

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до проведення лабораторних робіт
з навчальної дисципліни

«АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД»

Частина II

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та
заочної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Автоматизований електропривод». Частина II (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. В. Є. Плюгін, К. Я. Івакіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025.– 72 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. В. Є. Плюгін,
канд. техн. наук, доц. К. Я. Івакіна

Рецензент

А. В. Єгоров, доцент кафедри електричних машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 13 від 13.06.2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЗМАМИ КРАНА.....	6
1.1 Огляд програми <i>Vijeo Designer</i>	6
1.2 Інтерфейс сторінки приводу головного підйому.....	12
1.3 Інтерфейс сторінки приводу допоміжного підйому.....	22
1.4 Інтерфейс сторінки приводу візка.....	26
1.5 Інтерфейс сторінки опцій для ATV930.....	27
1.6 Симуляція роботи панелі.....	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ КРАНОВОЇ УСТАНОВКИ.....	34
2.1 Налаштування перетворювача частоти ATV930.....	34
2.2 Налаштування перетворювача частоти ATV320.....	35
2.3 Налаштування персонального комп'ютера.....	36
2.4 Налаштування програми <i>SoMove</i>	37
2.5 Завантаження проєкту в пам'ять фізичних пристроїв.....	41
2.5.1 Завантаження проєкту в контролер M241.....	42
2.5.2 Завантаження проєкту в сенсорну панель HMISTU855.....	42
2.6 Дослідження механізму головного підйому від ATV320.....	43
2.7 Дослідження приводу механізмів допоміжного підйому та візка від ATV930.....	44
2.7.1 Випробування режиму неробочого ходу.....	44
2.7.2 Випробування режиму короткого замикання.....	45
2.7.3 Випробування під навантаженням.....	46
2.8 Вказівки до розрахунку параметрів та характеристик електроприводу.....	47

2.8.1 Розрахунок характеристики неробочого ходу.....	47
2.8.2 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна.....	48
2.8.3 Розрахунок характеристики короткого замикання.....	53
2.8.4 Розрахунок робочих характеристик.....	55
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ	
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ.....	61
3.1 Математичне моделювання перехідних режимів	61
4 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ.....	68
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТОК А	71

ВСТУП

Електропривод із частотним керуванням відіграє ключову роль у сучасних автоматизованих системах керування електромеханічними об'єктами. Такі системи забезпечують гнучке, енергоефективне та точне регулювання режимів роботи електроприводів.

Метою цих методичних рекомендацій є формування у студентів практичних навичок щодо побудови, налаштування та дослідження систем частотного керування асинхронними електроприводами, а також засвоєння основ математичного моделювання перехідних процесів у таких системах.

Методичні рекомендації охоплюють комплекс лабораторних робіт, які виконуються з використанням сучасних частотних перетворювачів *Schneider Electric* серій ATV930 і ATV320, а також відповідного лабораторного обладнання та програмних засобів.

У другій частині методичних рекомендацій до лабораторних робіт із дослідження системи частотного керування електроприводом мостового крана розглянуто такі питання:

- розроблення системи керування механізмами крана;
- налаштування частотних перетворювачів ATV930 і ATV320, а також дослідження роботи механізмів головного та допоміжного підйому;
- розрахування основних параметрів та характеристик системи електроприводу;
- математичне моделювання перехідних процесів в електроприводі.

1 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЗМАМИ КРАНА

Мета: розроблення проєкту інтерфейсу в програмі *Vijeo Designer*.

1.1 Огляд програми *Vijeo Designer*

Проєкт сенсорної панелі розробляється в окремій програмі *Vijeo Designer* виробництва *Schneider Electric* та передбачає вирішення таких завдань:

- 1) розроблення графічного інтерфейсу для взаємодії з користувачем (оператором);
- 2) зв'язок графічних елементів панелі зі змінними проєкту *SoMachine*;
- 3) установлення зв'язку між проєктом сенсорною панеллю та контролером.

Зовнішній вигляд інтерфейсу панелі зображений в методичних вказівках [1] на рисунках 2.11–2.14.

Програма *Vijeo Designer* може бути відкрита як самостійний додаток, проте для синхронного розроблення панелі і контролера та подальшої сумісної симуляції двох пристроїв програму *Vijeo Designer* потрібно відкрити з *SoMachine*, для чого підвести вказівник миші у лівий верхній кут *SoMachine*. При цьому в правий бік впливе додаткова панель. На цій панелі потрібно розгорнути список, що випадає, та обрати пункт меню «Vijeo-Designer» (рис. 1.1).

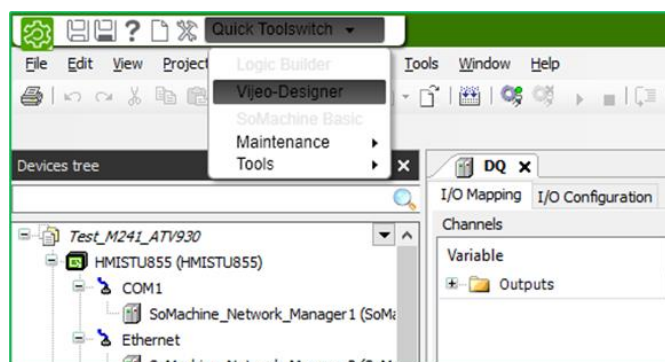


Рисунок 1.1 – Відкриття програми *Vijeo Designer* із меню *SoMachine*

Для встановлення зв'язку між контролером та панеллю поверніться в програму *SoMachine* та двічі клацніть на рядку *MyController* (TM241CE24T/U). У вікні, що відкриється, в пустому полі *Nodename* впишіть службове ім'я контролера, яке було призначене автоматично та розміщується в таблиці у стовбці *Nodename* (вкладка сторінки контролера «*Controller selection*») (рис. 1.2). Також можна просто двічі клацнути на імені *Nodename* в таблиці.

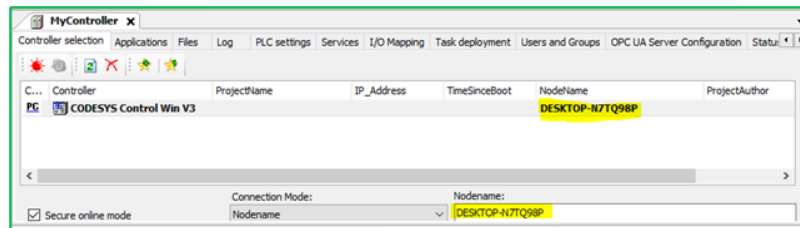


Рисунок 1.2 – Призначення імені вузла контролера

Скопіюйте це ім'я (у прикладі DESKTOP-N7TQ98P) у буфер обміну та поверніться в програму *Vijeo Designer*.

Розгорніть рядок *IO Manager*, потім *SoMachineNetwork01* і натисніть на рядок *SOM_HMISTU855*. У вікні *Network Equipment Configuration*, що з'явиться, вставте з буфера обміну ім'я вузла контролера у поле *Equipment Address or Node Name* та натисніть кнопку *OK* (рис. 1.3).

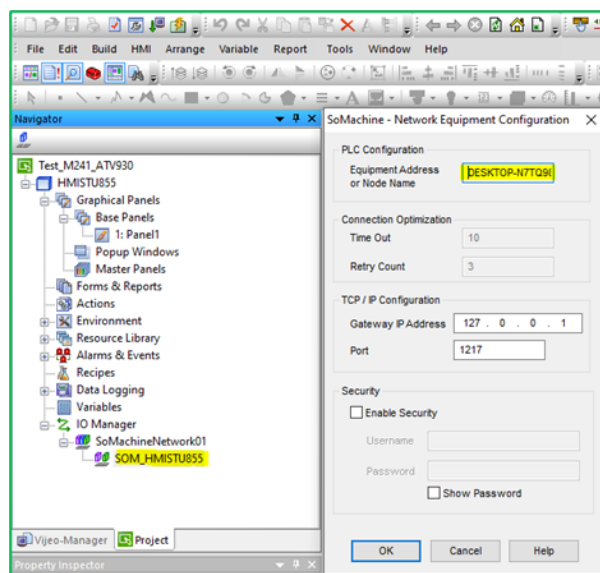


Рисунок 1.3 – Налаштування адреси контролера у *Vijeo Designer*

Тепер перейдемо саме до розробки графічного інтерфейсу сенсорної панелі HMISTU855¹.

Створимо заготовки для п'яти панелей. Це потрібно зробити відразу, оскільки панелі будуть містити кнопки з посиланнями одна на одну. У навігаторі об'єктів *Navigator* натисніть ПКМ на рядку *Base Panels* та в контекстному меню оберіть пункт *New Panel*. Після виконаних операцій вікно навігатора буде мати вигляд, зображений на рисунку 1.4.

Змініть назви панелей так, як показано на рисунку 1.5 (на назві кожної панелі натисніть ПКМ, оберіть пункт *Rename Panel* у контекстному меню та введіть нове ім'я).

Пояснення призначень панелей:

- *PanelMain* – контроль приводу головного підйому;
- *PanelSecond* – контроль приводу допоміжного підйому;
- *PanelCart* – контроль приводу візка;
- *PanelOptions1* – параметри перетворювача частоти ATV930;
- *PanelOptions2* – параметри перетворювача частоти ATV930.

