

Магістерська кваліфікаційна робота

**«Віртуальний тренажерний комплекс для
дослідження електромеханічної системи
постійного струму»**

Виконав: ст. гр. ЕМА-15м. Янчук О.М.

Науковий керівник – к.т.н., Розводюк М.П.

ОБ'ЄКТ, ПРИДМЕТ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом дослідження є електромеханічні процеси, що протікають в електромеханічній системі постійного струму.

Предметом дослідження є математичні моделі електромеханічної системи постійного струму та програмне середовище для реалізації ВТК.

Метою роботи є розробка віртуального тренажерного комплексу для дослідження електромеханічної системи постійного струму на базі синтезу її математичних моделей та відповідних структурних схем.

Задачі роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) здійснити аналіз принципів побудови віртуального тренажерного комплексу (ВТК) та вибрати засоби розробки;
- 2) розробити математичні моделі електромеханічної системи постійного струму та синтезувати відповідні структурні схеми;
- 3) розробити оболонку віртуального тренажерного комплексу;
- 4) розробити методичку проведення досліджень;
- 5) провести дослідження на віртуальному тренажерному комплексі.

АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВТК

Назва програмного середовища	Переваги	Недоліки
1. ANSYS	<ol style="list-style-type: none"> 1) Можливість використання при вирішенні пов'язаних завдань. 2) Дозволяє вирішувати двох і тривимірні завдання. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Не можливість змінювати параметри елементів під час роботи. 2) Не можливість створення віртуальної
2. Micro-Cap	<ol style="list-style-type: none"> 1) Дозволяє аналізувати аналогові, цифрові і змішані аналогові – цифрові електронні пристрої. 2) Досить широка елементна база. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Не зручний інтерфейс. 2) Не зручність у користуванні. 3) Не Можливість змінювати параметри активних і пасивних елементів.
3. Electronics Workbench	<ol style="list-style-type: none"> 1) Зручний інтерфейс, досить схожий до лабораторних умов. 2) Дозволяє працювати з аналоговою і цифровою схемотехнікою. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Відносна висока вартість для придбання ліцензійної версії. 2) Має невеликий набір можливих тестів.
4. MATLAB	<ol style="list-style-type: none"> 1) Велика бібліотека функцій (більше 800 елементів). 2) Дозволяє обробляти масиви даних (матриць і векторів). 3) Бібліотека функцій розбита на розділи. 4) Зручний у використанні. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Відносна висока вартість для придбання ліцензійної версії. 2) Не можливість регулювати параметри під час моделювання.
5. LabVIEW	<ol style="list-style-type: none"> 1) Можливість створення віртуальної лабораторії. 2) Спрощує програмування для непрофесійних програмістів. 3) До ряду приладів, уже надаються готові віртуальні інструменти. 4) Наявна велика кількість функцій для збору даних, обчислень, генерації сигналів, аналізу тощо. 5) Наявна велика кількість графічних елементів. 6) Існує дешева версія LabVIEW Student Edition. 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Під час моделювання присутні стрибки вихідного сигналу, пов'язані з недостатньою точністю моделювання. 2) LabVIEW є власним програмним забезпеченням National Instrument, і вимагає активації.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА

Вартість програмних середовищ придатних, для аналізу
електромеханічних систем

<u>Назва програмного середовища</u>	<u>Ціна (дол.)</u>
1. ANSYS	10150
2. Micro-Cap	4720
3. <u>Electronics Workbench</u>	5500
4. MATLAB (<u>Simulink</u>)	9750
5. <u>LabVIEW</u>	4950

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СЕРІЄСНОГО ДВИГУНА

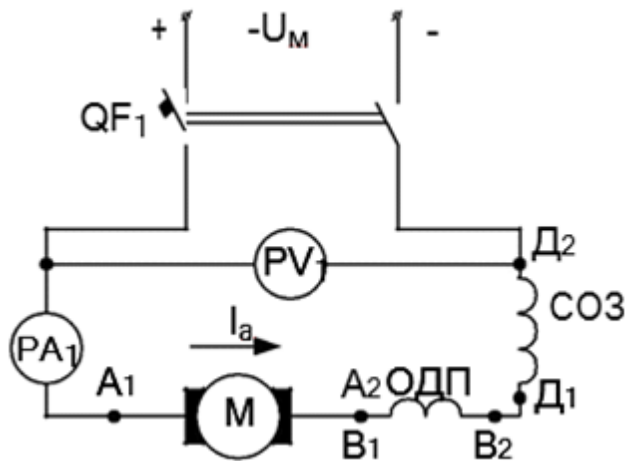
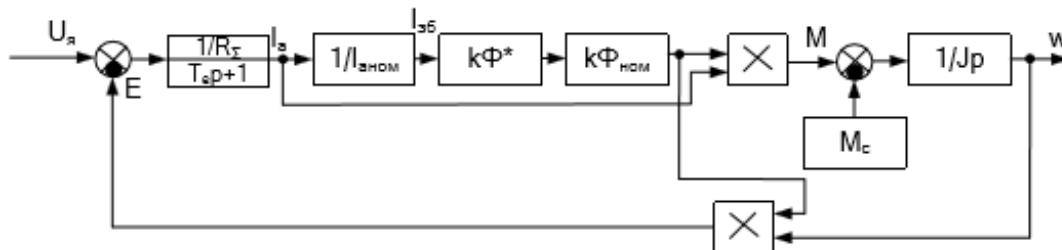


