

лених по значній території може бути різним, а отже різною буде щільність енергетичного потоку в шинах, до яких підключено фотоелектричні масиви. Тому найбільше застосовуваним на практиці способом генерації електроенергії від таких масивів є використання окремих малопотужних інверторів, які об'єднуються на стороні змінного струму на низькій напрузі 380 В. Така структура потребує загальної підвищувальної трансформаторної підстанції для під'єднання фотоелектричної сонячної електростанції до промислової мережі 10 кВ. Наявність великої кількості малопотужних інверторів напруги й потужного трансформатора потребує значних капітальних вкладень на будівництво електростанції.

Іншим можливим підходом синтезу перетворювальної системи розподіленої сонячної електростанції є використання безтрансформаторної структури. У цьому випадку електрична енергія передається до мережі незалежними шинами постійної напруги за допомогою єдиного напівпровідникового перетворювача. В якості такого перетворювача може виступати високовольтний багаторівневий каскадний інвертор напруги, комірки якого живляться від незалежних шин постійного струму, формуючи на виході необхідний рівень напруги 10 кВ. Таким чином від структури з багатьма перетворювачами ми переходимо до структур з одним перетворювачем і відмовляємось від використання силового трансформатора, що дозволить підвищити енергетичну ефективність системи під час передачі до промислової мережі енергії відновлюваних джерел.

Метою даної роботи є дослідження режимів роботи перетворювальної системи розподіленої сонячної електростанції на основі багаторівневого каскадного інвертора напруги за допомогою імітаційного моделювання в програмному середовищі Matlab/Simulink з оцінкою енергетичної ефективності такої перетворювальної системи.

РОБОТА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРИ РАПТОВОМУ ТИМЧАСОВОМУ ЗНИЖЕННІ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ

Костенко Б.Ю.

Науковий керівник - Єгоров О.Б., к.т.н., доц.

При раптовому тимчасовому зниженні напруги, що живить асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, який працює при номінальному навантаженні, відбувається зменшення електромагнітного моменту. Зменшення моменту приводить до гальмування ротора під дією моменту навантаження, постійного по величині. Якщо знижений

електромагнітний момент стає менше моменту навантаження, то кутова швидкість починає спадати. Ковзання збільшується й перевищує номінальну величину. При відновленні напруги до номінального значення з'являється повний електромагнітний момент, і двигун знову розганяє. Це можливо, якщо втрата швидкості не занадто велика, і відновлене значення обертаючого моменту більше моменту навантаження.

На практиці виникає завдання визначення межі припустимої втрати швидкості, якої відповідає момент M_x і деяке значення ковзання s_x . Кутова швидкість двигуна визначиться надлишковим моментом, який обчислюється як

$$\Delta(\omega) = M_n - M_x.$$

При незмінному опорі навантаження зміна динамічного моменту $\Delta(\omega) = Jd\omega/dt$, де J – сума моментів інерції всіх обертових мас, наведених до осі обертання ротора.

Залежність часу від кутової швидкості має вид

$$t = J \int d\omega/\Delta(\omega).$$

У відносних одиницях отримаємо

$$t = J\omega_n/M_n \int d(\omega/\omega_n)/\Delta(\omega/\omega_n),$$

де $J\omega_n/M_n$ - залежить від параметрів двигуна й зчеплених з ним механізмів, має розмірність часу.

Відношення $J\omega_n/M_n$ може бути презентовано як постійна часу (Ta). Якщо $\omega/\omega_n = v$ – відносна кутова швидкість, тоді час знаходиться як

$$t = Ta \int dv/\Delta(v),$$

де Ta – постійна часу, пов'язана зі зміною кутової швидкості.

Прискорення ротора визначається як $ds/dt = -dv/dt$, тобто можна визначити час, необхідний для зміни кутової швидкості або ковзання від s_n до s_x під дією надлишку моменту опорі навантаження над обертаючим моментом. Тривалість зміни напруги не повинна перевищувати цього проміжку, інакше двигун зупиниться. Цей граничний час визначається з вираження $t = -Ta \int ds/\Delta(\omega)$, у межах зміни ковзання від s_n до s_x . Величину $\Delta(\omega) = M_n - M_x = M_n \cdot (1 - M_x/M_n)$ необхідно пов'язати з критичним моментом $M_{кр}$ та співвідношенням $M/M_{кр}$.

При зниженні напруги співвідношення обертаючих моментів пропорційно співвідношенню квадратів відповідних напруг:

$$M_x/M_n = (U_x/U_n)^2.$$

Тоді

$$M_x/M_n = M_{кр}/M_n \cdot (U_x/U_n)^2 \cdot 2/[s/s_{кр} + s_{кр}/s] = 2k/[s/s_{кр} + s_{кр}/s].$$

Величина $k = M_{кр}/M_n \cdot (U_x/U_n)^2$ визначає співвідношення максимального моменту при зниженій нарузі до обертаючого моменту при

номінальній напрузі. Поставляючи отримані співвідношення в формулу для визначення шуканого часу, отримуємо $t = T_a \tau$, де τ – коефіцієнт, що дорівнює відносному часу втрати швидкості, що залежить від k , а також від відносин і величин ковзання і критичного ковзання.

Однак досить дорівняти M_n до моменту навантаження, отримаємо рівняння

$$s/s_{кр} + s_{кр}/s = 2 M_{кр}/M_x или s^2 - 2M_{кр}/M_x \cdot s_{кр}s + s_{кр}^2 = 0.$$

Розв'язок квадратного рівняння має два корені s_n і s_x :

$$s_{n,x} = s_{кр} M_{кр}/M_x \pm \sqrt{(s_{кр} M_{кр}/M_x)^2 - s_{кр}^2}.$$

Кутова швидкість може значно поменшатися в порівнянні з первісною величиною й потім автоматично збільшиться до колишнього значення після відновлення номінальної напруги.

Були проведені розрахунки допустимої тривалості провалу напруги для двигунів з синхронною частотою обертання 1500 хв⁻¹, потужністю 30 кВт, 315 кВт та 1000 кВт.

Порядок розрахунку був наступний:

- за характеристиками двигуна розраховується максимальне і номінальне значення механічного моменту, номінальне і критичне ковзання;

- обчислюється напруга, при якому максимальний момент двигуна виявиться менше номінального моменту навантаження;

- при деякому значенні моменту інерції для діапазону напруг від 0 до отриманого в попередньому пункті розраховується допустима тривалість провалу напруги;

- приймається таке значення моменту інерції, розрахунок повторюється.

Отримані розрахункові результати говорять про те, що допустимий час провалу напруги залежить від сумарного моменту інерції рухомих частин, і в значній мірі від величини провалу напруги.

Для двигуна потужністю 30 кВт допустиме зниження напруги встановило 48% від номінальної, час зниження 1,3 сек., для двигуна 315 кВт – зниження напруги встановило 52% від номінальної, час зниження 1,8 сек., для двигуна 1000 кВт - зниження напруги встановило 55% від номінальної, час зниження 2,2 сек.

Аналіз співвідношення для τ показує, що відносний час втрати швидкості залежить тільки від $M_{кр}/M_x$ і від коефіцієнта k . Значення ж k визначається величинами відносного максимального моменту при повній напрузі й відносного зменшення напруги.

Навіть при повній відсутності напруги в період провалу припустимий інтервал часу не дорівнює нулю завдяки наявності моменту інерції, що не допускає миттєвої зупинки ротора двигуна.