

Вінницький національний технічний університет

Факультет комп'ютерних систем і автоматики

Кафедра метрології та промислової автоматики

# Дипломний проект

Тема: Інформаційно-вимірювальна система  
для визначення механічних характеристик  
електричних машин

Виконав:

ст.гр.МВТ-15сп Сікорський Дмитро Ігорович

Наук.керівник:

д.т.н.,проф. Кучерук Володимир Юрійович

# Вступ

Трифазні асинхронні машини загального призначення є найбільш масовою продукцією електромашинобудування. Асинхронні електроприводи складають близько 95% загальної кількості електроприводів, а асинхронні машини споживають більше половини електроенергії, що виробляється у нашій країні. Тому розробка ефективних методів визначення характеристик цих двигунів в процесі виробництва і після їх виготовлення є актуальним завданням.

На жаль, питанням автоматизації та механізації випробовувань електричних машин (ЕМ) приділяється недостатньо уваги. Серійно не випускаються засоби вимірювання, які необхідні для дослідних та промислових випробовувань. Разом з тим ЕМ є основною компонентою більш складних систем. Тому ризик використання недостатньо протестованих ЕМ не виправданий і може призвести до значних матеріальних втрат.

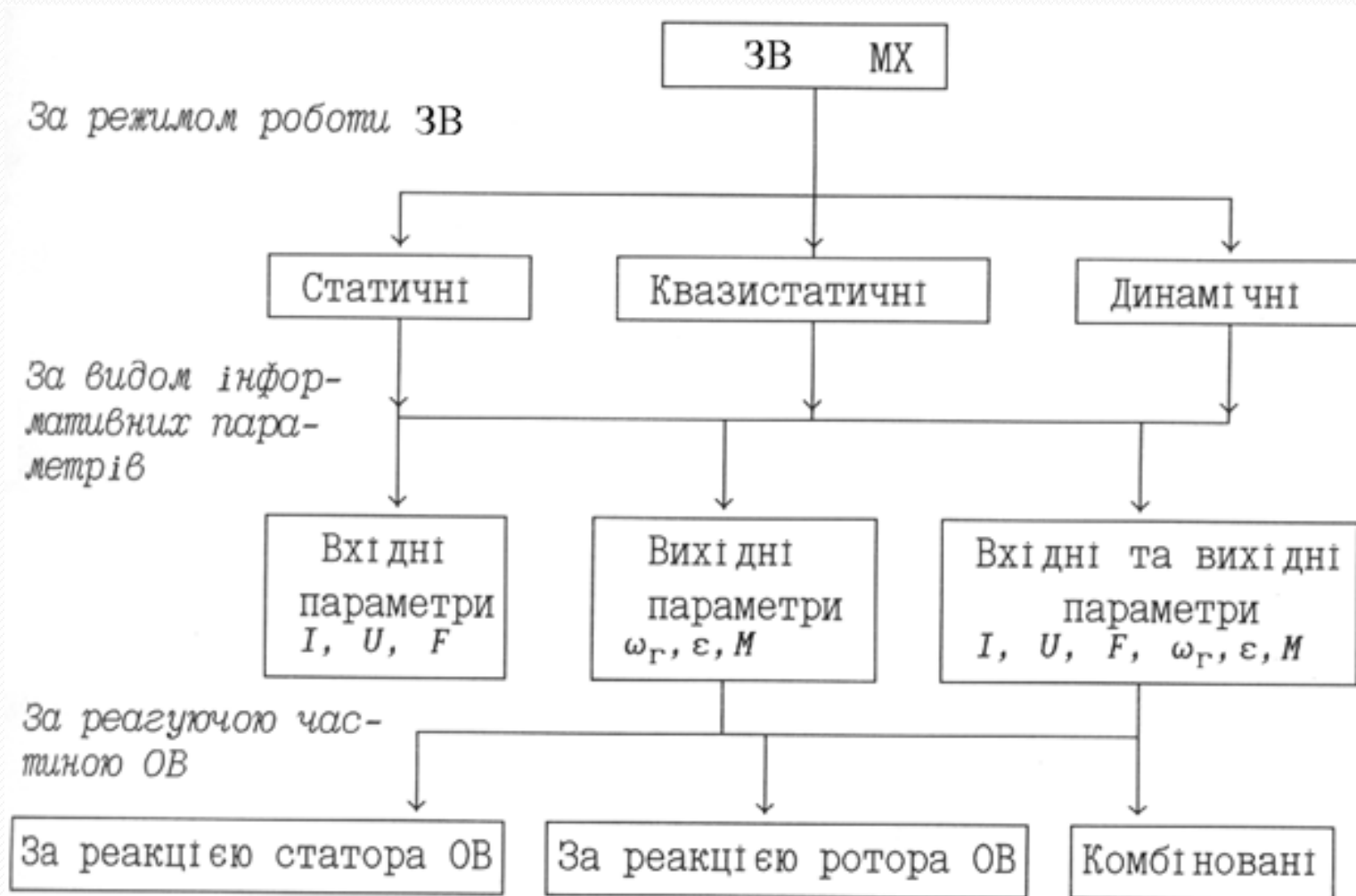
**Метою** даної роботи є розробка елементів теорії побудови інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) для визначення механічних характеристик асинхронних машин в динамічних режимах їх роботи.