Схема електрична принципова

Математична модель:

$$\begin{cases} U = E_a + IR_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{dI}{dt} \\ U = E_a + IR_{\Sigma} + L_{\Sigma} \cdot I \cdot p \\ R_{\Sigma} = R_{я} + R_{дп} + R_{сер} \\ T_e = \frac{L_a + L_{др}}{R_{\Sigma}} \\ I = \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot \frac{1}{(T_e p + 1)} \cdot (U - E_a) \\ J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \\ J \cdot \omega \cdot p = M - M_c \\ \omega_n = \frac{1}{Jp} (M - M_c) \\ E_a = \omega \cdot kf(i_a), \\ M_c = I_n \cdot kf(i_a) \end{cases}$$



Структурна схема

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ШУНТОВОГО ДВИГУНА

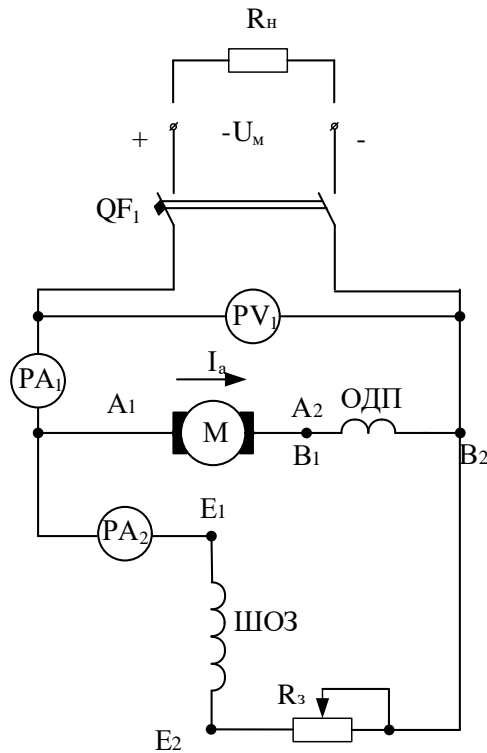
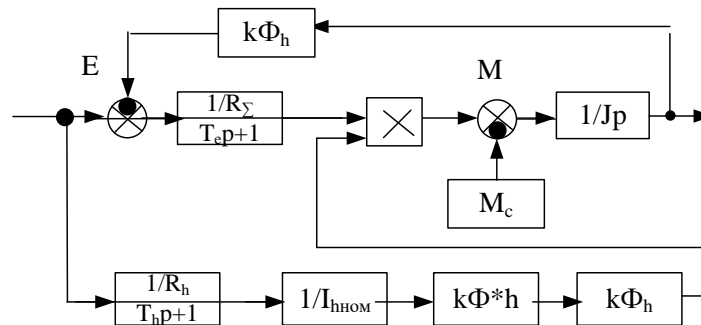


Схема електрична принципова

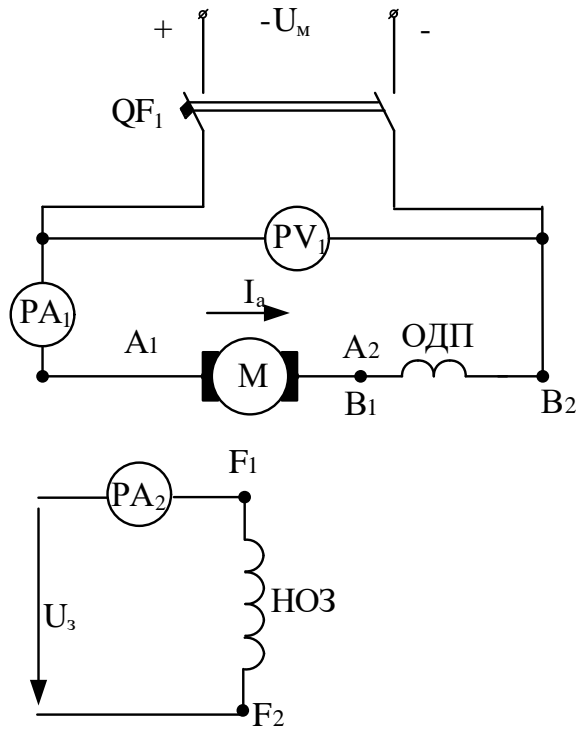
Математична модель:

$$\begin{cases}
 U = E_a + IR_\Sigma + L_\Sigma \frac{dI}{dt} \\
 U = E_a + IR_\Sigma + L_a \cdot I \cdot p \\
 R_\Sigma = R_a + R_{\text{дп}} + R_{\text{ш}} \\
 T_c = \frac{L_a}{R_\Sigma} \\
 I = \frac{1}{R_\Sigma} \cdot \frac{1}{(T_c p + 1)} \cdot (U - E_a) \\
 kF_{\text{ном}} = \frac{U - IR_a}{\omega} \\
 J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \\
 J \cdot \omega \cdot p = M - M_c \\
 \omega_n = \frac{1}{Jp} (M - M_c) \\
 E_a = \omega \cdot kf(i_a) \\
 M_c = I_n \cdot kf(i_a)
 \end{cases}$$