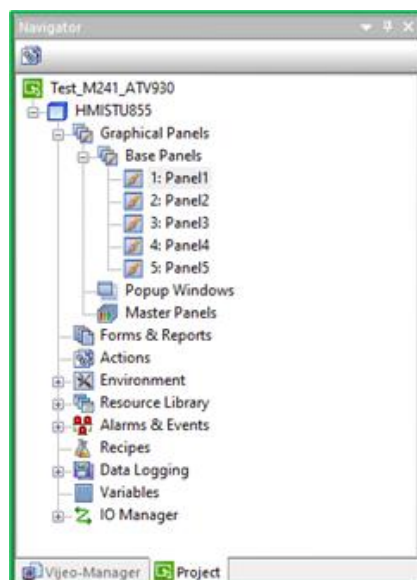


Рисунок 1.4 – Вікно навігатора із заготовками для 5 панелей

¹ Інтерфейс панелі у термінології *Schneider Electric* називається «Людино-машинний інтерфейс» (від англ. HMI – *Human Machine Interface*).

У програмі *Vijeo Designer* багато інструментів, функцій та можливостей. У проєкті буде використовуватись обмежений перелік інструментів, зображений на рисунку 1.6 та поданий у таблиці 1.1.

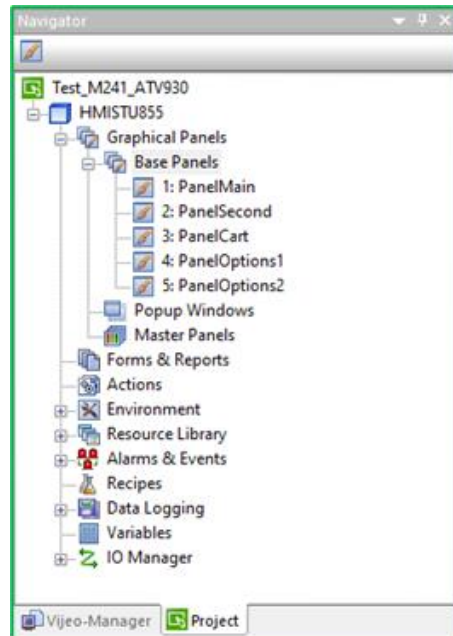


Рисунок 1.5 – Вікно навігатора зі зміненими назвами панелей

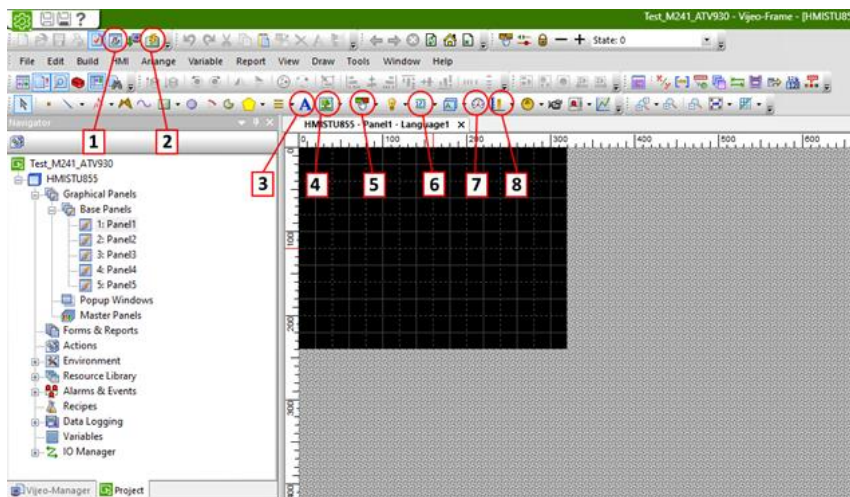


Рисунок 1.6 – Вікно програми *Vijeo Designer*

Таблиця 1.1 – Огляд основних інструментів *Vijeo Designer*

Поз.	Назва	Іконка	Призначення
1	<i>Build Target</i>		Компіляція проекту та перевірка помилок
2	<i>Simulate</i>		Симуляція роботи панелі
3	<i>Text</i>		Вставка надпису
4	<i>Image</i>		Вставка зображення
5	<i>Switch</i>		Вставка перемикача/кнопки
6	<i>Numeric Display</i>		Вставка цифрового дисплею
7	<i>Meter</i>		Вставка індикатора зі стрілкою
8	<i>Vertical/Horizontal Bar Graph</i>		Вставка регулятора параметру (вертикального або горизонтального)

Сенсорна панель обмінюється даними (значеннями глобальних змінних) із контролером. Для забезпечення доступу до цих змінних потрібно їх передати з проекту *SoMachine* в проєкт *Vijeo Designer*. Для цього перейдіть у програму *SoMachine* та відкрийте вкладку *Tools tree*. На рядку *Application* натисніть ПКМ та у контекстному меню послідовно оберіть пункти *Add Object*, *Symbol configuration...* (рис. 1.7).

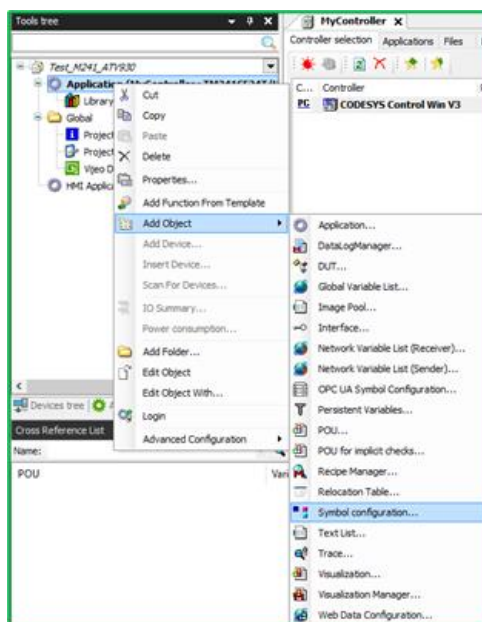


Рисунок 1.7 – Створення конфігурації змінних проєкту

У вікні, що з'явиться, натисніть на кнопку *Add*. Після цього виконайте компіляцію проєкту, натиснувши на кнопку *Build* на панелі інструментів або безпосередньо на сторінці *Symbol Configuration* (рис. 1.8).

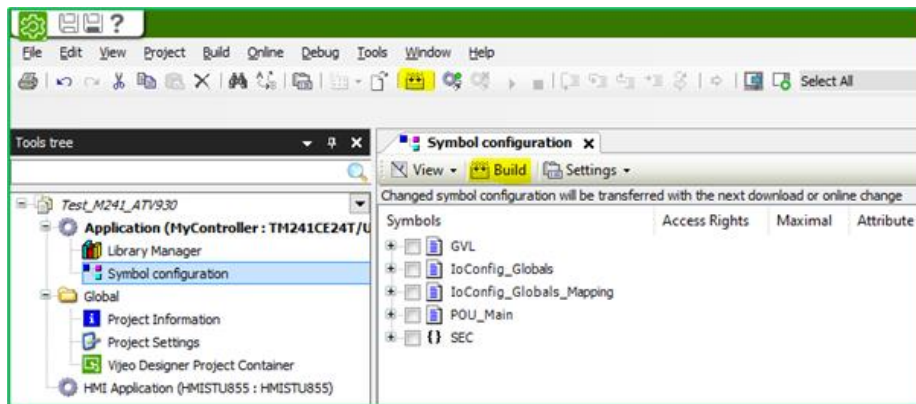


Рисунок 1.8 – Виконання компіляції проєкту

У переліку доступних змінних виділіть у пустих прямокутниках *GVL* та *POU_Main*.

Виконайте експорт обраних змінних: натисніть ПКМ на рядку *Symbol Configuration* та в контекстному меню оберіть пункт *Export Symbols to Vijeo-Designer* (рис. 1.9).

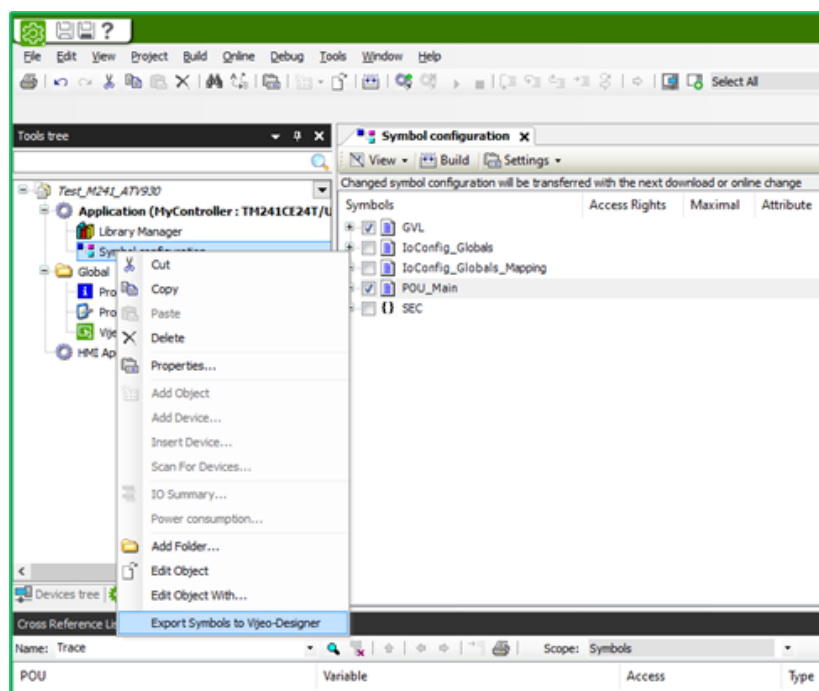


Рисунок 1.9 – Експорт змінних у програму *Vijeo Designer*

Тепер обрані змінні будуть доступні в проєкті сенсорної панелі в програмі *Vijeo Designer*.

