

## ВПЛИВ НАГРІВАННЯ НА ПУСКОВІ ВЛАСТИВОСТІ СИНХРОННОГО ДВИГУНА

**Вступ.** Відомо, що при роботі синхронних двигунів в обмотках статора, пусковій та збудження, а також в розрядному опорі виділяється тепла енергія, що є наслідком протікання в них струмів і втрат енергії в їх активних опорах [1]. Значною мірою врахування теплових процесів важливе для пускових режимів, оскільки вони супроводжуються значними струмами обмоток двигунів. А це призводить до зростання відповідних активних опорів та витрат енергії на їх нагрівання, погіршення форми динамічних механічних характеристик двигуна. На сьогодні конструктори при проектних розрахунках пускових характеристик синхронних двигунів (СД) за вихідні беруть холодний стан обмоток і розрядного опору, а їх нестабільність через підвищене нагрівання не враховується. Внаслідок цього декларовані заводом виробником паспортні дані двигуна нерідко не забезпечуються, що є однією з причин необхідності вибору синхронних двигунів з істотним запасом встановленої потужності. А це зменшує коефіцієнт корисної дії двигуна і приводу в цілому, збільшує вартість електромеханічної системи. Тому для відповідності фактичних паспортних даних двигунів декларованим ще на етапі проектування реальну форму пускової механічної характеристики слід визначати з урахуванням нестабільності активних опорів. Однак через те, що умови нагрівання окремих частин машини неоднакові, теплові розрахунки значно ускладнені і це вимагає обґрунтованого прийняття низки припущень. Зокрема, обмотки та розрядний опір двигуна можна розглядати окремо як однорідні тіла нескінченно великої теплопровідності з однаковою температурою. Через швидке протікання процесу пуску порівняно з тепловою сталою часу двигуна допустимо прийняти, що тепловіддача в навколишнє середовище відсутня.

**Постановка завдань досліджень.** Метою роботи є доказ необхідності врахування нагрівання обмоток і розрядного опору СД із заданим навантаженням для забезпечення декларованих заводами виробниками кратностей пускових та вхідних моментів, допустимої кількості пусків підряд за максимальної приєднаної маси.

**Матеріали дослідження.** Для обґрунтування доцільності врахування теплового стану обмоток під час пуску використано традиційну математичну модель синхронного двигуна СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 з номінальною потужністю 4000 кВт. При дослідженні пускового режиму прийнято, що рівень напруги живлення номінальний, статичне навантаження двигуна дорівнює 0,8 Мн, а приєднана маса робочого механізму – максимально допустима за даними заводу виробника.

На першому етапі дослідження пускового режиму виконане без урахування нагрівання (активний опір обмоток незмінний і визначений за даними клієнтського формуляру для температури навколишнього середовища 15°C). Виведення розрядного опору і подача номінальної напруги збудника у коло обмотки збудження відбувається при стандартному вхідному ковзанні  $s=0,05$ . Результати дослідження пускового режиму без врахування нагріву наведені у вигляді залежностей на рис. 1 (1 – швидкість, 2 – електромагнітний момент, 3 – статичний момент, 4 – напруга збудника). За цих умов двигун успішно розігнався і ввійшов в синхронізм. Термін його розгону до першого досягнення синхронної швидкості 10,2 с, а кратність пускового моменту – паспортна.

Згідно поставленої мети на другому етапі були промодельовані процеси першого та другого (повторного) пусків досліджуваного електроприводу з урахуванням окремого нагрівання активних опорів обмоток та розрядного опору двигуна. Характер перевищення їх температури (перегріву) над прийнятою температурою навколишнього середовища (15°C) досліджувався окремо за умови адиабатичного процесу нагрівання. Встановлено, що за цих умов в обох випадках двигуну не вдалося ввійти в синхронізм. При чому на початковому етапі першого пуску двигуна врахування нагріву обмоток та розрядного опору на кратність пускового моменту не впливають, а у подальшому зростання активних опорів через нагрівання підвищує середню складову електромагнітного моменту. Однак, через перегрів жорсткість механічної характеристики в зоні малих ковзань істотно знижується, що «затягує» процес досягнення вхідного ковзання з відповідним перегріванням обмоток та призводить до «застрягання» двигуна на підсинхронній швидкості і першому, і при другому пусках.