Структурна схема

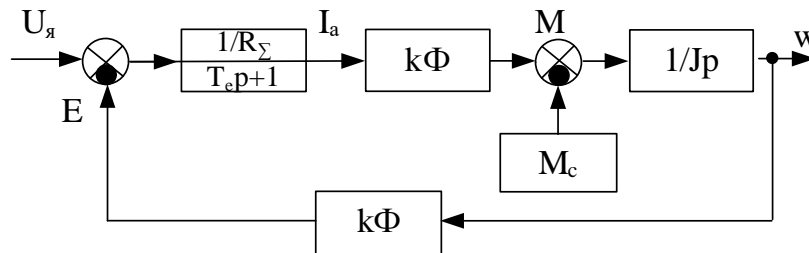
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ



Математична модель:

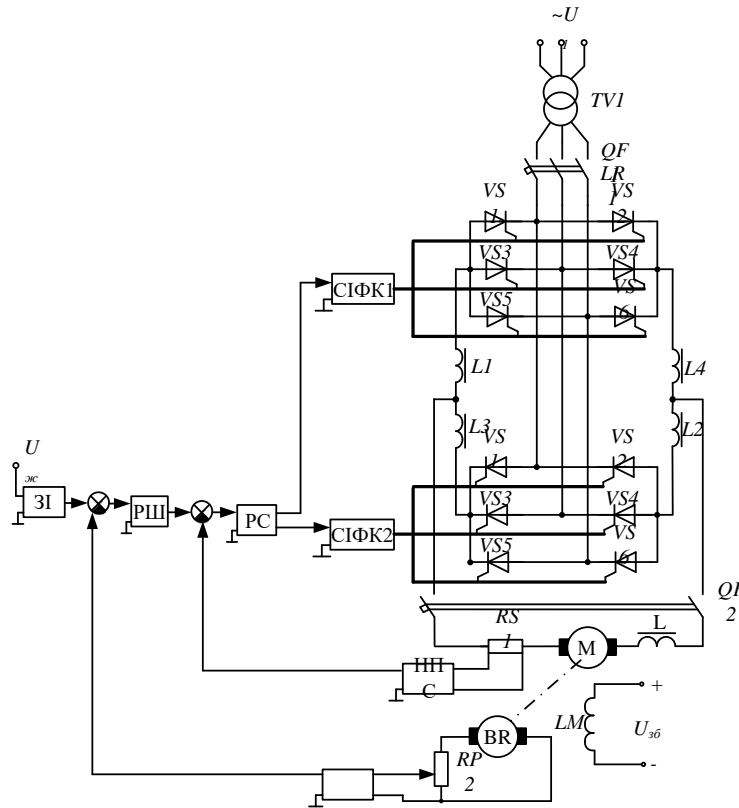
$$\begin{cases} U = E_a + IR_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{dI}{dt} \\ U = E_a + IR_{\Sigma} + L_a \cdot I \cdot p \\ R_{\Sigma} = R_a + R_{дп} + R_{ко} \\ T_c = \frac{L_a}{R_{\Sigma}} \\ I = \frac{1}{R_{\Sigma}} \cdot \frac{1}{(T_c p + 1)} \cdot (U - E_a) \\ kF_{ном} = \frac{U - IR_a}{\omega} \\ J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c \\ J \cdot \omega \cdot p = M - M_c \\ \omega_n = \frac{1}{Jp} (M - M_c) \\ E_a = \omega \cdot kF_{ном} \\ M_c = I_n \cdot kF_{ном} \end{cases}$$

Схема електрична принципова

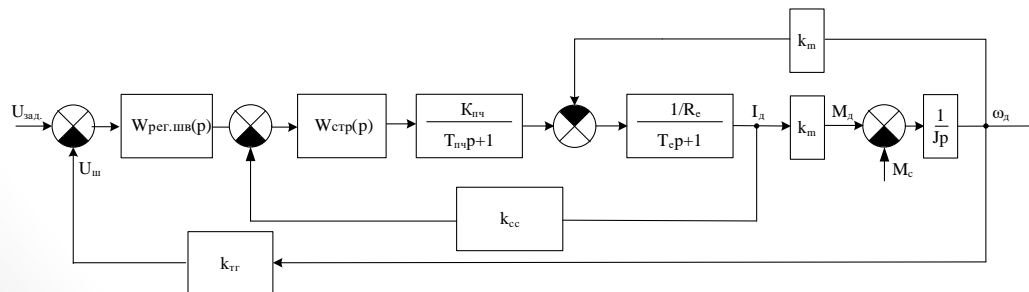


Структурна схема

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТП-Д ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ



Функціональна схема



Структурна схема

Математична модель:

$$U = E_a + IR_\Sigma + L_\Sigma \frac{dI}{dt}$$

$$U = E_a + IR_\Sigma + L_a \cdot I \cdot p$$

$$R_\alpha = \beta \cdot (R_\alpha + R_{\text{лн}} + R_{\text{ко}}) + \frac{2 \cdot \Delta U_{\text{ш}}}{I_n}$$

$$\Delta U_{\text{ш}} = 2 \cdot p,$$

$$R_c = R_\alpha + 2 \cdot R_{\text{тр}} + R_{\text{каб}},$$

$$L_c = L_\alpha + L_{\text{тр}} + L_{\text{сп}},$$

$$T_a = \frac{L_\alpha}{R_\alpha},$$

$$T_c = \frac{L_c}{R_c},$$

$$J = J_{\text{дв}} \cdot (1 + \Theta),$$

$$J_{\text{дв}} = \frac{GD^2}{4},$$

$$c\Phi_n = \frac{U_n - I_n R_a - \Delta U_{\text{ш}}}{\omega_n},$$

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30},$$

$$T_m = \frac{JR_c}{(c\Phi_n)^2},$$

$$k_m = \frac{E_{\text{д0}}}{U_{\text{оп.мак}}},$$

$$W_m(p) = \frac{k_m}{T_m p + 1},$$

$$T_m = \frac{1}{m_n f},$$

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30},$$

$$I = \frac{1}{R_\Sigma} \cdot \frac{1}{(T_c p + 1)} \cdot (U - E_a)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c$$

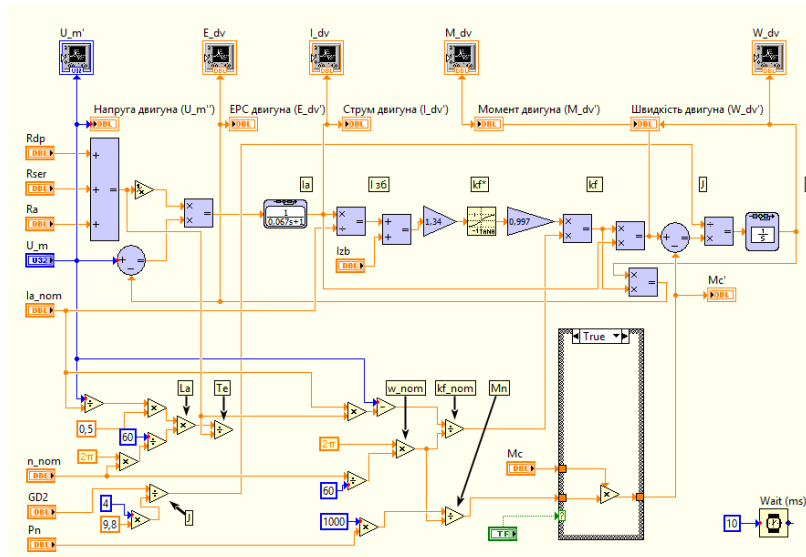
$$J \cdot \omega \cdot p = M - M_c$$

$$\omega_n = \frac{1}{Jp} (M - M_c)$$

$$E_a = \omega \cdot c\Phi_{\text{ном}},$$

$$M_c = I_n \cdot c\Phi_{\text{ном}}$$

СТРУКТУРА ВТК ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕРІЄСНОГО ДВИГУНА

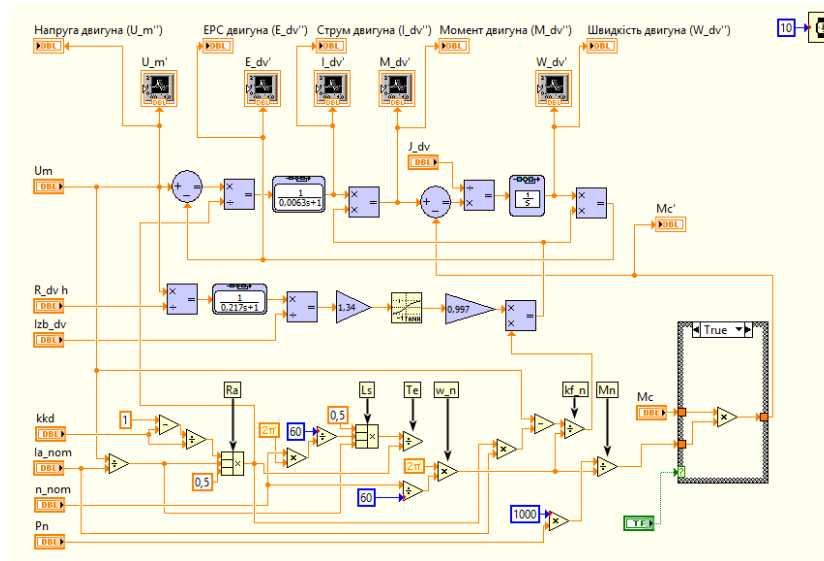


Структурна схема ВТК



Зовнішній вигляд ВТК

СТРУКТУРА ВТК ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШУНТОВОГО ДВИГУНА