# Механічна характеристика

При різних видах випробовувань електричних машин (ЕМ) виникає необхідність вимірювання характеристик руху (ХР), а саме: обертаючого моменту  $M$ ; механічної характеристики; приведенного моменту інерції ротора електричної машини  $J$ ; моменту механічних втрат  $M_0$ . Перераховані фізичні величини входять в загальне рівняння руху ЕМ, що дає можливість об'єднати їх під загальною назвою ХР ЕМ. Вони повинні визначатись як в статичному, так і в динамічному режимі роботи ЕМ.

**Механічна характеристика (МХ)** представляє собою залежність між обертаючим моментом і кутовою швидкістю обертання  $M = f(\omega_r)$  або  $\omega_r = f(M)$  що отримана при незмінних напрузі живлення і частоті мережі.

# Класифікація засобів вимірювання МХ



За режимом роботи ЗВ всі ЗВ МХ можливо розділити на статичні, квазистатичні і динамічні. Ці ЗВ засновані на дослідженні залежностей  $M = f(\omega_r)$  або  $\omega_r = f(M)$  які слідують із основного рівняння руху ЕМ:

$$M_{\text{руху}}(\omega_r) = M_J(\omega_r) + M_0(\omega_r),$$

де  $M_{\text{руху}}$  - момент, який розвивається випробовуваним двигуном, [Н·м];

$M_J$  - момент, що створює кутове прискорення (динамічний момент навантаження), [Н·м];

$M_0$  - момент механічних втрат (статичний момент навантаження), [Н·м];

$$M_J(\omega_r) = J \frac{d\omega_r}{dt} = J\varepsilon;$$

$J$  - момент інерції ротора, [кг·м<sup>2</sup>];  $\omega_r$  - кутова швидкість обертання ротора, [с<sup>-1</sup>];

$\varepsilon$  - кутове прискорення обертання ротора, [с<sup>-2</sup>].

При статичному методі вимірювань МХ знаходиться дискретно у статичному режимі ( $\varepsilon = 0$ ), коли:

$$M_{\text{руху}} = M_0(\omega_r), M_J(\omega_r) = 0.$$

Квазистатичний метод. Даний метод схожий із статичним, крім того виникає необхідність внесення поправок на величину моменту  $J\varepsilon$ , що витрачається на прискорення ротору.

Підбираючи величину прискорення зміни частоти  $f_{\text{НОМ}}$ , можливо проводити виміри як в статичному, так і в динамічному режимах роботи ОВ. Якщо змінювати частоту у межах  $(0.1 \div 1)f_{\text{НОМ}}$ , то можна отримати всю МХ.

При динамічному методі вимірювань реальна МХ визначається шляхом вимірювання обертаючих моментів за прискоренням, що розвинуто випробовуваним двигуном під час розбігу, коли:

$$M_{\text{руху}} = M_J(\omega_r), M_0(\omega_r) = \text{const.}$$

До недоліків цього методу вимірювань відносять: необхідність малого кроку дискретизації через короткочасність процесу вимірювань; складність технічної реалізації; припущення, що  $J = \text{const}$  та  $M_0 = \text{const}$ , коли в дійсності момент інерції та момент механічних втрат є функціями від швидкості обертання ротора.

До позитивних якостей можна віднести: відсутність впливу температури на визначену МХ; короткочасність вимірювання; простота конструкції механічної частини ЗВ.

В результаті проведеного в роботі порівняльного аналізу встановлено, що в промислових умовах найбільш ефективним є динамічний метод вимірювання МХ. Властиві йому недоліки обмежують область його використання, але висока інформативність і технологічність значно відрізняють цей метод від інших. Вказаний метод має всі необхідні передумови для удосконалення і розробки на його основі інтелектуальних ЗВ або ІВС МХ ЕМ.

# Розробка способу вимірювання МХ

Рівняння руху ЕМ відповідно з першим і другим зразками будуть мати вигляд:

$$\begin{cases} M_{\text{ЕМ}}(\omega_r) = M_0(\omega_r) + M_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + (J(\omega_r) + J_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + J_{\text{З1}}(\omega_r))\varepsilon_{n1}(\omega_r); \\ 0 = M_0(\omega_r) + M_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + (J(\omega_r) + J_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + J_{\text{З1}}(\omega_r))\varepsilon_{\Gamma1}(\omega_r); \\ M_{\text{ЕМ}}(\omega_r) = M_0(\omega_r) + M_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + (J(\omega_r) + J_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + J_{\text{З2}}(\omega_r))\varepsilon_{n2}(\omega_r); \\ 0 = M_0(\omega_r) + M_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + (J(\omega_r) + J_{\text{ЗВ}}(\omega_r) + J_{\text{З2}}(\omega_r))\varepsilon_{\Gamma2}(\omega_r); \end{cases}$$

де  $M_{\text{ЕМ}}$  - динамічний електромагнітний момент;  $M_0$  - момент механічних втрат ЕМ;  $M_{\text{ЗВ}}$  - момент механічних втрат ЗВ;  $J$  - момент інерції ротору ЕМ;  $J_{\text{ЗВ}}$  - момент інерції вхідного валу ЗВ;  $J_{\text{З1}}$  - момент інерції першого зразку;  $J_{\text{З2}}$  - момент інерції другого зразку;  $\varepsilon_{n1}$  - кутове прискорення розгону ЕМ з першим зразком;  $\varepsilon_{\Gamma1}$  - кутове прискорення самогальмування ЕМ з першим зразком;  $\varepsilon_{n2}$  - кутове прискорення розгону ЕМ з другим зразком;  $\varepsilon_{\Gamma2}$  - кутове прискорення самогальмування ЕМ з другим зразком.

