

Из анализа вариантов взаимодействия основных и дополнительных источников тока 100 Гц следует, что обрыв нулевого провода будет обнаруживаться при всех возможных сочетаниях обрывов фазных и нулевого провода. Причем в самом неблагоприятном случае суммарный ток, воздействующий на измерительную часть блока защиты, будет превышать номинальный контрольный ток источника.

Перечень ссылок

1. Мурадов С.В., Кобазев В.П. Контроль исправности проводов ВЛ 0,38 кВ // Сборник научных трудов II Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов "Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых." – Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 178 – 179.

УДК 62-83

СИНТЕЗ СПОСТЕРІГАЧА СТАНУ, ЩО ВІДНОВЛЮЄ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА У СИСТЕМІ ВЕКТОРНОГО КЕРУВАННЯ

Толочко О.І., доцент, к.т.н, Писанка О.С., магістрант

(Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна)

Однією з проблем при побудові векторних, орієнтованих за потокозчепленням ротору систем керування асинхронними двигунами (АД) є проблема визначення модуля та фази цього вектора [1]. Сигнал потокозчеплення двигуна може вимірюватися, наприклад, за допомогою датчика Холу, але застосування цього датчика ускладнено. Це обумовлене тим, що встановлення його на ротор серійного двигуна пов’язане з розбиранням і складанням двигуна. Внаслідок цього змінюються параметри двигуна та виникають труднощі при виведенні корисного сигналу за межі датчика. Можна встановлювати датчик на статор двигуна, проте при простоті виведення сигналу цей спосіб також спричиняє за собою розбирання і складання двигуна. Тому

необхідно застосовувати способи, які дозволяли би визначити потокозчеплення ротора АД і не вимагали б встановлення додаткових датчиків.

Одним з можливих варіантів такого непрямого визначення потокозчеплення є застосування простої аперіодичної ланки [2], що повторює модель двигуна у координатах, орієнтованих за потокозчепленням ротору. Вхідним сигналом є повздовжня складова струму статора I_{sd} . Не зважаючи на простоту, цей пристрій досить точно оцінює модуль вектора потокозчеплення ротору при будь-якій швидкості обертання ротору двигуна, але він є дуже чутливим до відхилення параметрів двигуна, що можуть змінюватися з прогрівом, або з часом.

Для тих самих цілей можна застосовувати спостерігач стану (СС) повного порядку та редукований (скорочений) СС, а також параметричний СС, що дозволяє, окрім вектора стану, відновлювати і параметри об’єкту (останній має дуже складну структурну схему, що ускладнює його практичну реалізацію).

Розглянемо метод визначення потокозчеплення у системах векторного керування АД з використанням пристрою спостереження повного порядку.

Структурна схема об’єкта спостереження зображена на рис. 1.

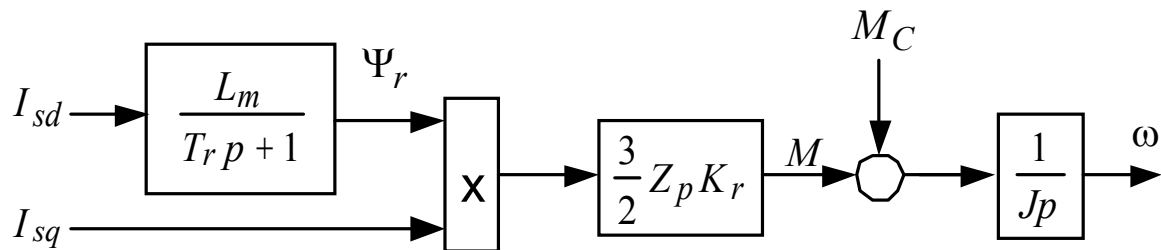


Рисунок 1 – Структурна схема об’єкта спостереження

Система рівнянь стану в операторній формі для такого об’єкта має вигляд:

$$\begin{cases} p\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u, \\ y = \mathbf{C}\mathbf{x}, \end{cases}$$

де вектор змінних стану \mathbf{x} , вхідний сигнал та вихідний сигнали u , y , матриця стану \mathbf{A} матриці входу \mathbf{B} та виходу \mathbf{C} мають вигляд:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \Psi_r \\ \omega \end{bmatrix}; \quad u = I_{sd}; \quad y = \omega;$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & 0 \\ \frac{3I_{sq}Z_pK_r}{2J} & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{L_m}{T_r} \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C} = [0 \quad 1].$$

Єдиною координатою, що вимірюється, в об’єкті спостереження є швидкість обертання валу двигуна. Отже, за цим сигналом будемо здійснювати корекцію СС.