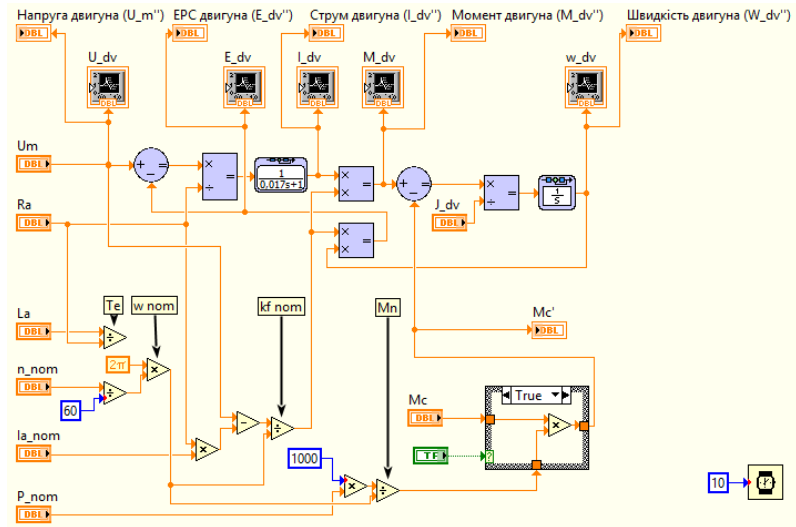


Структурна схема ВТК

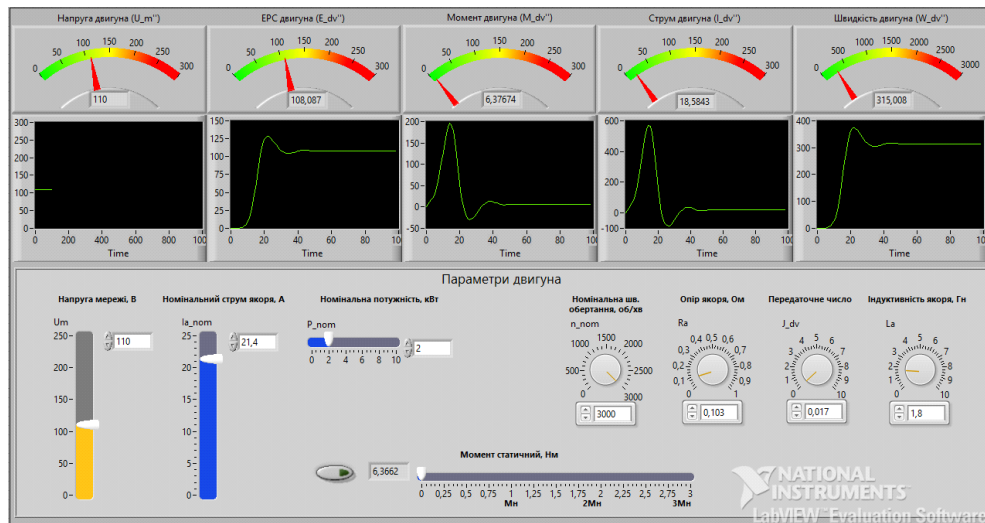


Зовнішній вигляд ВТК

СТРУКТУРА ВТК ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ

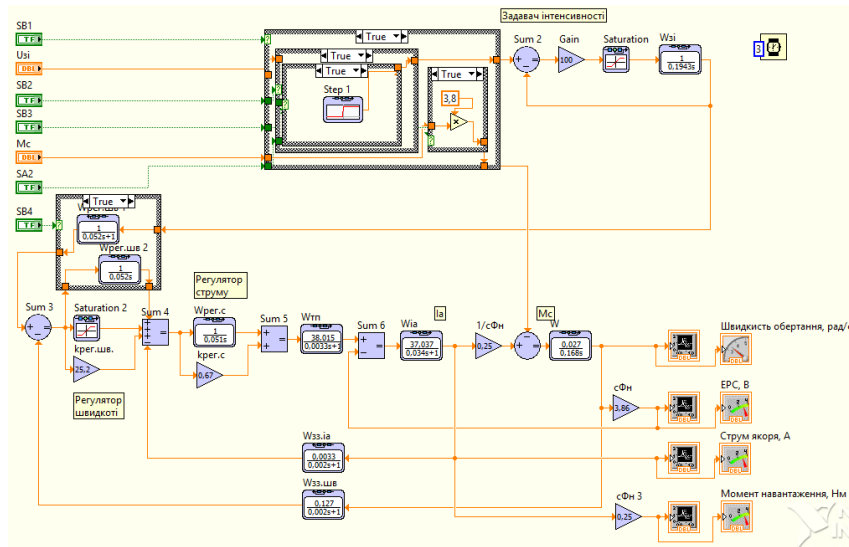


Структурна схема ВТК

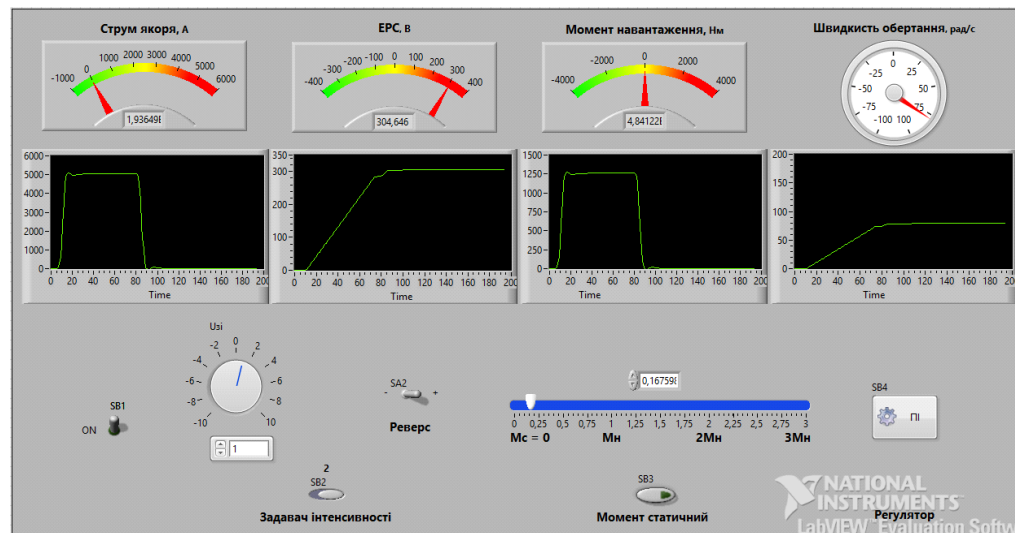


Зовнішній вигляд ВТК

СТРУКТУРА ВТК ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТП-Д ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ

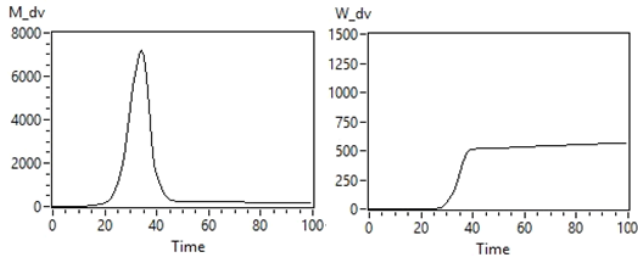


Структурна схема ВТК

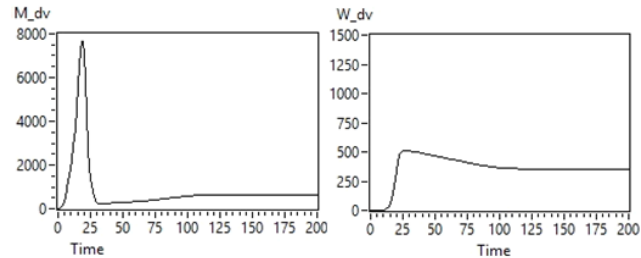


Зовнішній вигляд ВТК