1.2 Інтерфейс сторінки приводу головного підйому

У навігаторі виділіть панель з назвою *PanelMain* – відкриється пуста форма панелі.

Виконайте один клік ЛКМ на інструменті *Switch*, а потім на вільному місці форми натисніть ЛКМ. Не відпускаючи ЛКМ, розтягніть пунктир прямокутника на дві клітини у висоту та на п'ять клітин у ширину. Відпустіть ЛКМ. При цьому відразу відкриється вікно параметрів елемента *Switch* (рис. 1.10).

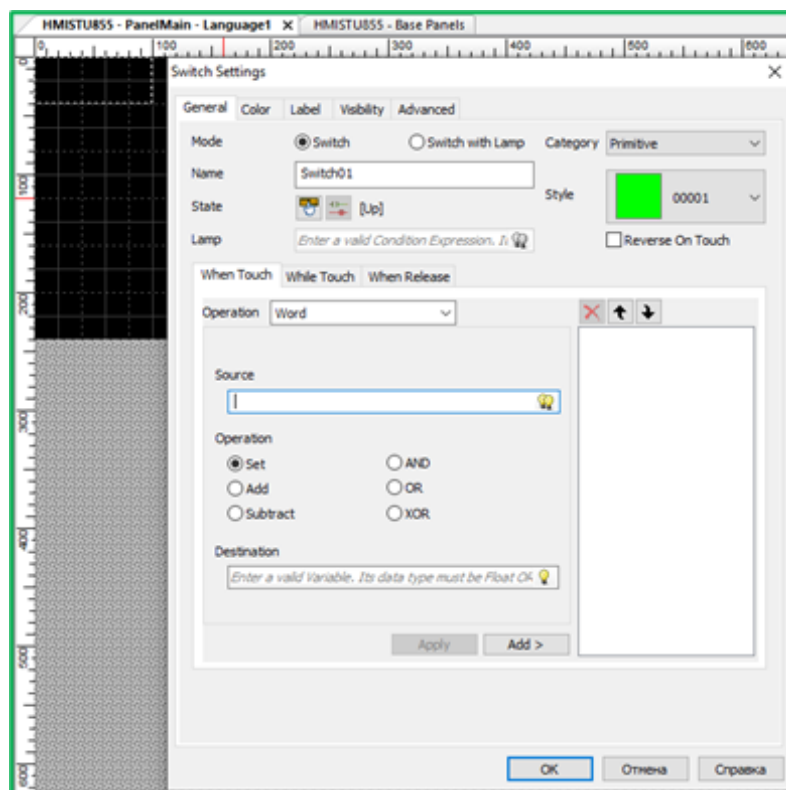


Рисунок 1.10 – Вікно параметрів елемента *Switch*

Для параметра *Mode* встановить значення *Switch with Lamp* (кнопка з лампою).

Біля параметра *Lamp* натисніть на дві лампи жовтого кольору – відкриється вікно вибору змінної. У цьому вікні (рис. 1.11) перейдіть на нижню вкладку *SoMachine*, розгорніть список *GVL*, оберіть змінну *xMain* та натисніть кнопку *OK*.

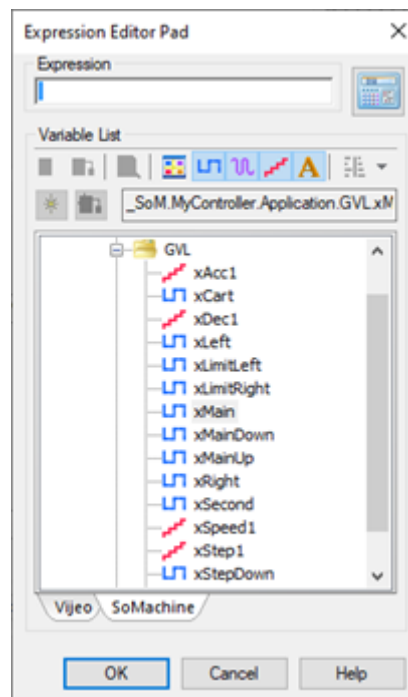


Рисунок 1.11 – Призначення змінної для лампи

Для параметра *Operation* відкрийте список, що випадає, та оберіть пункт *Variable Initialization* (рис. 1.12). Потрібно, щоб на панелі *PanelMain* активувався перетворювач частоти *ATV320*, а контактори вихідного кола *ATV930* розмикались. Окрім того, кнопка з написом активної панелі повинна мати зелений колір, а інших – синій. Для цього змінна *xMain* повинна отримати значення *TRUE*, а зміні *xCart* та *xSecond* значення *FALSE*. Саме для цього і потрібна ініціалізація змінних при натисненні на кнопку, яка створюється на панелі *PanelMain*.

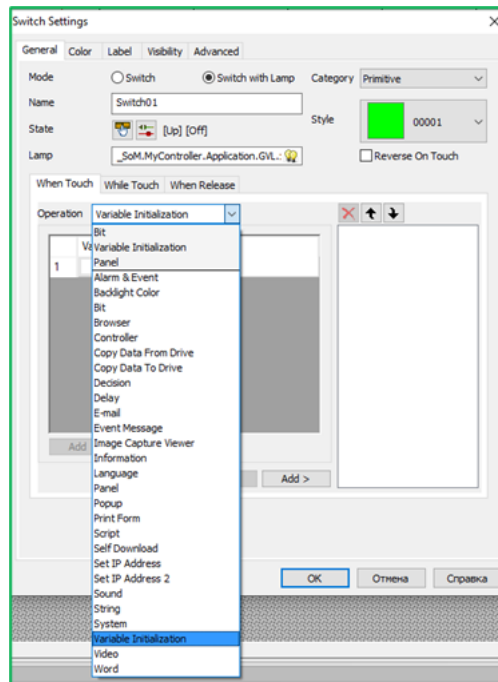


Рисунок 1.12 – Додавання функції ініціалізації змінних до кнопки

У пустому полі рядка під номером 1 у стовпці *Variable* натисніть ЛКМ, а потім на жовтій лампі, що з'явиться з правого боку. У вікні, що відкриється, перейдіть на вкладку *SoMachine*, розгорніть список *GVL*, оберіть змінну *xMain* та натисніть кнопку *OK* (рис. 1.13).

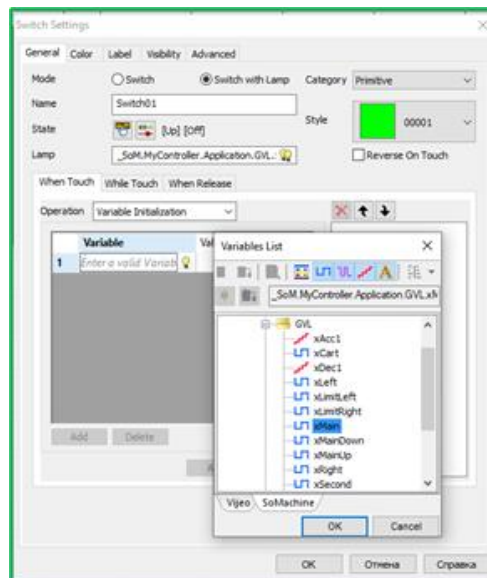


Рисунок 1.13 – Вибір змінної для ініціалізації

У полі *Value* поряд із обраною змінною введіть цифру 1. Натисніть кнопку *Add* внизу таблиці та повторіть описані операції для змінних *xSecond* та *xCart*, тільки для них в полі *Value* задайте значення 0 (рис. 1.14).

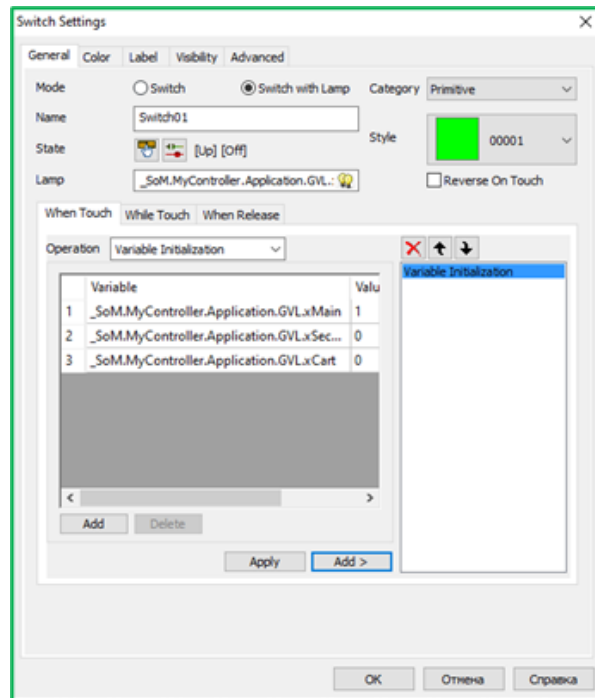


Рисунок 1.14 – Перелік створених змінних для ініціалізації

Для додавання виконаних операцій у стек елемента *Switch* натисніть кнопку *Add* внизу.

Знову розкрийте список *Operation* та оберіть пункт *Panel*. Натисніть три кнопки в секції *Change Panel* та у вікні, що з'явиться, оберіть рядок *PanelMain* і натисніть кнопку *OK* (рис. 1.15).

Перейдіть на вкладку *Color* та оберіть кольори для активної кнопки *On* і неактивної *Off* (рис. 1.16).

Перейдіть на вкладку *Label*. Для параметру *Label Type* оберіть значення *Static*, а в текстовому полі введіть слово *Main*. Оберіть шрифт (параметр *Font*) *Vijeo Sans Serif* із розмірами *Font Width* (ширина) та *Font Height* (висота) 16 (рис. 1.17).