Матриця спостереження \mathbf{Q}_H для обраного об’єкта:

$$\mathbf{Q}_H = [\mathbf{C}^T \quad | \quad \mathbf{A}^T \mathbf{C}^T] = \begin{bmatrix} 0 & \frac{3I_{sq}Z_pK_r}{2J} \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

має ранг, який дорівнює її порядку.

Для синтезу пристрою спостереження введемо вектор зворотних зв’язків \mathbf{L}

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix}$$

за різницею між виміряною та відновленою спостерігачем швидкістю двигуна, як це показано на рис. 2.

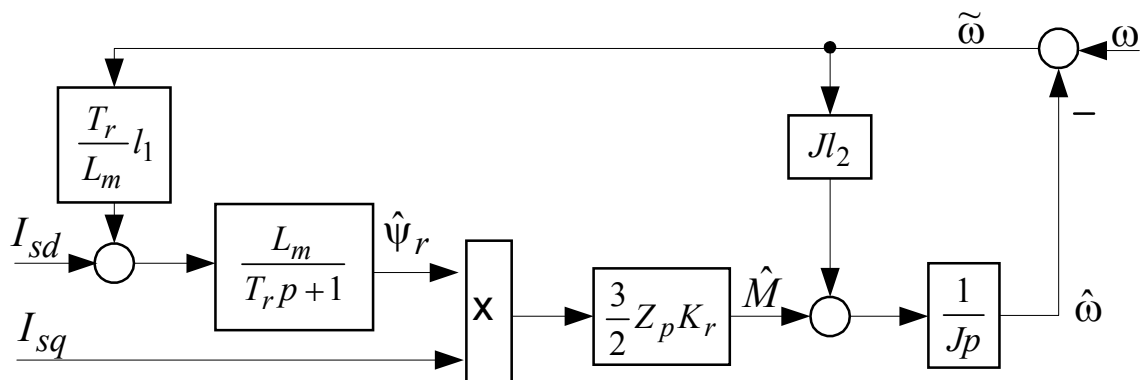


Рисунок 2 – Структурна схема спостерігача стану.

Тоді матриця стану пристрою спостереження повного порядку має вид:

$$\mathbf{A}_{СП} = \mathbf{A} - \mathbf{LC} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & -l_1 \\ \frac{3I_{sq}Z_pK_r}{2J} & -l_2 \end{bmatrix}$$

Для визначення елементів вектора зворотного зв’язку \mathbf{L} у спостерігачі знайдемо вираз для характеристичного поліному системи:

$$\begin{aligned} G_{CC}(p) = \det[p\mathbf{I} - (\mathbf{A} - \mathbf{LC})] &= \begin{vmatrix} p + \frac{1}{T_r} & l_1 \\ -\frac{3}{2} \cdot \frac{I_{sq}Z_pK_r}{J} & p + l_2 \end{vmatrix} = \\ &= p^2 + \left(l_2 + \frac{1}{T_r} \right) p + \frac{l_2}{T_r} + \frac{3}{2} \cdot \frac{I_{sq}Z_pK_rl_1}{J}. \end{aligned}$$

Для розподілу коренів характеристичного рівняння пристрою спостереження оберемо стандартний поліном Баттерворта другого порядку (об’єкт має другий порядок, тому вибір іншого способу розподілу коренів характеристичного рівняння спостерігача істотно не впливає на динаміку роботи системи):

$$\begin{aligned} H_2(p) &= p^2 + \gamma_1 \Omega_0 p + \Omega_0^2, \\ \gamma_1 &= \sqrt{2}, \end{aligned}$$

де Ω_0 - середньгеометричний корінь характеристичного рівняння пристрою спостереження.