Здійснення двох експериментів є методичною основою запропонованого методу і дозволяє з використанням отриманої системи скласти і вирішити систему з трьох рівнянь з трьома невідомими  $M_{\text{ем}}, M_0, J$ . Після перетворень система буде мати вигляд:

$$\begin{cases} M_{\text{ем}} - M_0 - J\varepsilon_{n1} = J_{31}\varepsilon_{n1}; \\ -M_0 - J\varepsilon_{r1} = J_{31}\varepsilon_{n1}; \\ M_{\text{ем}} - M_0 - J\varepsilon_{n2} = J_{32}\varepsilon_{n2}; \\ -M_0 - J\varepsilon_{r2} = J_{32}\varepsilon_{n2}. \end{cases}$$

Прийmemo  $J_{31} = 0, J_{32} = J_3$ . Тоді, вирішивши спільно друге і четверте рівняння системи, отримаємо:

$$M_0 = \frac{\varepsilon_{r1}\varepsilon_{r2}J_3}{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}};$$

$$J = \frac{J_3\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}}.$$

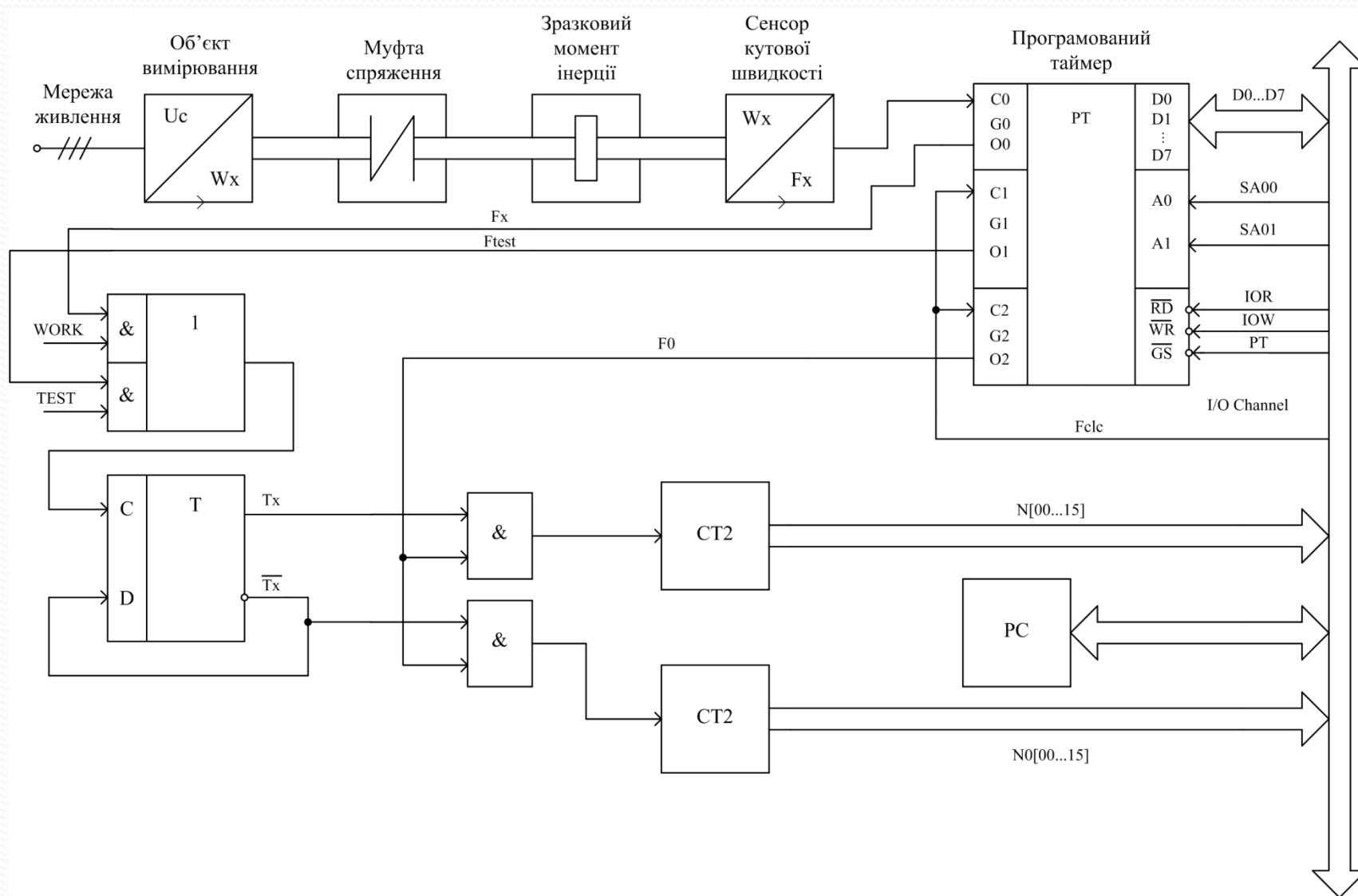
Електромагнітний момент  $M_{\text{ем}}$  визначиться із першого рівняння системи:

$$M_{\text{ем}} = J_3\varepsilon_{n1} + \frac{\varepsilon_{r1}\varepsilon_{r2}J_3}{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}} - \frac{J_3\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r2} - \varepsilon_{r1}}\varepsilon_{n1}.$$