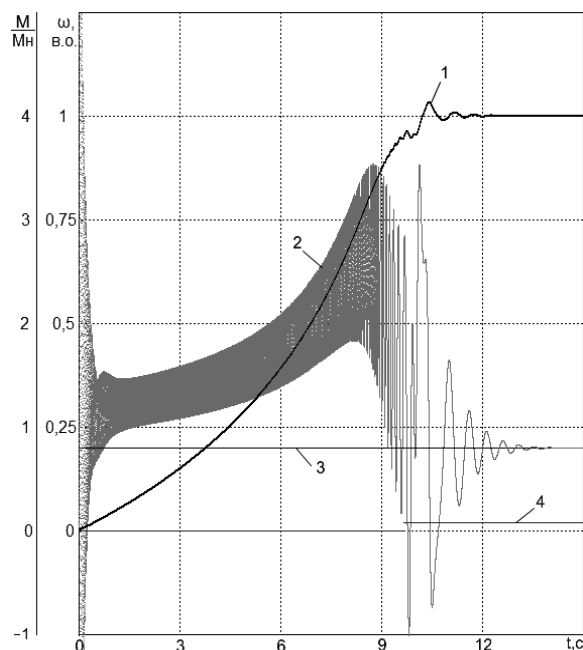


Рис. 1. Моделювання процесу пуску двигуна потужністю 4000 кВт без врахування нагрівання обмоток ( $M_c=0,8\text{Мн}$ )

Отже, вплив нагрівання обмоток та розрядного опору на форму пускової механічної характеристики і характер розганяння значний. Що стосується задекларованої заводом успішності 2-х пусків підряд, то для двигуна з максимально допустимою приєднаною масою вона не забезпечується. І це за номінальної напруги живлення та  $M_c=0,8 \cdot M_n$ .

Надійне входження в синхронізм двигуна з максимальною приєднаною масою при першому пуску стало можливим лише після того як величина статичного моменту була зменшена до рівня  $0,75 \cdot M_n$  (рис. 2, де 1 – швидкість, 2 – електромагнітний момент, 3 – статичний момент, 4 – напруга збудника, 5 – перегрів демпферної обмотки, 6 – перегрів обмотки статора, 7 – перегрів опору розрядного опору, 8 – перегрів обмотки збудження із масштабом 10:1). Повторний (другий) пуск СД підряд при моменті  $M_c=0,75 \cdot M_n$  через значне нагрівання активних опорів забезпечити не вдалося. Залежності 5-8 (рис. 2) дають оцінку ступеня перегріву обмоток та розрядного опору двигуна. Видно, що найбільше нагрівається демпферна обмотка, яка за час першого запуску перегрівается на  $125,5^\circ\text{C}$ , що відповідає збільшенню її активного опору на 50,2%. Внаслідок нагрівання значно змінився і опір обмотки статора, який через отриманий перегрів  $28^\circ\text{C}$  зріс на 11,2%. Менше нагрівання вплинуло на розрядний опір і обмотку збудження (їх опори зросли на 1 та 0,7% відповідно). За таких умов термін першого розгону двигуна склав 9,22 с.

При подальшому дослідженні вдалося визначити, що успішно здійснити два пуски двигуна можливо лише при максимальній величині статичного моменту  $0,63 \cdot M_n$ . Тобто, статичний момент повинен бути зменшеним на 21,25% відносно декларованого заводом виробником як допустимий для забезпечення успішності двох пусків підряд. Зрозуміло, що це призводить до необхідності вибору на виробництві синхронних двигунів з використанням істотного запасу встановленої потужності.

На рис. 3 показаний процес двох пусків підряд двигуна з  $M_c=0,63 \cdot M_n$  (номери залежностей як на рис. 2). Видно, що за даних умов двигун успішно виконав перший і другий пуски за приблизно 8 с. При цьому після другого пуску перегріву не перевищили допустимих (перегрів демпферної обмотки склав  $212,7^\circ\text{C}$ , що призвело до збільшення її активного опору на 85%; обмотки статора –  $46^\circ\text{C}$  зі збільшенням опору на 18,4%; опір розрядного реостату і обмотки збудження зросли відповідно на 2 і 1,5%).