Прирівнявши коефіцієнти при однакових ступенях p характеристичного полінома системи та бажаного полінома, отримаємо:

$$l_1 = \frac{2J}{3I_{sq}K_rZ_p} \cdot \left(\Omega_0^2 - \frac{\sqrt{2}\Omega_0}{T_r} + \frac{1}{T_r^2} \right);$$

$$l_2 = \sqrt{2}\Omega_0 - \frac{1}{T_r}$$

Як бачимо, коефіцієнт l_1 є функцією моментоутворюючої складової струму статора I_{sq} . Даний коефіцієнт можна записати у вигляді добутку двох частин: постійної – l_{1C} і змінної – l_{1V} :

$$l_1 = l_{1C} \cdot l_{1V};$$

$$l_{1C} = \frac{2J}{3K_r Z_p} \cdot \left(\Omega_0^2 - \frac{\sqrt{2}\Omega_0}{T_r} + \frac{1}{T_r^2} \right), \quad l_{1V} = \frac{1}{I_{sq}}$$

Змінна частина l_{1V} коефіцієнта l_1 зворотно-пропорційна моментоутворюючій складовій струму статора I_{sq} . Як показали результати моделювання, вплив I_{sq} на точність відновлення та на динаміку системи неістотний, тому далі будемо враховувати лише постійну складову l_{1C} коефіцієнта l_1 .

Дослідження проводилися у пакеті MatLAB методом математичного моделювання для короткозамкнутого асинхронного двигуна МТК-11-6. Його номінальні дані і параметри схеми заміщення:

$P_n=22$ кВт; $n_n=883$ об/хв; $U_{sn}=220$ В; $I_{sn}=6,4$ А; $I_{sxx}=4,7$ А; $J=0,040$ кг·м²; $L_m=0,141$ Гн; $\sigma=0,112$; $\sigma_s=0,057$; $\sigma_r=0,065$; $R_s=3,670$ Ом; $R_r=5,020$ Ом; $M_H=21,0$ Н·м.

При моделюванні застосовувався метод компенсації впливу перехресних зв’язків двигуна з використанням сигналів завдання по відповідним координатам АД [3].

Середньгеометричний корінь характеристичного рівняння пристрою спостереження було прийнято рівним: $\Omega_0 = \frac{1}{4T_\mu}$.

Отримані результати моделювання системи векторного керування зі спостерігачем потокозчеплення ротору наведені на рис. 3, де показані реальне значення модулю вектора потокозчеплення ротору (з моделі двигуна) та його оцінка зі

спостерігача стану. В момент часу $t = 0,2\text{с}$ на двигун стрибком подається завдання навантаження, що складає $0,5M_H$.

При роботі без навантаження точність визначення потокозчеплення досить висока, а головним недоліком такого спостерігача є те, що при нахиді навантаження система стає непрацездатною із-за виникнення помилки оцінки потокозчеплення ротору, що досягає 90%.

Для нормальної роботи спостерігача необхідно на нього заводити визначений статичний момент навантаження.

Момент опору зазвичай ідентифікується, як:

$$M_c = M - M_j$$

де M – момент двигуна, який можна обчислити; M_j – динамічний момент двигуна, який у [4] пропонується ідентифікувати з ω шляхом диференціювання.

Саме наявність ланки диференціювання є недоліком цього засобу визначення статичного моменту навантаження, бо реальна ланка, що диференціює має досить велику похибку та призводить до підсилення шумів у системі.