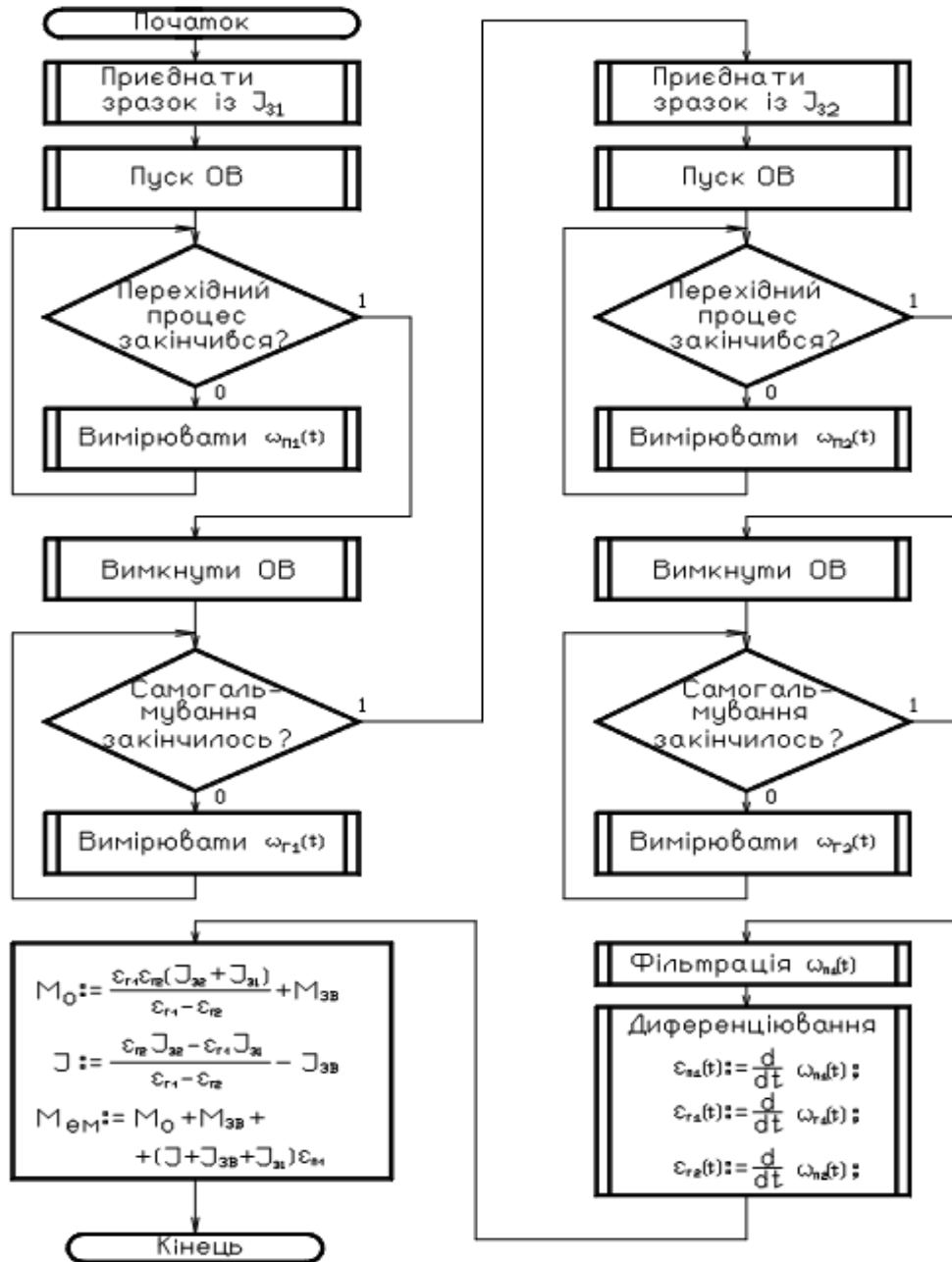
Відмітимо, що  $M_{\text{ем}}$  - це динамічний електромагнітний момент, без врахування моменту опору  $M_0$ . Повний динамічний момент  $M_d$  визначиться як  $M_{\text{ем}} + M_0$ .