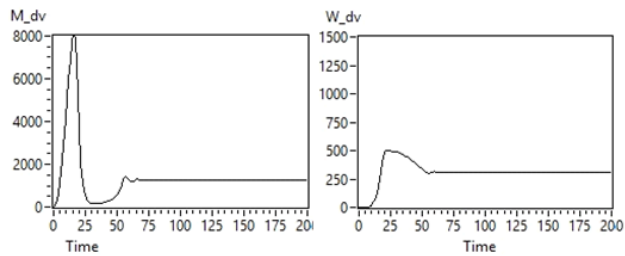
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕРІЄСНОГО ДВИГУНА У ВТК



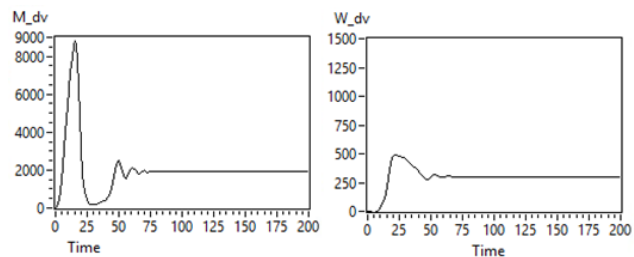
Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання без навантаження



Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на номінальне навантаження

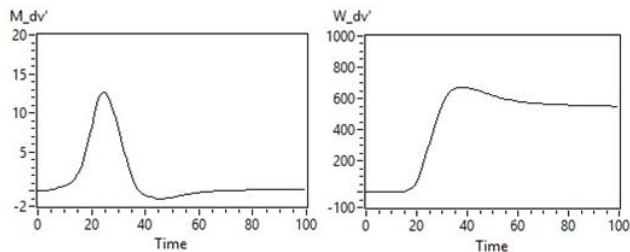


Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на двох кратне навантаження

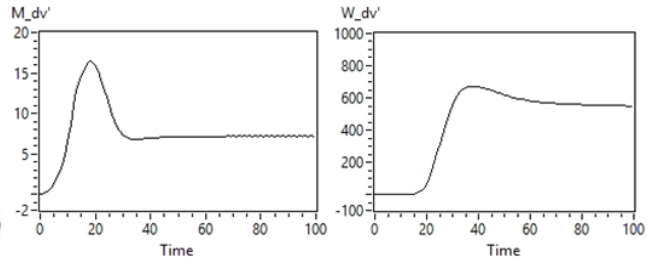


Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на трьох кратне навантаження

