

Толочко О.І., д.т.н., проф.; Бовкунович В.С., к.т.н., Сопіга М.В., магістрант

СТРУКТУРНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ТРИЗОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ОПТИМАЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ КЕРУВАННЯ

В останні роки проявляється великий інтерес до електроприводів на основі двигунів з постійними магнітами (PMSM – Permanent Magnet Synchronous Machine). Залежно від розташування магнітів на роторі PMSM можна розділити на декілька видів, серед яких слід виділити два: SPMSM (Surface PMSM) – магніти розташовані на поверхні ротора і IPMSM (Interior PMSM) – магніти поглиблені в ротор. При установці магнітів на поверхні ротора збільшується повітряний зазор і зменшується вплив електричної асиметрії ротора (тобто індуктивності за подовжньою і поперечною осями приблизно однакові), зменшується реакція якоря і стала часу статора. Поглиблення магнітів в ротор призводить до підвищення механічної міцності ротора, що дозволяє працювати на високих швидкостях. Проте при цьому, внаслідок нерівномірності повітряного зазору, виникає електромагнітна асиметрія (тобто індуктивності за подовжньою і поперечною осями стають різними). Ця асиметрія призводить до появи разом з основною складовою моменту (результат взаємодії поперечної складової струму статора і потоку постійних магнітів) додаткової реактивної складової, за рахунок використання якої можна отримати більші відношення потужність/вага, момент/струм, момент/напруга, ніж у SPMSM, використовуючи так звані оптимальні стратегії керування, до яких відносяться «Максимальний момент на ампер» (MTA – Maximum Torque per Ampere), «Максимальний момент на вольт» (MTV – Maximum Torque per Volt) та деякі інші.

Незважаючи на збудження від постійних магнітів, PMSM можна використовувати при регулюванні швидкості в діапазоні вище від основної за допомогою так званого псевдопослаблення магнітного поля, що здійснюється шляхом підвищення потокоутворюючої складової струму статора.

При керуванні швидкості IPMSM розрізняють 3 діапазони регулювання швидкості: у першій зоні керування відбувається за рахунок зміни амплітуди і частоти напруги статора при постійному струмі з використанням стратегії MTA, у другій – за рахунок збільшення потокоутворюючої складової струму статора при максимальній напрузі статора (при цьому регулювання здійснюють або з постійним моментом зі зростанням струму до рівня обмеження або з максимально припустимим струмом при зменшенні електромагнітного моменту), а у третій – зі зменшенням не тільки моменту, а і струму за стратегією MTV.

Найбільшу складність при структурній реалізації таких систем є організація переключення керування з одного алгоритму на інший зі збереженням обмежень на струм і напругу статора.

Аналіз літературних джерел на тему оптимального керування IPMSM показав, що частина робіт пропонує занадто складні рішення, які потребують значних обчислень або використання великих масивів вихідних даних, або погіршують якість перехідних процесів. Інші автори пропонують використовувати замкнений контур напруги, який ускладнює налаштування системи.

В даній роботі пропонується система тризонного керування швидкості IPMSM, яка надійно забезпечує обмеження за напругою без наявності додаткового контуру напруги, що досягається виведенням залежності між амплітудою напруги статора та моментоутворюючою складовою струму статора та відповідним обмеженням саме цієї складової.

Для адекватного перемикання алгоритмів керування ретельно проаналізовано варіанти реалізацій блоків динамічного обмеження сигналів. Показано, що деякі з них приводять до небажаних коливань в системі при перемиканнях між стратегіями керування. Це пояснюється тим, що у деяких випадках сигнал обмеження зверху з течією часу стає меншим, ніж сигнал обмеження знизу, внаслідок чого робота блоку обмеження залежить від черговості виконання операцій.

Для запобігання утворення алгебраїчних контурів у деяких випадках сигнали завдання на регульовані координати замінюються сигналами зворотних зв'язків, що при високій швидкодії контурів несуттєво відображаються на точності відтворення оптимальних алгоритмів.

Синтезована система відрізняється високою енергоефективністю за рахунок мінімізації втрат у міді при регулюванні швидкості в першій зоні та втрат у сталі при регулюванні швидкості у третій зоні, що досягається без спотворення якості перехідних процесів.