# Структурна схема вимірювального каналу ІВС МХ



# Алгоритм роботи ІВС МХ





# Оцінка похибок вимірювального каналу

Згідно теорії похибок вимірювань, середньоквадратичні похибки вимірювання  $\sigma_J, \sigma_{M_0}, \sigma_{M_{EM}}$  в дослідах пуску і самогальмування будуть рівні:

$$\sigma_J = \sqrt{\left(\frac{\partial J}{\partial \varepsilon_{r1}} \sigma_{\varepsilon_{r1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial J}{\partial \varepsilon_{r2}} \sigma_{\varepsilon_{r2}}\right)^2},$$

$$\sigma_{M_0} = \sqrt{\left(\frac{\partial M_0}{\partial \varepsilon_{r1}} \sigma_{\varepsilon_{r1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_0}{\partial \varepsilon_{r2}} \sigma_{\varepsilon_{r2}}\right)^2},$$

$$\sigma_{M_{EM}} = \sqrt{\left(\frac{\partial M_{EM}}{\partial \varepsilon_{\pi1}} \sigma_{\varepsilon_{\pi1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{EM}}{\partial \varepsilon_{r1}} \sigma_{\varepsilon_{r1}}\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{EM}}{\partial \varepsilon_{r2}} \sigma_{\varepsilon_{r2}}\right)^2},$$

де  $\sigma_{\varepsilon_{\pi1}}, \sigma_{\varepsilon_{r1}}, \sigma_{\varepsilon_{r2}}$  – середньоквадратичні похибки вимірювання прискорень відповідно в дослідах пуску і гальмування із  $J_3$ .

Цілком ймовірно, що  $\sigma_{\varepsilon_{\pi1}} = \sigma_{\varepsilon_{r1}} = \sigma_{\varepsilon_{r2}} = \sigma_\varepsilon$ .

Провівши відповідні перетворення та обчислення, запишемо:

$$\sigma_J = \frac{\sigma_\varepsilon J_\varepsilon}{(\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2})^2} \sqrt{\varepsilon_{r2}^2 + \varepsilon_{r1}^2} \approx 0.5\%,$$

$$\sigma_{M_0} = \frac{\sigma_\varepsilon J_\varepsilon}{(\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2})^2} \sqrt{\varepsilon_{r2}^4 + \varepsilon_{r1}^4} \approx 1.9\%,$$

$$\sigma_{M_{EM}} = \frac{\sigma_\varepsilon J_\varepsilon}{(\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2})^2} \cdot \sqrt{[\varepsilon_{\pi1}(\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2})]^2 + [\varepsilon_{r2}(\varepsilon_{r2} + 1)]^2 + [\varepsilon_{r1}(\varepsilon_{r1} + 1)]^2} \approx 1.5\%.$$

# Реалізація вимірювального перетворення на мові програмування Ladder Diagram

Рівняння перетворення вимірювального каналу кутової швидкості має вигляд:

$$N_x = \frac{2\pi f_0}{\omega_r \cdot z},$$

де  $z$  - роздільна здатність сенсора швидкості обертання;  $f_0$  - частота квантуючих імпульсів,  $\pi = 3,14$ ;  $\omega_r$  - кутова швидкість обертання.