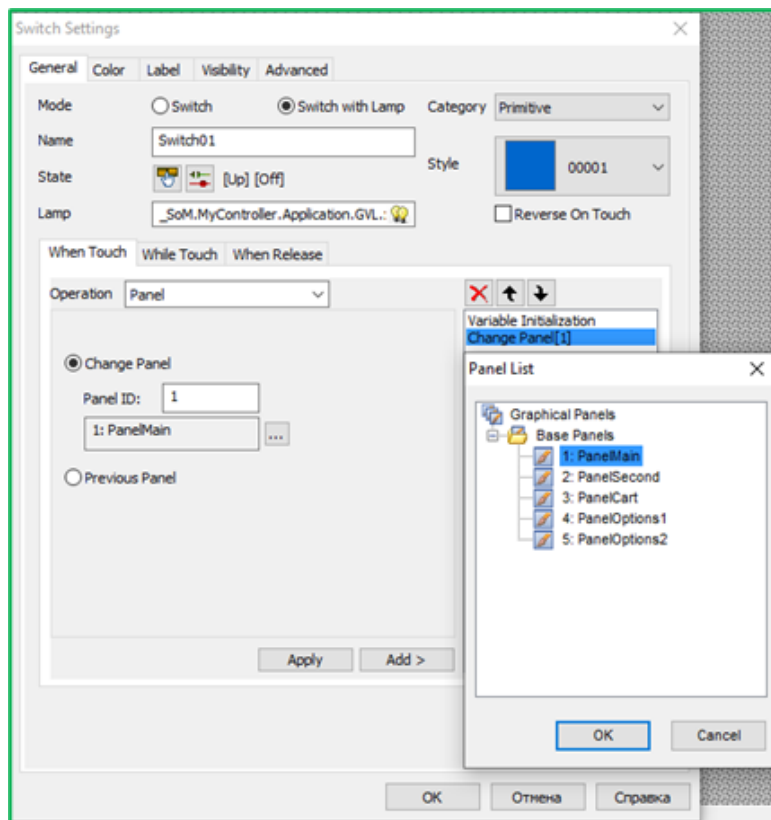


Рисунок 1.15 – Прив’язка операції перемикаання панелі до кнопки

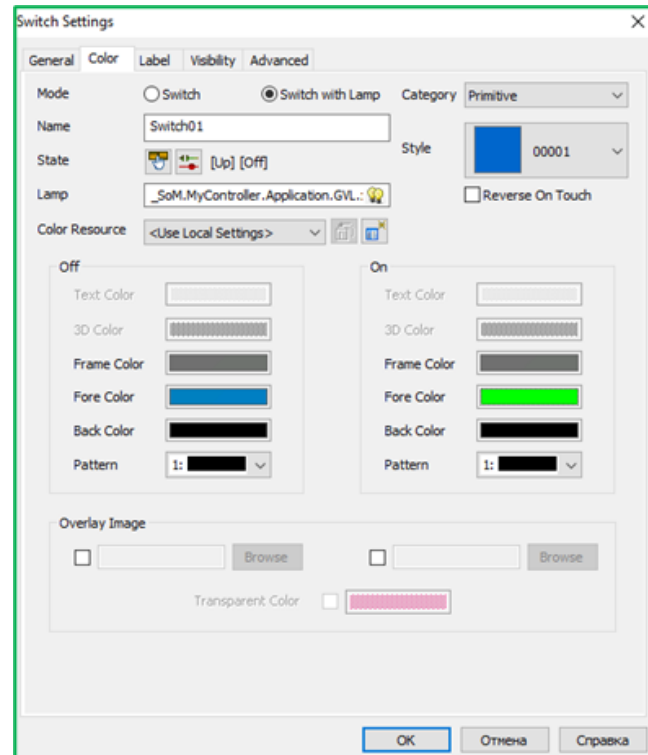


Рисунок 1.16 – Налаштування кольору кнопки

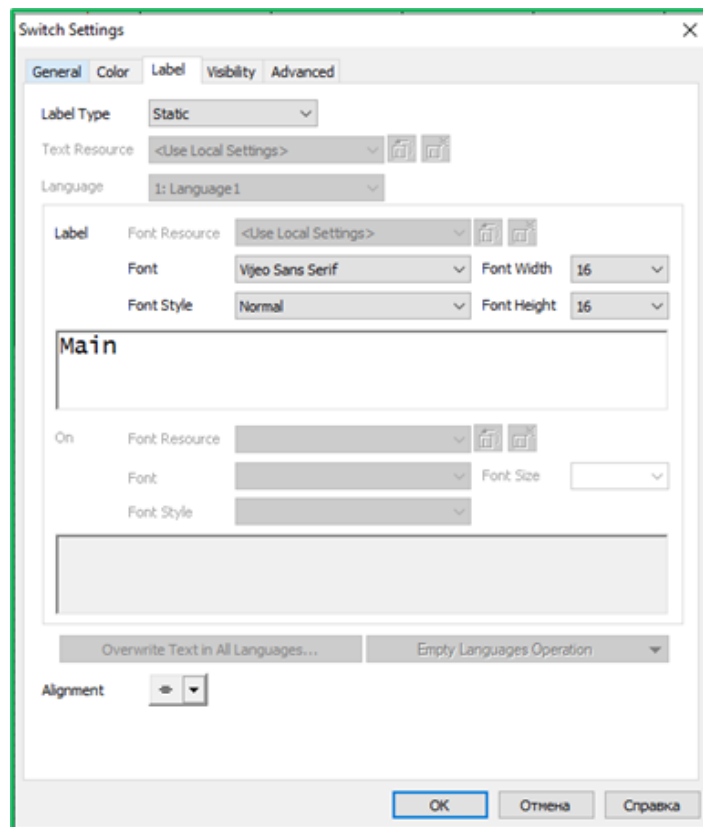


Рисунок 1.17 – Призначення напису для кнопки

На цьому робота з налаштуванням першої кнопки завершена. Ще раз переконайтесь, що всі наведені вище параметри обрані правильно і натисніть на кнопку ОК. На формі панелі з'явиться кнопка, показана на рисунок 1.18.

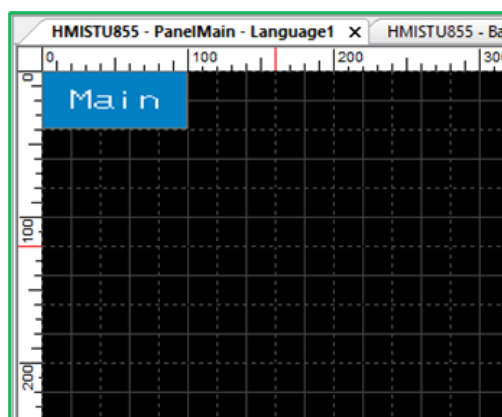


Рисунок 1.18 – Форма панелі з кнопкою активації сторінки з керування ATV320

Аналогічно створіть кнопки із назвами *Second* та *Cart*.

Параметри кнопки *Second*:

- лампа прив'язана до змінної *xSecond*;
- у таблиці ініціалізації *xMain* = 0, *xSecond* = 1, *xCart* = 0;
- значення параметра *Change Panel*: *PanelSecond*.

Параметри кнопки *Cart*:

- лампа прив'язана до змінної *xCart*;
- у таблиці ініціалізації *xMain* = 0, *xSecond* = 0, *xCart* = 1.
- значення параметра *Change Panel*: *PanelCart*.

Форма панелі *PanelMain* буде виглядати так, як показано на рисунку 1.19.

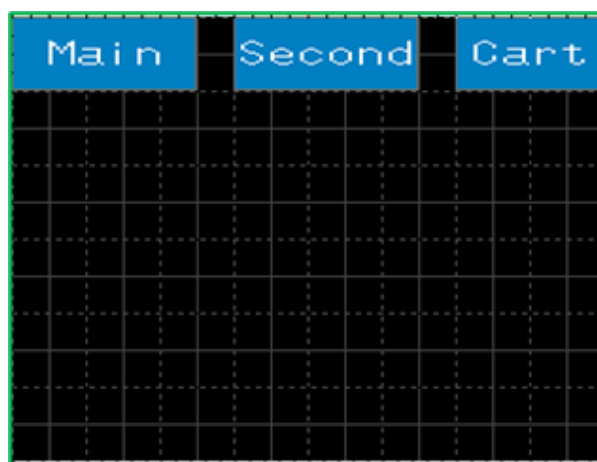


Рисунок 1.19 – Форма панелі *PanelMain* із кнопками перемикавання сторінок

Тепер виділіть всі кнопки сіткою та скопіюйте їх у буфер обміну. Потім, по черзі, перейдіть на панелі *PanelSecond* та *PanelCart*, клацніть ЛКМ один раз на формі та вставте кнопки із буфера.

Оберіть в меню елемент *Image* та виділіть на формі прямокутник шириною 3 клітинки та висотою 9. Оберіть в браузері зображення ПЧ та натисніть *OK*.

Оберіть в меню елемент *Image* та виділіть на формі прямокутник шириною 7 клітинок та висотою 6. Оберіть в браузері зображення крюка крана та натисніть *OK*.

Оберіть в меню елемент *Text*, виділіть на формі прямокутник та введіть текст *ATV320 direct control*.

Результат виконаних операцій показаний на рисунок 1.20.