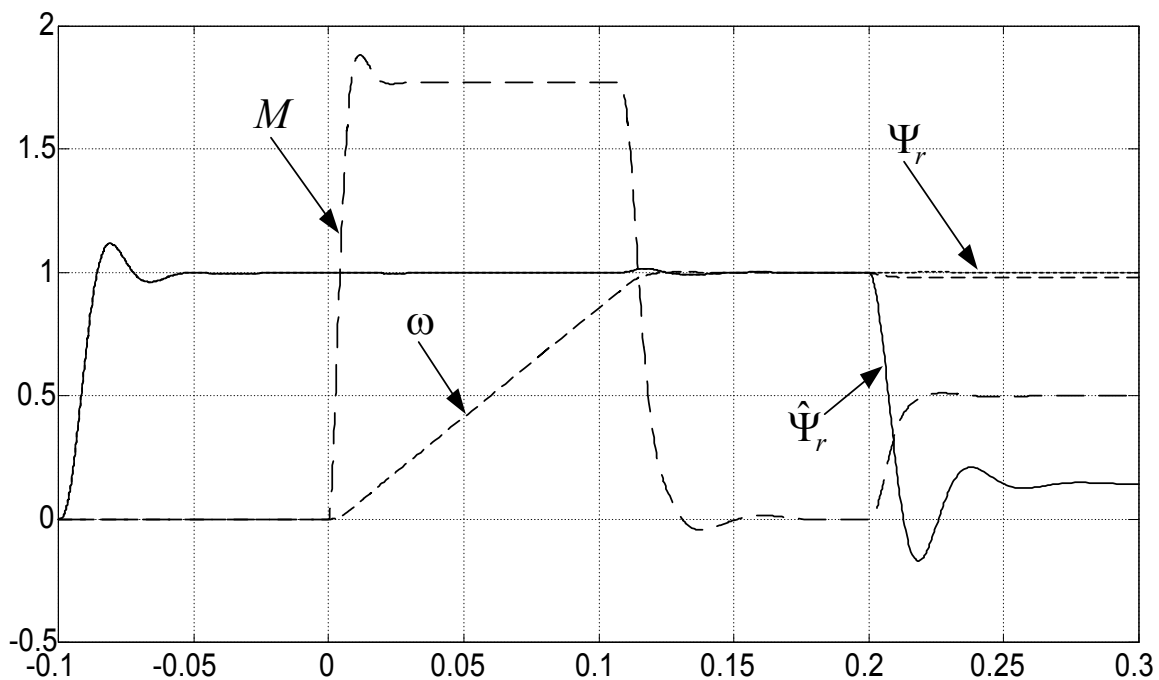


Рисунок 3 – Графік відновленого значення модулю вектора потокозчеплення ротору (з моделі двигуна) та його оцінка зі спостерігача стану

Тому пропонується застосувати додатковий спрощений спостерігач першого порядку для визначення статичного моменту навантаження, як це було зроблено в [5] для привода постійного струму. Це також дозволяє визначити динамічний момент двигуна для надання системі астатизму за навантаженням без застосування ПІ-регулятора швидкості.

Об’єкт спостереження, що уявляє собою частину моделі асинхронного двигуна у координатах d, q , наведено на рис. 4.

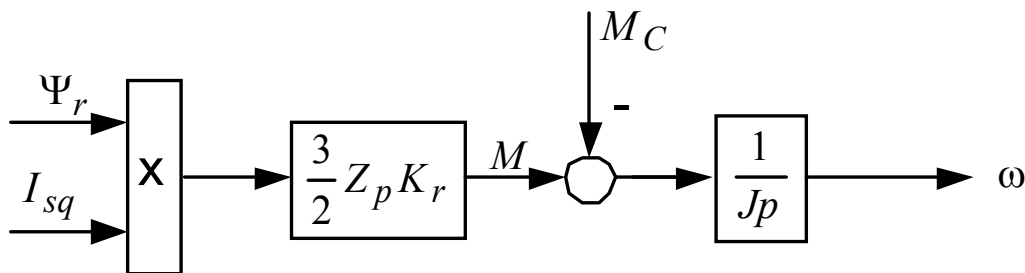


Рисунок 4 – Об’єкт спостереження

Тоді схема спостерігача першого порядку буде мати вигляд рис. 5.