Оскільки декларовані заводом виробником пускові дані в реальних умовах не забезпечуються, то можна вважати доведеною необхідність врахування динаміки нагріву ще на етапі вибору параметрів пускової обмотки. Очевидно, що слід очікувати її підсилення із відповідним зростанням рівня пускових струмів і їх негативного впливу на мережу живлення. Тому проблему запуску доцільніше вирішити скориставшись перевагами відомих на сьогодні розробок, які націлені на підвищення середньої складової електромагнітного моменту (наприклад метод програмного керування напругою збудника [2]).

**Висновки.** Для забезпечення декларованих паспортних даних синхронних двигунів при їх проектуванні слід враховувати температурну нестабільність активних опорів в пускових режимах, мати інформацію щодо приєднаної маси і моменту статичного навантаження.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Метод теплового расчета крупных синхронных машин / И.М. Постников // Труды Ленинградского политехнического института, 1946, №1. – С.83-120.
2. Комплексный синхронный электропривод с программным управлением / Г.Г. Півняк, В.І. Кириченко, В.В. Кириченко та ін. // Доповіді Національної академії наук України, 2007, №7. – С.97.

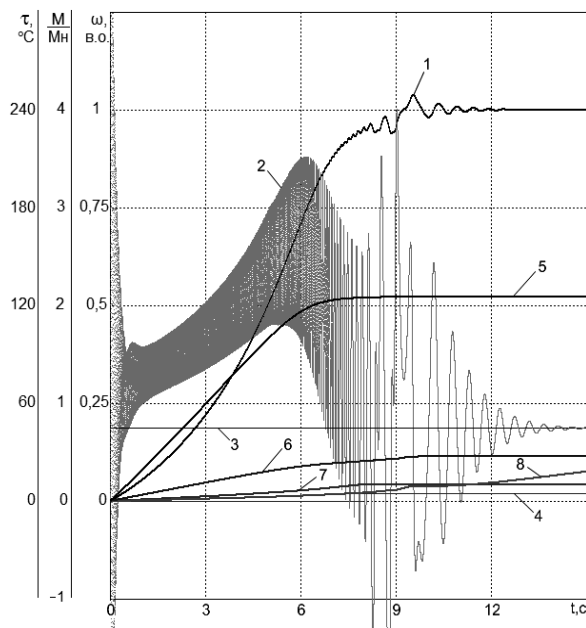


Рис. 2. Моделювання процесу першого пуску двигуна потужністю 4000 кВт з урахуванням нагрівання обмоток ( $M_c=0,75M_n$ )

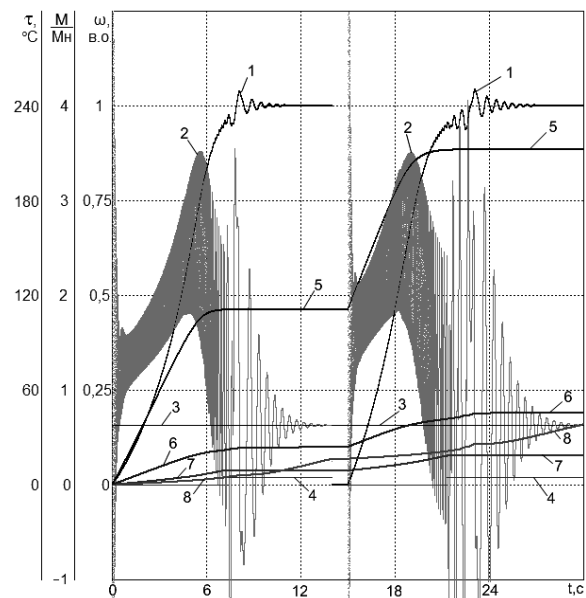


Рис. 3. Моделювання двох пусків підряд двигуна потужністю 4000 кВт з урахуванням нагрівання обмоток ( $M_c=0,63M_n$ )