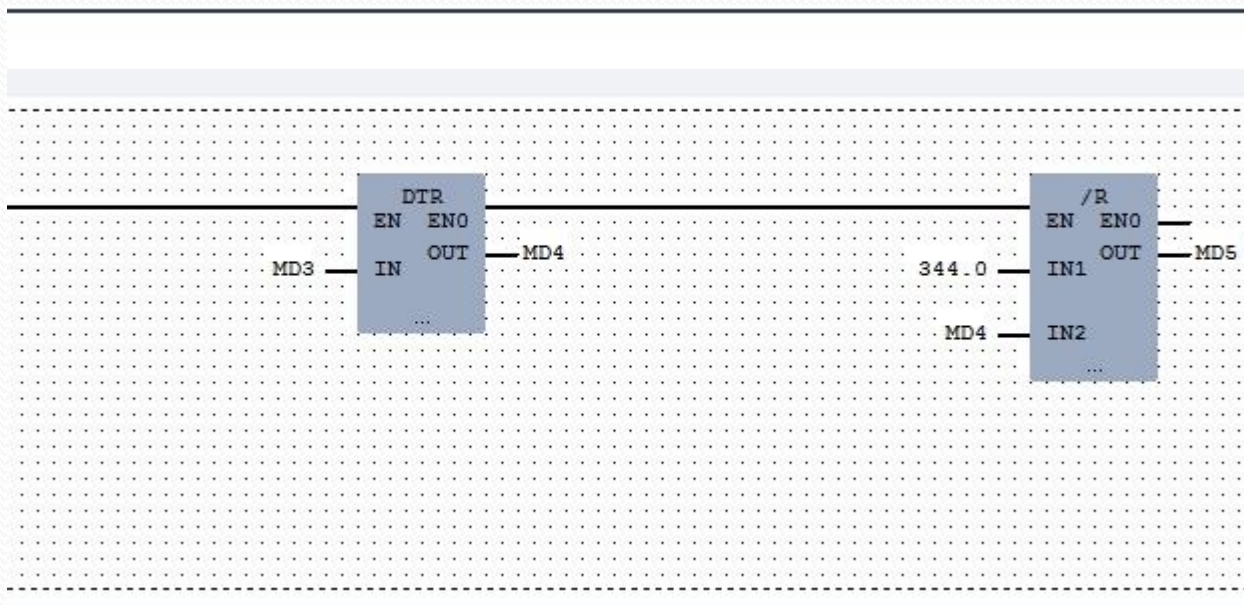
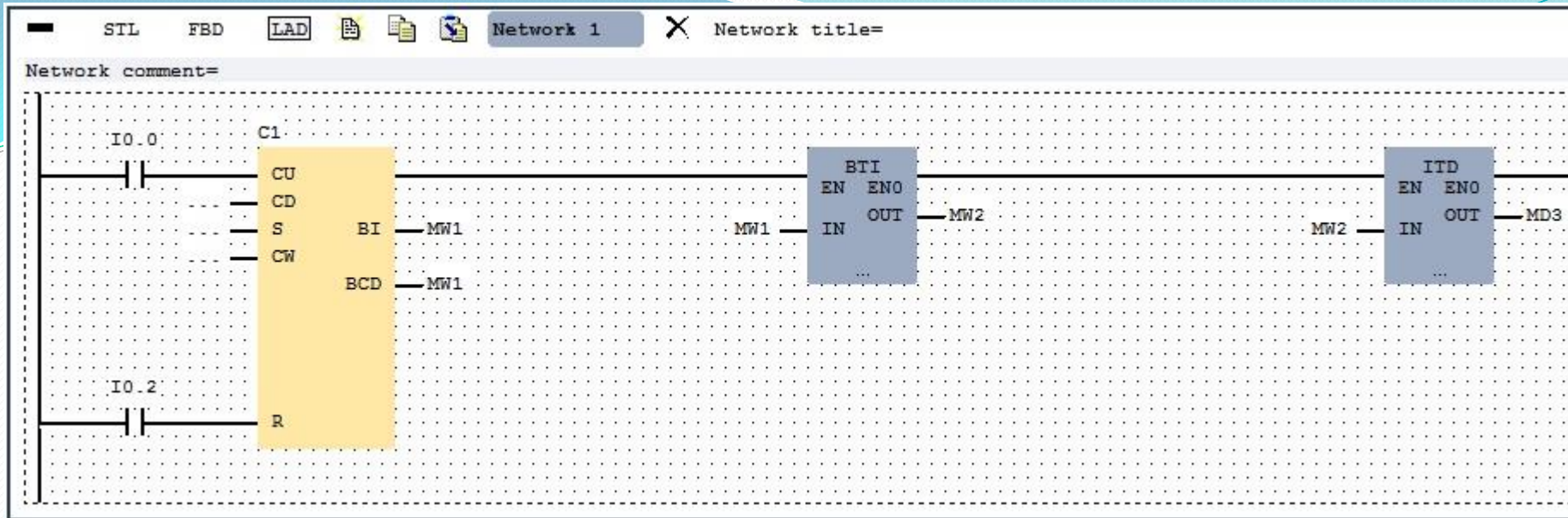
Дано:  $z = 512$ ;  $f_0 = 28\text{кГц}$ ;  $\omega_r = 1 \dots 314$  рад/с.

Підставимо ці данні у рівняння перетворення:

