009. — VI, 56 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Настанова)
- 5 The CERTS MicroGrid Concept / Robert Lasseter, Abbas Akhil, Chris Marnay, John Stephens, Jeff Dagle, Ross Guttromson, A. Sakis Meliopoulos, Robert Yinger, and Joe Eto / U.S. Department of Energy 2002.