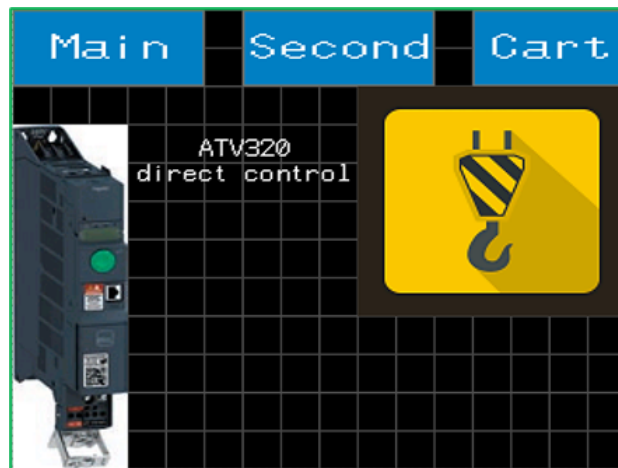


Рисунок 1.20 – Форма із зображеннями та написом

Оберіть в меню елемент *Switch* та виділіть на формі прямокутник висотою та шириною 3 клітинки.

Для параметра *Mode* оберіть *Switch with Lamp*, для параметра *Lamp* встановіть змінну *xMainUp*.

У списку параметрів *Operation* оберіть *Bit*, поведінка біту *Momentary ON*.

Для параметра *Destination* оберіть змінну *xMainUp* та натисніть кнопку *Add*.

Розгорніть список стилів кнопки *Style*, натисніть *Browse* та оберіть кнопку зі стрілкою «Вгору».

Вигляд вкладки *General* із налаштуванням кнопки показаний на рисунку 1.21.

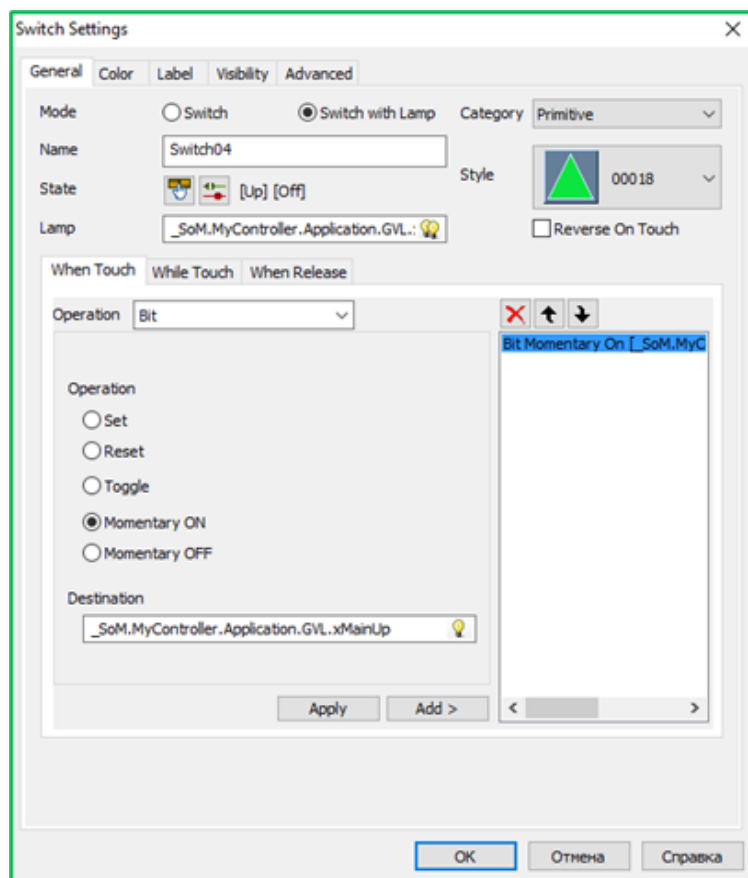


Рисунок 1.21 – Налаштування поведінки кнопки «Вгору» для ATV320

Налаштування вкладки *Color* показане на рисунку 1.22.

Аналогічно створіть кнопку для руху вантажу «Вниз», обравши для параметрів *Lamp* та *Destination* змінну *xMainDown*.

Зовнішній вигляд повністю завершеної форми *PanelMain* показаний на рисунку 1.23.

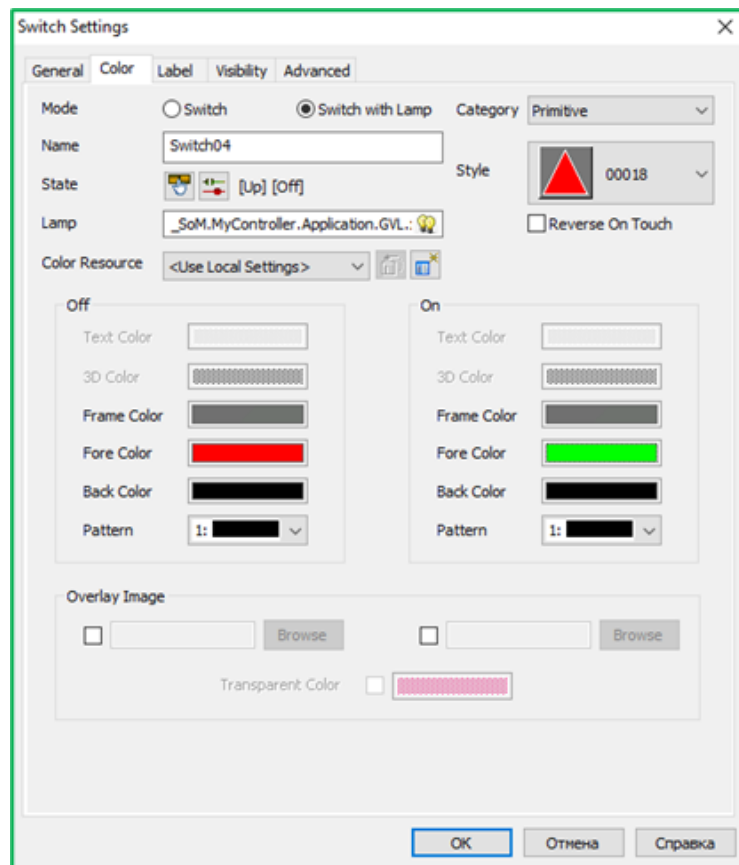


Рисунок 1.22 – Налаштування кольору кнопки «Вгору» для ATV320

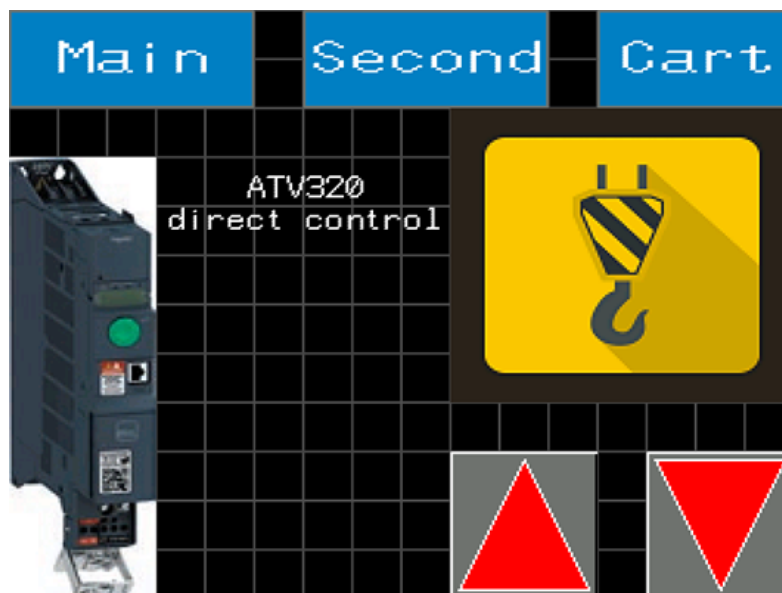


Рисунок 1.23 – Сторінка керування рухом приводу від ATV320

1.3 Інтерфейс сторінки приводу допоміжного підйому

Відкрийте форму сторінки допоміжного підйому *PanelSecond*. Розмістіть на формі напис *Target speed*. Оберіть на панелі інструментів інструмент *Numeric Display* та виділіть на формі прямокутник висотою 2 та шириною 5 клітинок. Для параметра *Variable* оберіть змінну *xSpeed1*, інші налаштування показі на рисунку 1.24.

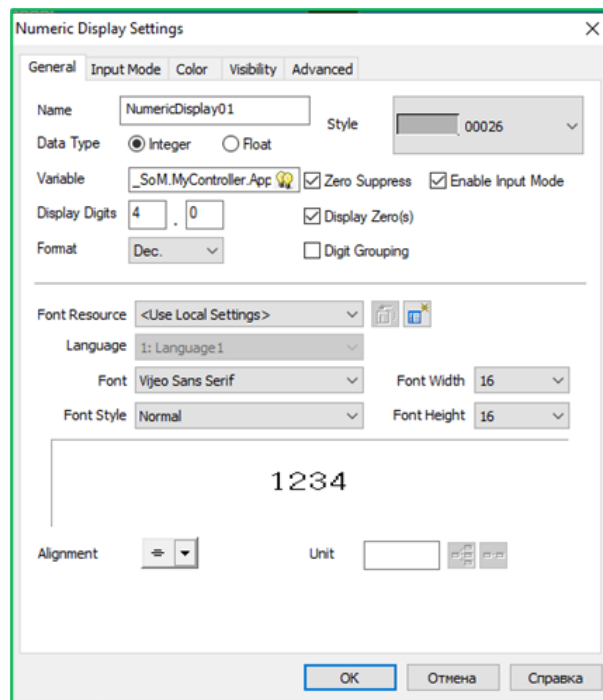


Рисунок 1.24 – Вкладка *General* налаштувань елемента *Numeric Display*

На вкладці *Input Mode* потрібно поставити відмітку для параметра *Enable Input Mode*.