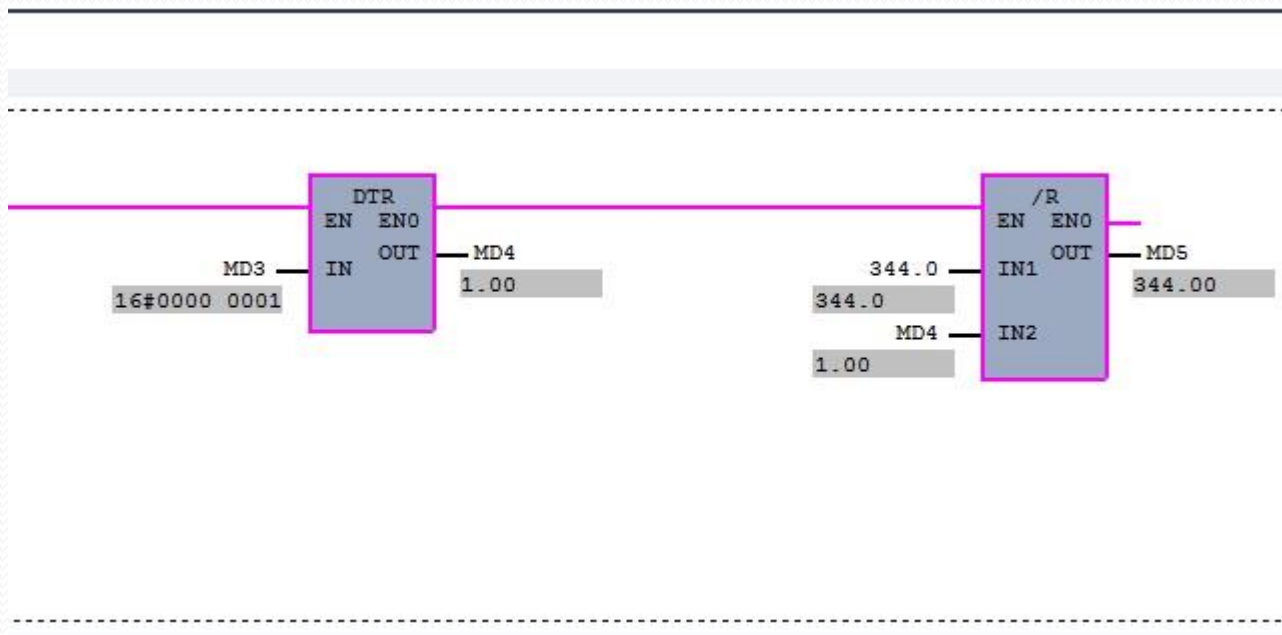
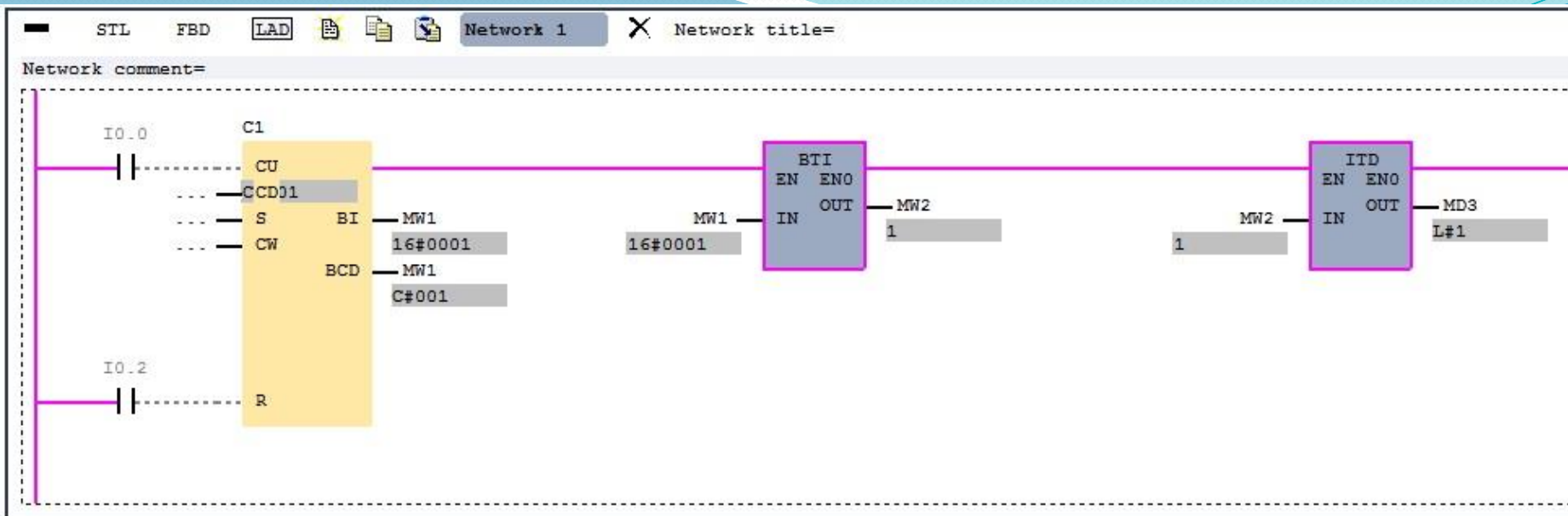
$$N_x = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 28000}{\omega_r \cdot 512} = \frac{344}{\omega_r}$$

Якщо  $\omega_r = 1$ , то  $N_x = \frac{344}{1} = 344$ ; якщо  $\omega_r = 314$ , то  $N_x = \frac{344}{314} = 1.1$ .