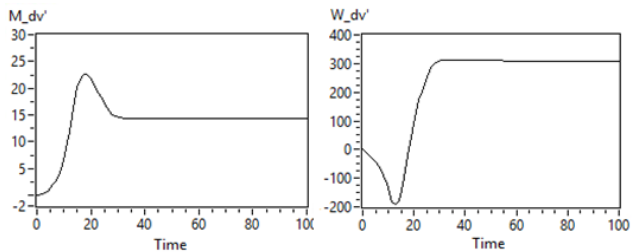
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШУНТОВОГО ДВИГУНА У ВТК



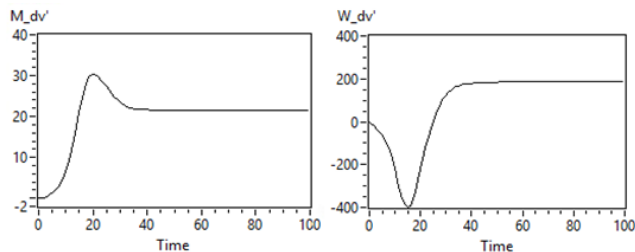
Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання без навантаження



Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на номінальне навантаження

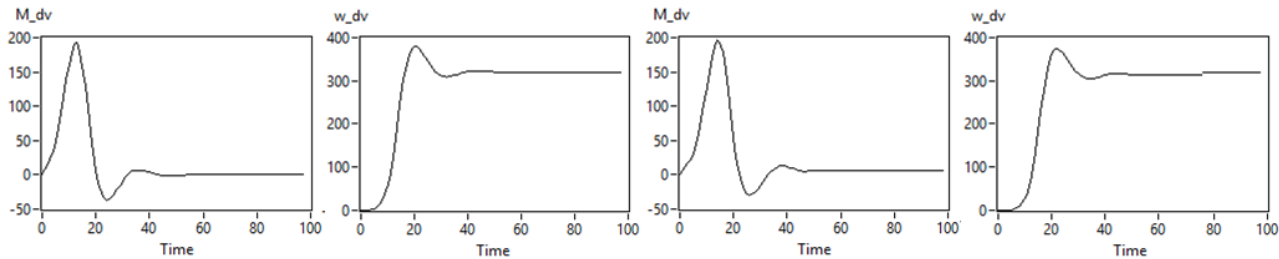


Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на двох кратне навантаження



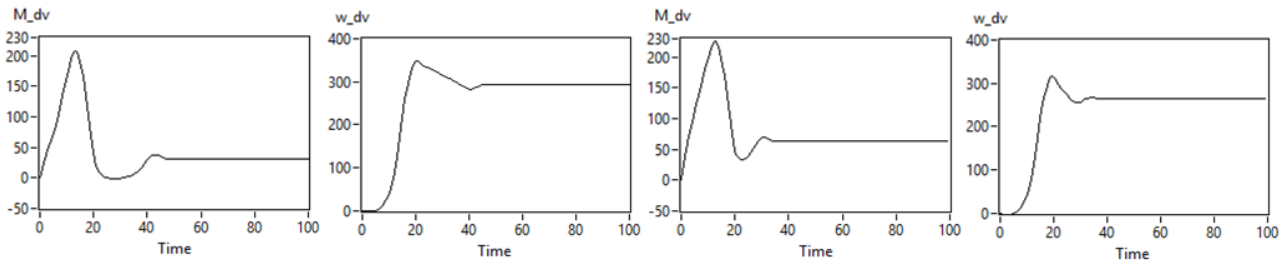
Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на трьох кратне навантаження

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДПС НЕЗАЛЕЖНОГО ЗБУДЖЕННЯ У ВТК



Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання без навантаження

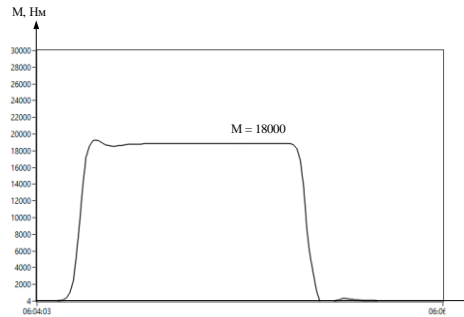
Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на номінальне навантаження



Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на двох кратне навантаження

Перехідні характеристики моменту навантаження та швидкості обертання на трьох кратне навантаження

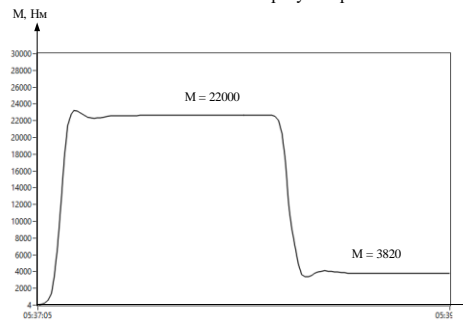
ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТП-Д ПІДПОРЯДКОВАНОГО КЕРУВАННЯ