Оберіть на панелі інструментів інструмент *Meter* та виділіть на формі прямокутник висотою 6 та шириною 7 клітинок.

Для параметра *Variable* оберіть змінну *iActualVelo_ATV930*, інші налаштування показі на рисунку 1.25.

На вкладці *Numeric Display* потрібно поставити відмітку для параметра *Enable Numeric Display*.

У полі *Display Digits* вкажіть число 5. Результат виконаних операцій показаний на рисунку 1.26.

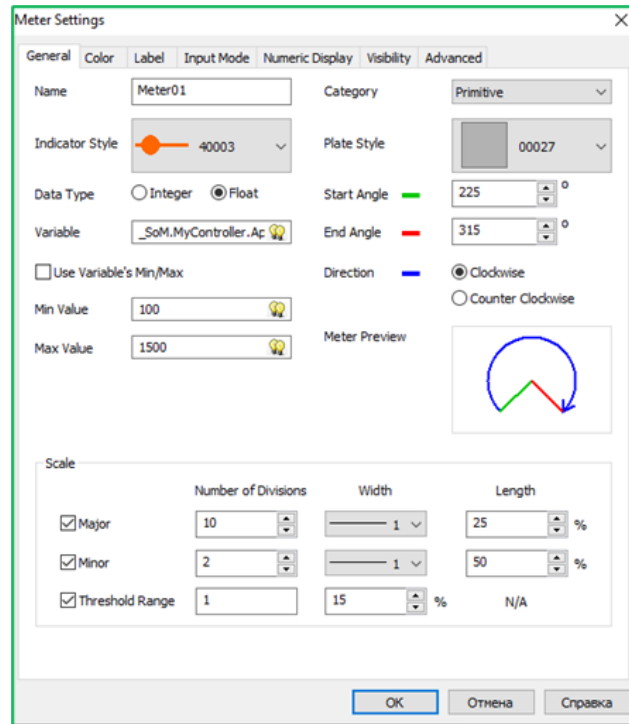


Рисунок 1.25 – Вкладка *General* налаштувань елемента *Meter*

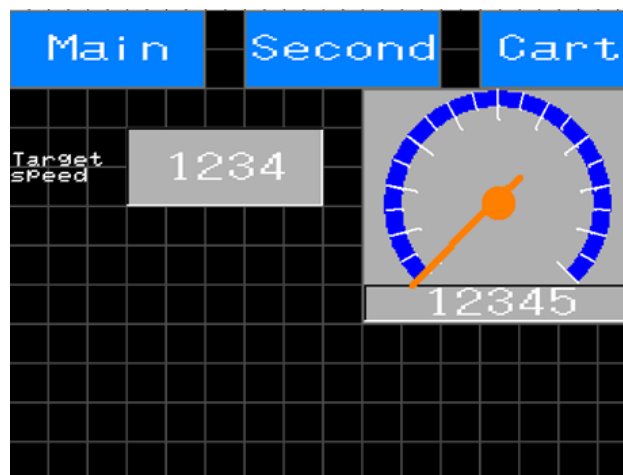


Рисунок 1.26 – Форма сторінки *PanelSecond* (проміжний етап)

Створіть на формі елемент *Horizontal Bar Graph* висотою 2 та шириною 5 клітинок. Для параметра *Variable* вкажіть змінну *xSpeed1*. На вкладці *Input Mode* вкажіть позначку *Enable Input Mode*. Налаштування регулятора показано на рисунках 1.27 та 1.28.

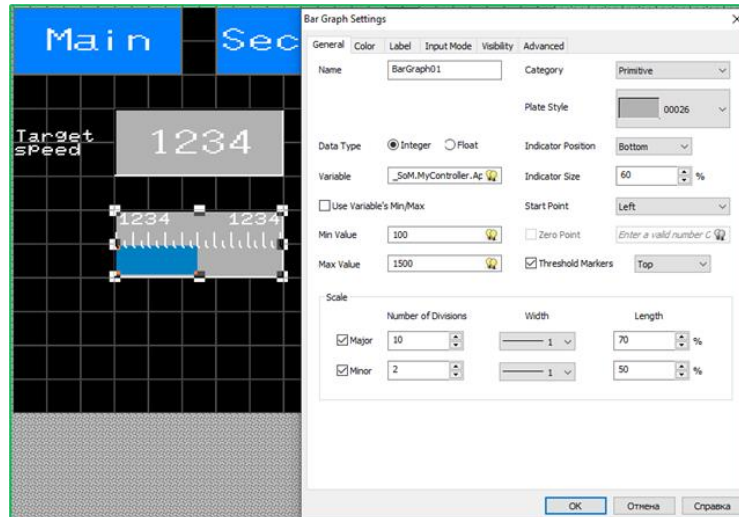


Рисунок 1.27 – Налаштування регулятора *Bar Graph*: вкладка *General*

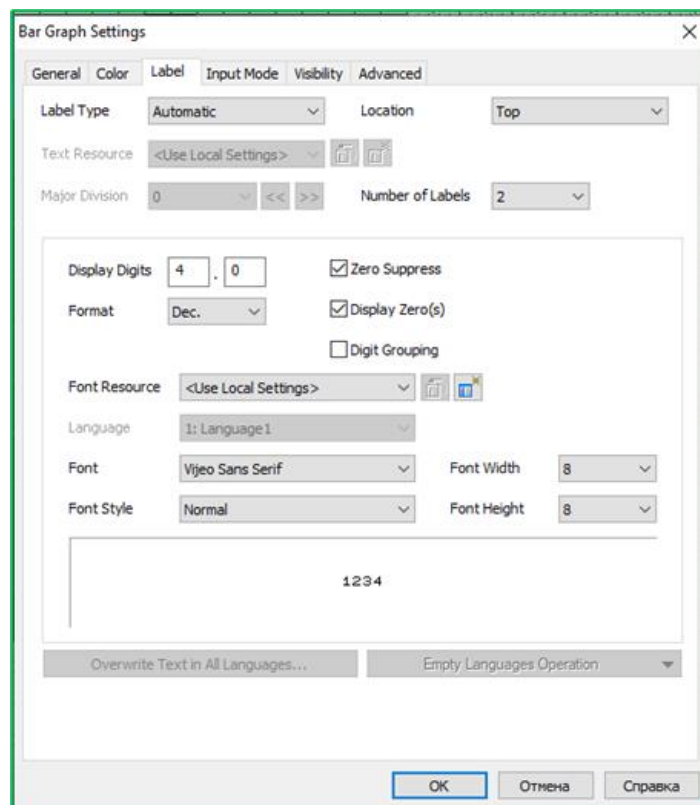


Рисунок 1.28 – Налаштування регулятора *Bar Graph*: вкладка *Label*

Створіть кнопку активації перетворювача ATV930 висотою 2 клітинки та шириною 8. Для параметра *Operation* оберіть *Bit* з поведінкою *Momentary ON*, для параметрів *Lamp* та *Destination* оберіть змінну *xCmdEn_ATV930*.

На вкладці *Label* для параметра *Label Type* оберіть значення *Static*. У текстовому полі введіть слово *Power*: шрифт *Vijeo Sans Serif* розмір 16 × 16.

Налаштування вкладок *General* та *Color* показані на рисунку 1.29.

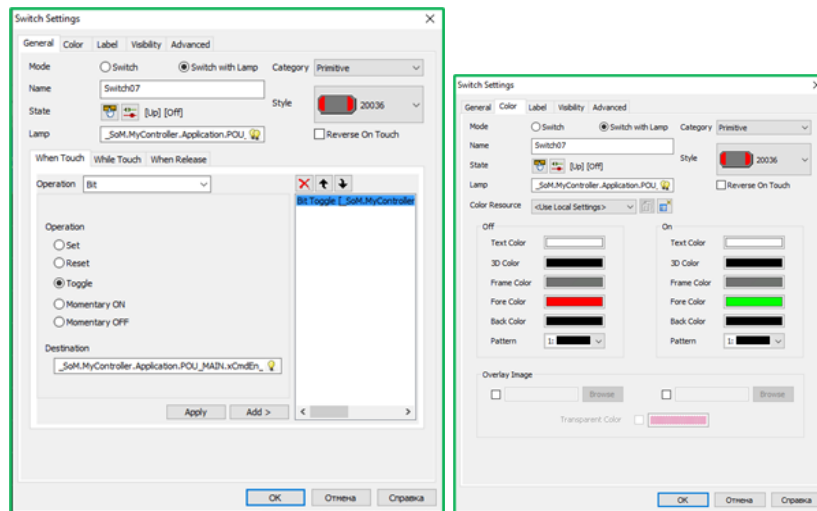


Рисунок 1.29 – Налаштування кнопки *Power* сторінки *PanelSecond*

Над кнопкою *Power* створіть напис із текстом *ATV930 Ethernet*.

Створіть кнопку руху вантажу вгору. Для параметра *Operation* оберіть *Bit* із поведінкою *Momentary ON*, для параметрів *Lamp* та *Destination* оберіть змінну *xCmdFwd_ATV930*.

Створіть кнопку руху вантажу вниз. Для параметра *Operation* оберіть *Bit* із поведінкою *Momentary ON*, для параметрів *Lamp* та *Destination* оберіть змінну *xCmdRev_ATV930*.