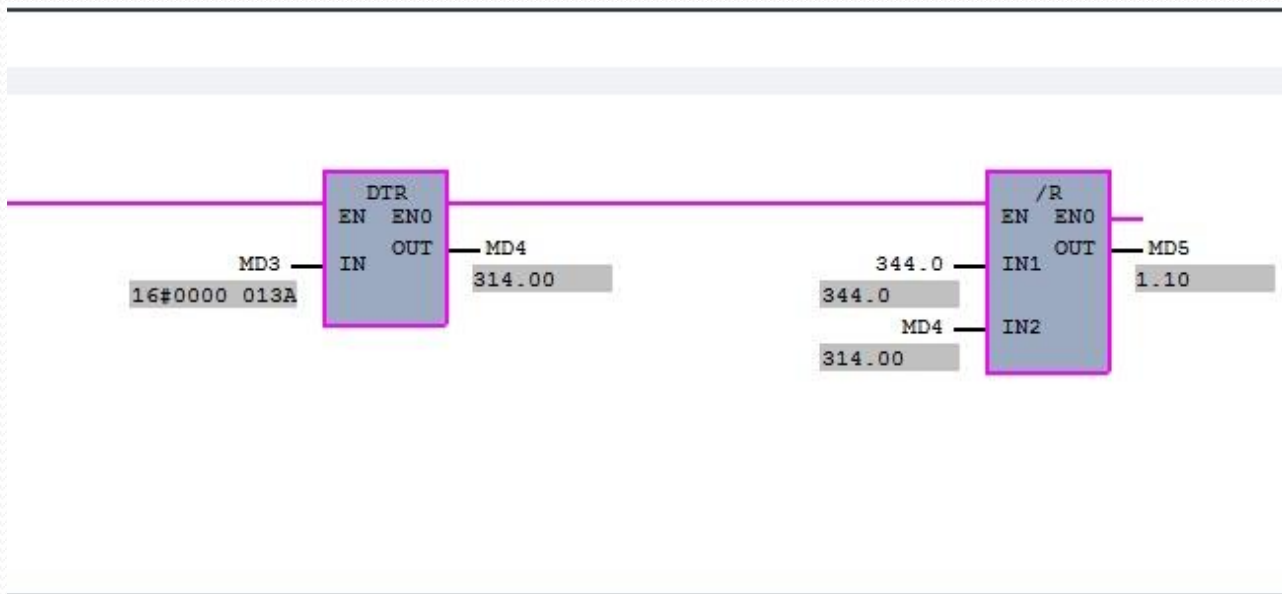
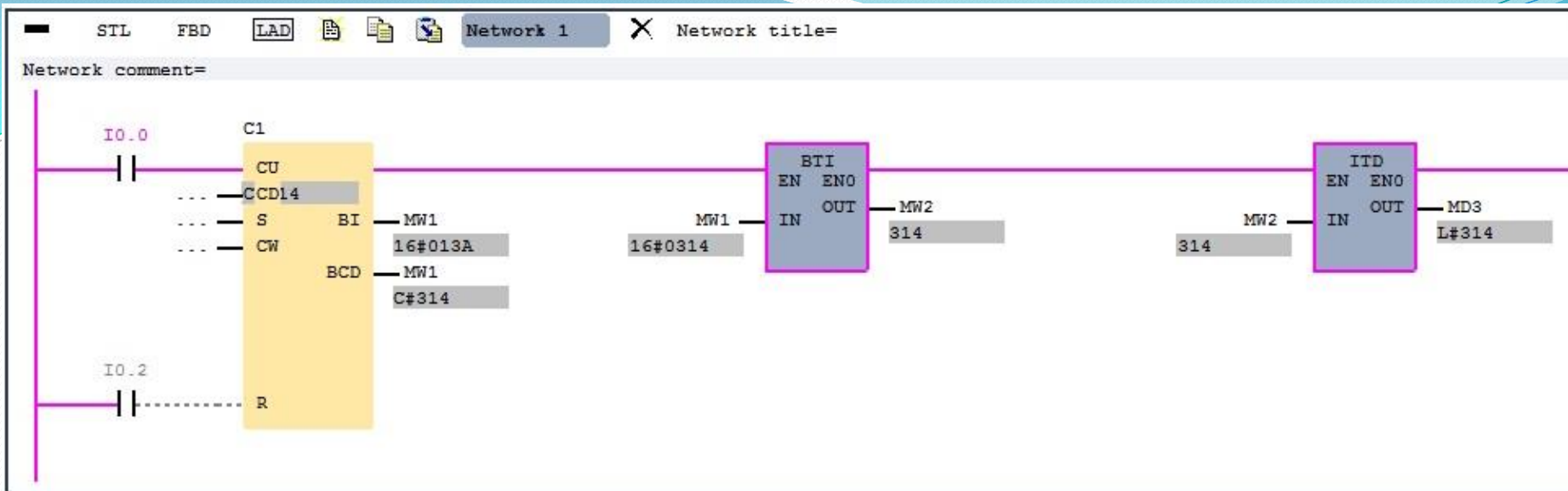
Реалізуємо вище наведені обчислення у програмному пакеті «WinPLC7» на мові програмування Ladder Diagram.



Загальний вигляд вимірювального каналу у пакеті «WinPLC7»



Реалізація випадку, коли  $\omega_r = 1$  рад/с



Реалізація випадку, коли  $\omega_r = 314$  рад/с



# Економічні розрахунки

Проаналізувавши результати проведених розрахунків, можна зробити висновок, що нова розробка є економічно ефективною та доцільною.

На підтвердження економічної доцільності розробки свідчить:

- економічний ефект на експлуатаційних витратах для споживача, який становить  $\Delta E = 1266,97$  (грн./рік.)
- економічний ефект на ціні, для споживача, який становить  $\Delta Ц = 47209,58$  (грн.).

Термін окупності витрат для виробника складає  $T_0 = 0,05$  року, що підтверджує економічну ефективність розробки.

# ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті було досліджено: основні методи вимірювання механічних характеристик; проаналізовано джерела та запропоновано новий спосіб вимірювання механічних характеристик; на базі запропоновано способу розроблено структурну схему, алгоритм роботи та принципову схему вимірювального каналу ІВС; розраховані метрологічні характеристики та похибки вимірювання; за допомогою математичного апарату «Maple» розраховані основні статичні метрологічні характеристики, які представлені графічно; за допомогою програмного пакету WinPLC7 віртуально реалізовано вимірювальний канал на мову програмування Ladder Diagram; проведено розрахунки економічної доцільності впровадження нової розробки у виробництво.

Для підвищення ефективності випробовувань електричних машин і дослідження вимірювальних перетворень у ІВС механічних характеристик необхідно використовувати їх математичні моделі, використовувати програмні пакети для віртуальної реалізації, а також проводити вимірювання в динамічному режимі роботи ІВС.

За результатами економічних розрахунків, нова розробка є економічно ефективною та доцільною.