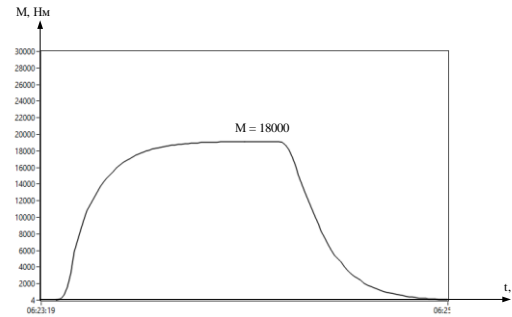
Перехідні характеристики моменту навантаження
без навантаження з ПІ-регулятором



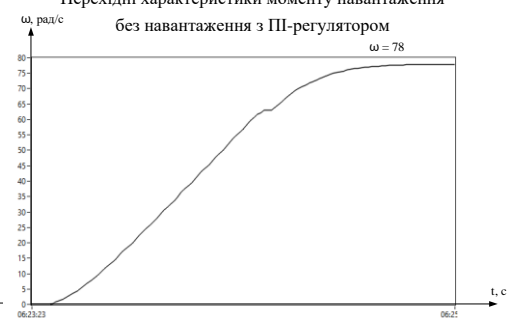
Перехідні характеристики швидкості обертання
без навантаження з ПІ-регулятором



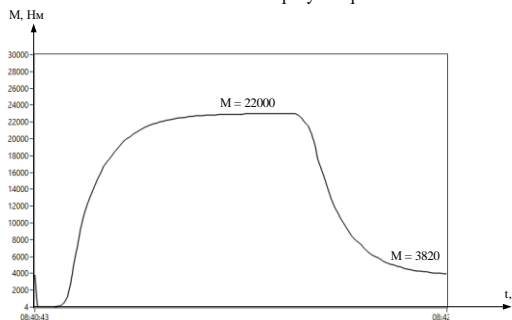
Перехідні характеристики моменту навантаження
на номінальне навантаження з ПІ-регулятором



Перехідні характеристики моменту навантаження
без навантаження з ПІІ-регулятором



Перехідні характеристики швидкості обертання
без навантаження з ПІІ-регулятором



Перехідні характеристики моменту навантаження
на номінальне навантаження з ПІІ-регулятором

ВИСНОВКИ

В результаті досліджень, здійснених по темі магістерської кваліфікаційної роботи отримано наступні наукові і практичні результати.

У галузі теоретичних та експериментальних досліджень:

1. Адаптовано математичні моделі двигунів постійного струму придатних для реалізації ВТК.
2. Адаптовано математичні моделі системи ТП-Д придатних для реалізації ВТК.
3. Вперше синтезовані структури віртуального тренажерного комплексу для дослідження електромеханічної системи постійного струму в програмному середовищі LabVIEW.

У галузі практичного використання:

1. Розроблено методику проведення досліджень електромеханічної системи постійного струму на віртуальному тренажерного комплексу.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Вперше розроблено структуру ВТК для дослідження електромеханічної системи, яка на відміну від існуючих, забезпечує можливість досліджувати електромеханічні процеси в електроприводі постійного струму без наявності лабораторного стенду.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Забезпечує можливість підвищити якість підготовки інженерних кадрів, та студентів шляхом тренування на віртуальному тренажерному комплексі.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати досліджень обговорювались на двох таких конференціях:

- 1) XLV Науково-технічна конференції викладачів, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету (2016), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 09.03.2016 – 11.03.2016;
- 2) XV Konferencja Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Inżynieria i technologia. Aktualne naukowe problemy. Rozpatrzenie, decyzja, praktyka", 30.03.2016 – 31.03.2016, Гданьск Gdańsk.

Результати досліджень опубліковані у 1 статті, 1 тезах, 2 патентах:

1. Розводюк М. П. Віртуальний тренажерний комплекс для дослідження електропривода постійного струму [Електронний ресурс] / М. П. Розводюк, О. М. Янчук // Тези доповідей XLV Науково-технічної конференції викладачів, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету (2016), м. Вінниця, Вінницький національний технічний університет, 09.03.2016 – 11.03.2016. – Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-feeem/all-feeem-2016/paper/view/951> – 3 с.
2. Розводюк М. П. Віртуальний тренажерний комплекс для дослідження системи електропривода ТП-Д [Текст] / М. П. Розводюк, О. М. Янчук // Zbiór artykułów naukowych. Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Inżynieria i technologia. Aktualne naukowe problemy. Rozpatrzenie, decyzja, praktyka", 30.03.2016 – 31.03.2016, Гданьск Gdańsk. – Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2016. – 84 str. – S.50-54.
3. Пат. 105199 UA, МПК G07C 3/10. Пристрій для контролю електричного двигуна [Текст] / Грабко В.В., Розводюк М.П., Янчук О.М. (Україна). – № u 2015 08134; заявл. 17.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 14 с. : кресл.
4. Пат. 104549 Україна, МПК G 07 C 3 / 10. Пристрій для контролю ресурсу групи комутаційних апаратів / Грабко В.В., Грабко В.В., Янчук О.М.; Заявник та патентоутримувач Вінницький національний університет. – № u201506643; Заявл. 06.07.2015; Опубл. 10.02.2016; Бюл. №3. – 10 .

Дякую за увагу