Зовнішній вигляд повністю завершеної форми *PanelSecond* показаний на рисунку 1.30.

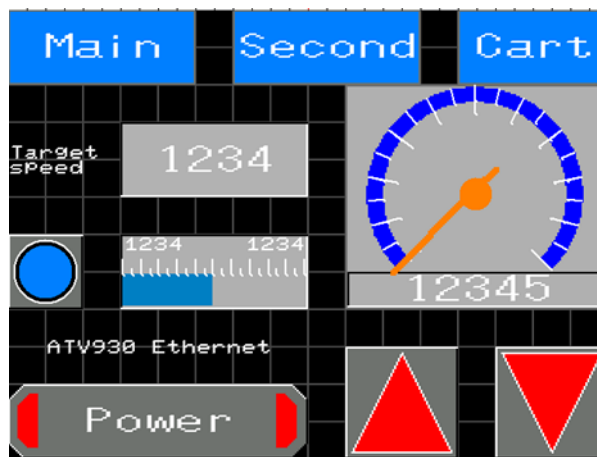


Рисунок 1.30 – Сторінка керування рухом приводу допоміжного підйому від ATV930

1.4 Інтерфейс сторінки приводу візка

Відкрийте форму сторінки приводу допоміжного підйому *PanelSecond*. Утримуючи ЛКМ, виділіть всі елементи форми, окрім трьох верхніх кнопок перемикавання сторінок. Скопіюйте виділені елементи в буфер обміну.

Відкрийте форму сторінки приводу візка *PanelCart*. Вставте раніше скопійовані елементи на форму.

Зображення кнопки «Вгору» змініть на зображення стрілки «Вліво». Для параметрів *Lamp* та *Destination* оберіть змінну *xCmdRev_ATV930*. Натисніть кнопку *Apply* для прийняття змін. У списку *Operation* оберіть пункт *Bit*. Для нової операції оберіть поведінку *Momentary ON*, для параметра *Destination* оберіть змінну *xLeft* та натисніть кнопку *Add*. Цей додатковий параметр відповідає за запалювання сигнальної лампи HL4 на стенді при русі візка вліво. Зображення кнопки «Вниз» змініть на зображення стрілки «Вправо». Для параметрів *Lamp* та *Destination* оберіть змінну *xCmdFwd_ATV930*. Натисніть кнопку *Apply* для прийняття змін. У списку *Operation* оберіть пункт *Bit*. Для нової операції оберіть поведінку *Momentary ON*, для параметра *Destination*

оберіть змінну *xRight* та натисніть кнопку *Add*. Цей додатковий параметр відповідає за запалювання сигнальної лампи HL5 на стенді при русі візка вправо.

Для кнопки опцій як параметр *PanelID* оберіть *PanelOptions2*. Зовнішній вигляд повністю завершеної форми *PanelCart* показаний на рисунку 1.31.

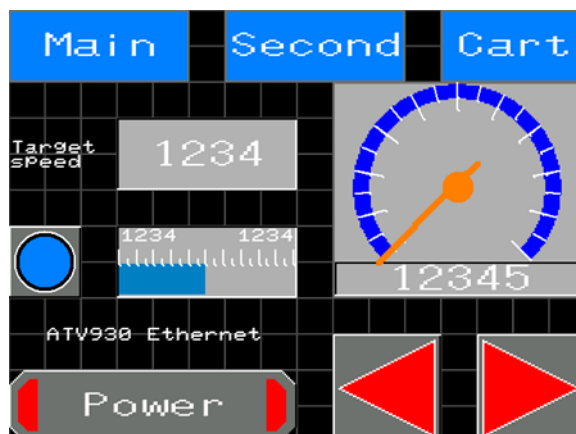


Рисунок 1.31 – Сторінка керування рухом приводу візка від ATV930

1.5 Інтерфейс сторінки опцій для ATV930

Відкрийте форму сторінки опцій приводу *PanelOptions1*.

Створіть на формі надпис з текстом *Acceleration, s (1...10)*.

Поруч зі створеним надписом розмістити елемент *Numeric Display* із розміром 2×2 клітинки. Для параметра *Variable* оберіть змінну *xAcc1*. Для параметра *Display Digits* вкажіть число 2. На вкладці *Input Mode* потрібно поставити відмітку біля параметра *Enable Input Mode*. Активуйте параметр *Overwrite Variable's Input Range* та вкажіть у полі *Min Value* значення 1, у полі *Max Value* – значення 10.

Створіть на формі напис із текстом *Deceleration, s (1...10)*.

Поруч зі створеним написом розмістити елемент *Numeric Display* із розміром 2×2 клітинки. Для параметра *Variable* оберіть змінну *xDec1*. Для параметра *Display Digits* вкажіть число 2. На вкладці *Input Mode* потрібно

поставити відмітку біля параметра *Enable Input Mode*. Активуйте параметр *Overwrite Variable's Input Range* та вкажіть у полі *Min Value* значення 1, у полі *Max Value* – значення 10.

Створіть на формі напис із текстом *Speed step, rev/min (1...10)*.

Поруч зі створеним написом розмістить елемент *Numeric Display* із розміром 2×2 клітинки. Для параметра *Variable* оберіть змінну *xStep1*. Для параметра *Display Digits* вкажіть число 2. На вкладці *Input Mode* потрібно поставити відмітку біля параметра *Enable Input Mode*. Активуйте параметр *Overwrite Variable's Input Range* та вкажіть у полі *Min Value* значення 1, у полі *Max Value* – значення 10.

Змініть колір тла сторінки на синій (параметр *Back Color* вікна *Property Inspector*).

Створіть кнопку з текстом *OK*. Налаштування кнопки зображене на рисунку 1.32. Зовнішній вигляд повністю завершеної форми *PanelOptions* зображений на рисунку 1.33.

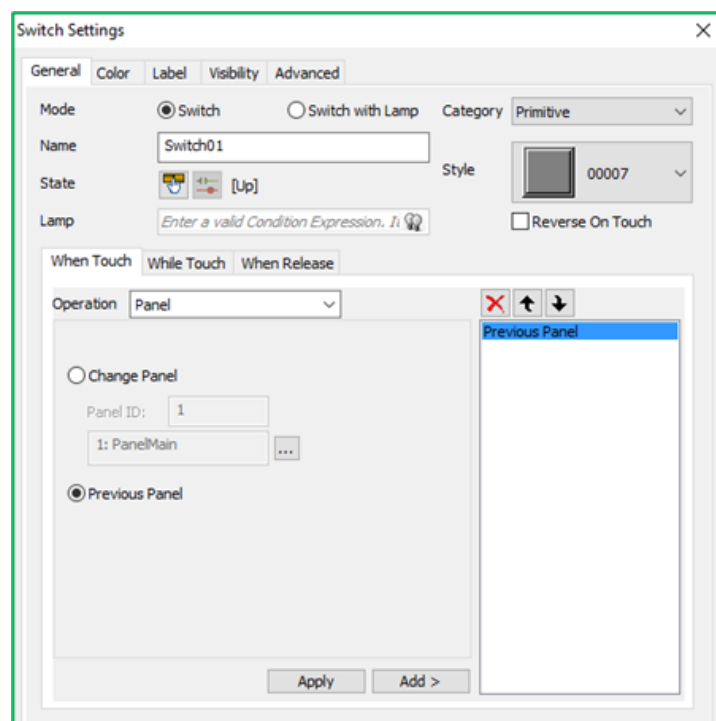


Рисунок 1.32 – Налаштування кнопки повернення на попередню сторінку

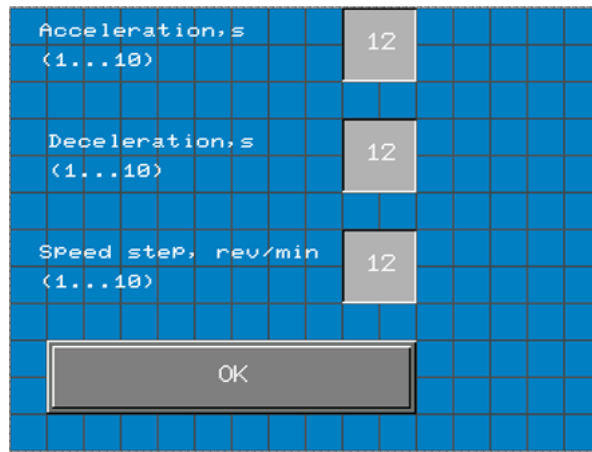


Рисунок 1.33 – Сторінка опцій приводу ATV930

Виділіть усі створені елементи сторінки опцій та скопіюйте їх у буфер обміну.

Перейдіть на форму *PanelOptions2* та вставте з буферу раніше скопійовані елементи.

Збережіть зміни. На цьому створення проєкту інтерфейсу сенсорної панелі повністю завершено.

1.6 Симуляція роботи панелі

Симуляція дозволяє перевірити роботу проєкту без фактичного завантаження в реальні пристрої. У процесі симуляції можна контролювати стан і значення всіх змінних проєкту.

Спочатку треба виконати симуляцію контролера. Для цього в програмі *SoMachine* в пункті головного меню *Online* оберіть пункт *Simulation*. Потім у цьому ж меню оберіть пункт *Login* (на всі додаткові запити обирайте позитивну відповідь). Для запуску симуляції натисніть на клавіатурі кнопку F5.

Перейдіть у програму *Vijeo Designer*. У пункті меню *Build* оберіть *Simulation*. При цьому з'явиться вікно сенсорної панелі, в якому можна перевірити операції натиснення кнопок та ініціалізації параметрів. Одночасно, в програмі *SoMachine* буде видно реакцію на виконані операції (рис. 1.34).