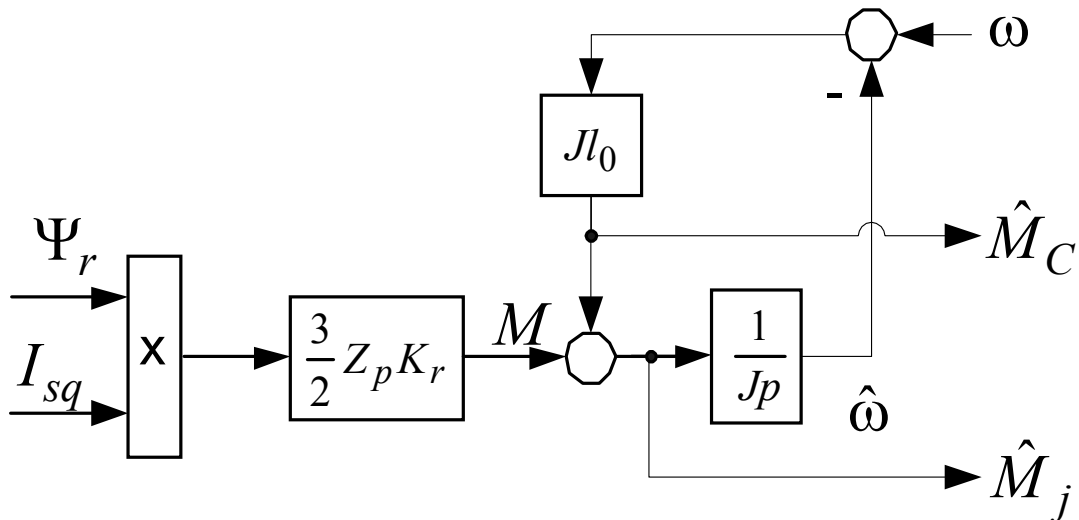


Рисунок 5 – Структурна схема спостерігача моменту

Координатою, що спостерігається є динамічний момент двигуна M_j .

Характеристичний поліном розглянутого спостерігача:

$$G_{cc}(p) = p + l_0 = p + \Omega_{01};$$

звідки:

$$l_0 = \Omega_{01}.$$

Як можна побачити з рис. 6, похибка відновлення модуля вектора потокозчеплення ротору при використанні спостерігача моменту першого порядку в усталеному режимі дорівнює нулю.

При моделюванні середньогеометричний корінь характеристичного рівняння пристрою спостереження першого порядку було прийнято рівним: $\Omega_{01} = \frac{5}{T_\mu}$.

На рис. 7 приведені результати моделювання системи, замкненої за динамічним моментом двигуна, що оцінюється спостерігачем. Як можна побачити, система стала астатичною за навантаженням, тобто відсутня похибка відробки швидкості при навантаженні двигуна.

Структурна схема системи векторного керування зі зворотнім зв’язком за динамічним моментом та використанням спостерігачів потокозчеплення та моменту наведена на рис. 8.

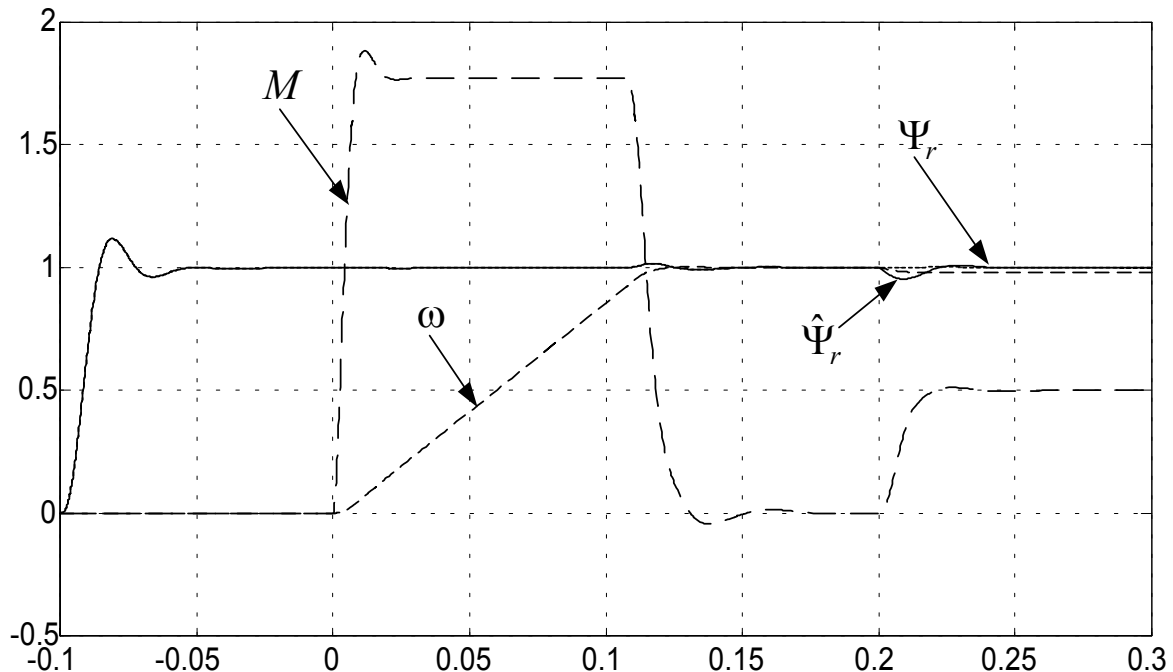


Рисунок 6 – Графік відновленого значення модулю вектора потокозчеплення ротору (з моделі двигуна) та його оцінка зі спостерігача стану з урахуванням моменту статичного навантаження

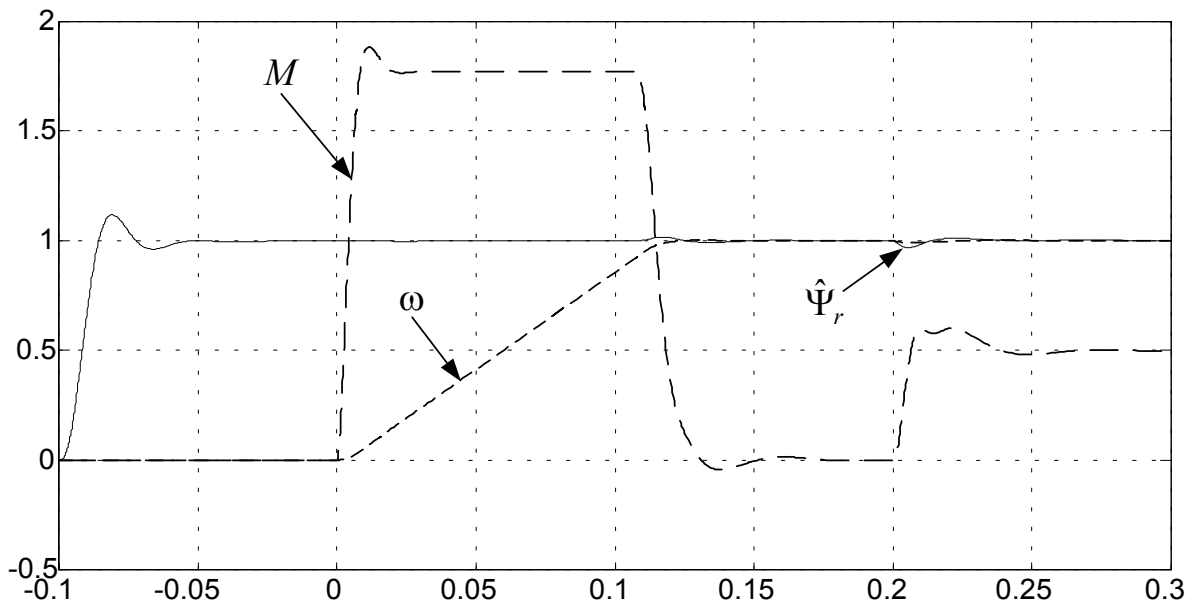


Рисунок 7 – Результати моделювання системи, замкненої за динамічним моментом двигуна, що оцінюється спостерігачем

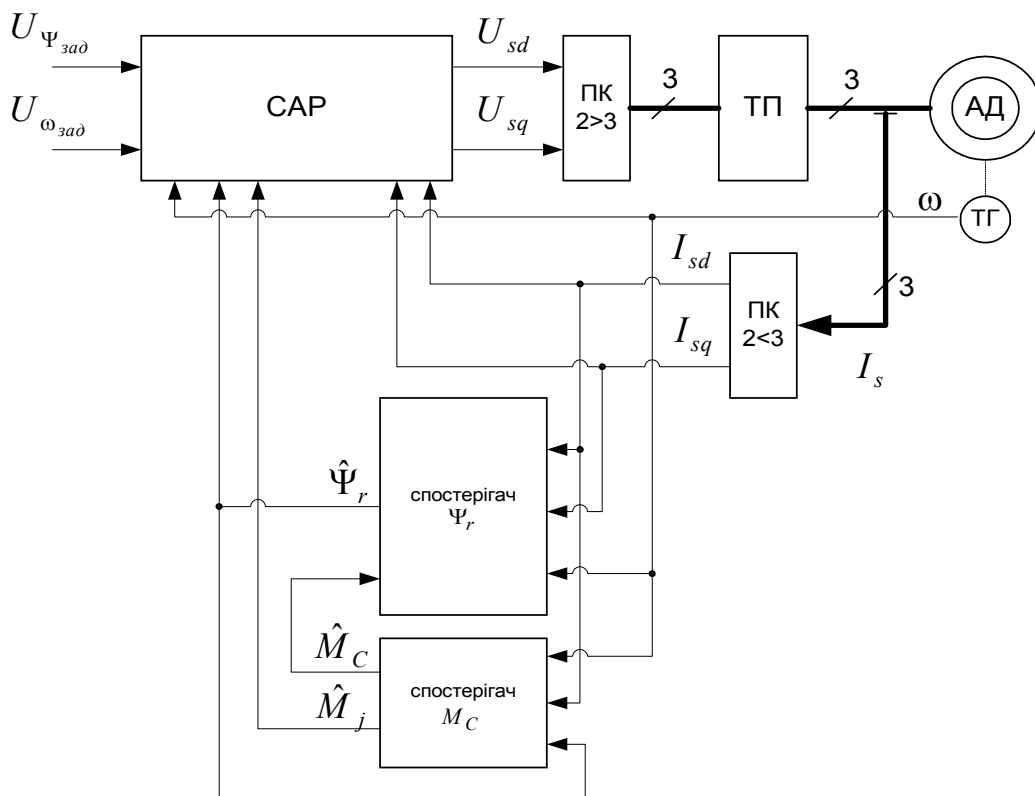


Рисунок 8 – Структурна схема системи векторного керування зі зворотнім зв’язком за динамічним моментом та використанням спостерігачів потокозчеплення та моменту

Висновки:

1. У ході роботи був синтезований спостерігач стану другого порядку для визначення потокозчеплення ротору та спостерігач першого порядку для визначення моменту статичного навантаження двигуна та динамічного моменту.

2. Використання спостерігача для визначення моменту статичного навантаження двигуна дозволило виключити ланку диференціювання, що покращує характеристики системи в плані меншої чутливості до шумів.

3. Застосування зворотного зв’язку за динамічним моментом призвело до отримання астатизму системи за збуренням (навантаженням) без використання ПІ-регулятора швидкості, що дозволяє знизити перерегулювання за моментом та струмом.

Перелік посилань

1. Системы подчинённого регулирования электроприводов переменного тока с вентильными преобразователями / Слежановский О.В. и др. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.

2. Leonhard W. Regelung elektrischer Antriebe / Durchgesehene und ergänzte Übersetzung des Autors „Control of electrical drives” 2-nd Ed. – Springer Verlag, 1997. – 292 S.

3. Толочко О.И., Мирошник Д.Н. Способы компенсации влияния внутренних связей асинхронного двигателя при векторном управлении // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2002. – №12. – Т.2. – С. 102-103.

4. Ципленков Д.В. Пристрої спостереження в електроприводі змінного струму // Гірнична електромеханіка та автоматика. Наук. - техн. зб. – 1998. – Вип. 60. – С. 62-68.

5. Толочко О.И., Коцегуб П.Х., Мариничев В.Ю., Розкаряка П.Х. Система подчиненного регулирования скорости с наблюдателем динамического и статического токов первого порядка // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ. Выпуск 1/2001(10). – Кременчуг: КГПУ. – 2001. – С. 103-109.