Стан змінних можна оцінити в таких вікнах:

GVL – глобальні змінні;

POU_Main, POU_LIMITS, POU_SPEED – програми;

DI – вхідні порти контролера;

DQ – вихідні порти контролера.

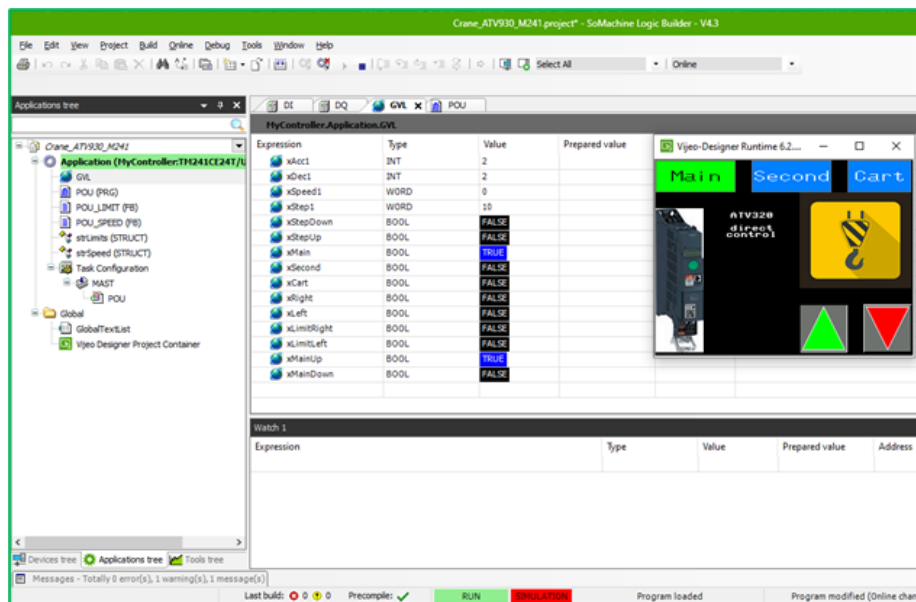


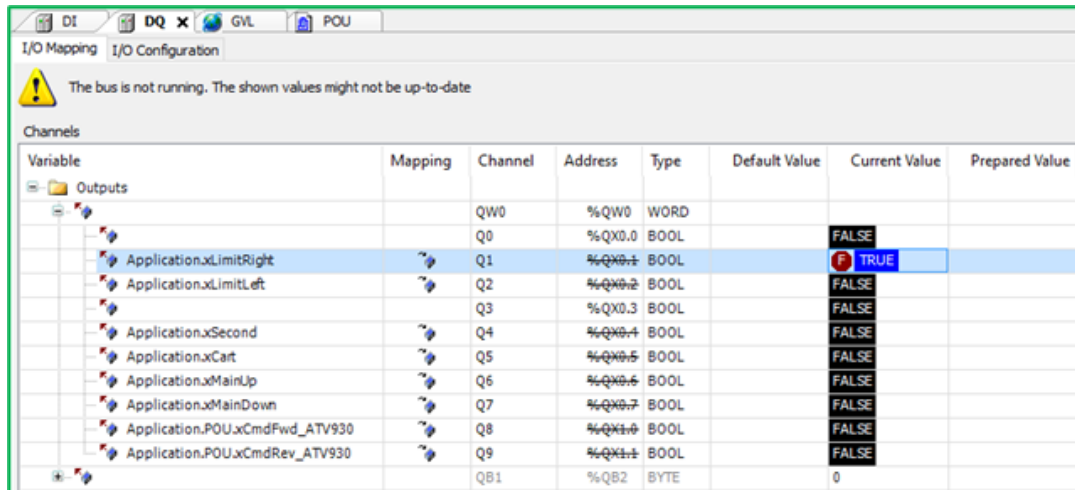
Рисунок 1.34 – Симуляція проєкту в *SoMachine* і *Vijeo Designer*

У процесі симуляції можна змінити значення будь-якої змінної. Наприклад, у проєкті неможливо оцінити роботу вхідних сигналів контролера, оскільки вони активуються зовнішнім колом кінцевих вимикачів, проте це можна зробити власноруч. Для цього перейдіть на сторінку DI (*Digital Inputs*).

У таблиці входів контролера, в осередку поруч зі змінною *xLimitRight* у стовбці *Prepared Value* виконайте подвійний клік ЛКМ. В осередку з'явиться

значення *TRUE*. Потім на клавіатурі натисніть клавішу *F7*, щоб прийняти зміни.

У результаті змінна *xLimitRight* змінить своє значення з *FALSE* на *TRUE*. Результат виконання такої операції показаний на рисунку 1.35.



Variable	Mapping	Channel	Address	Type	Default Value	Current Value	Prepared Value
Outputs		QW0	%QW0	WORD			
		Q0	%QX0.0	BOOL		FALSE	
Application.xLimitRight		Q1	%QX0.1	BOOL		TRUE	
Application.xLimitLeft		Q2	%QX0.2	BOOL		FALSE	
Application.xSecond		Q3	%QX0.3	BOOL		FALSE	
Application.xCart		Q4	%QX0.4	BOOL		FALSE	
Application.xMainUp		Q5	%QX0.5	BOOL		FALSE	
Application.xMainDown		Q6	%QX0.6	BOOL		FALSE	
Application.POU.xCmdFwd_ATV930		Q7	%QX0.7	BOOL		FALSE	
Application.POU.xCmdRev_ATV930		Q8	%QX0.8	BOOL		FALSE	
		Q9	%QX0.9	BOOL		FALSE	
		QB1	%QB2	BYTE		0	

Рисунок 1.35 – Ручне завдання значення змінної при симуляції

Далі потрібно перейти у вікно програми *POU_Main*. На панелі перейдіть на вкладку *Cart* та натисніть кнопку «Вправо». У правильно створеному проєкті вхідний сигнал *xCmdFwd_ATV930* змінить своє значення на *TRUE*, проте на виході *cmdDrive* (блок *POU_LIMIT*) буде значення *FALSE*, чому також відповідає лінія чорного кольору², яка з'єднує порт *cmdDrive* з портом *i_xFwd* блоку *GIATV_Control_ATV* (рис. 1.36). В реальній роботі це буде означати блокування команди руху візка при замкненому кінцевому вимикачі.

² Чорний колір ліній при симуляції відповідає колу без струму, а синій – колу зі струмом.

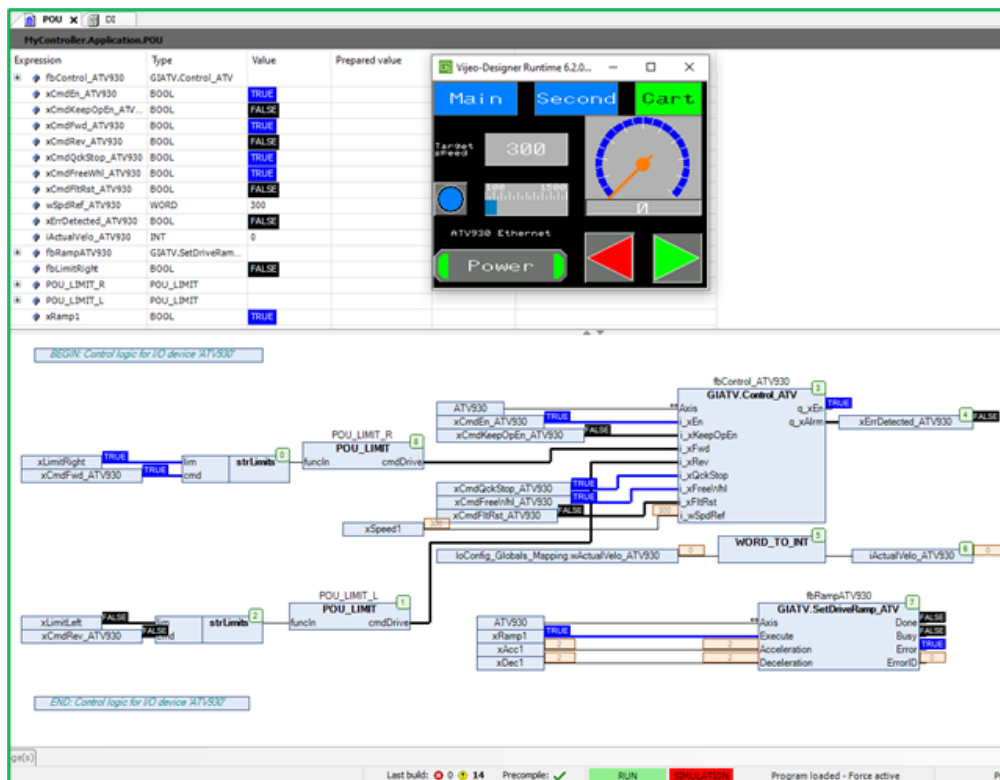


Рисунок 1.36 – Симуляція спрацювання кінцевого вимикача

Перевірте коректність роботи інших елементів керування, індикаторів та регуляторів швидкості; стан вихідних портів контролера при активації кнопок на панелі. На цьому етап симуляцію можна вважати завершеною.

Контрольні питання

1. Поясніть призначення і налаштування основних елементів програми *Vijeo Deigner*.
2. Як виконати передачу даних із програми *Vijeo Deigner* в *SoMachine* і навпаки?
3. Для чого потрібна ініціалізація змінних при натисненні на кнопку, яка створюється на панелі *PanelMain*?
4. Для чого потрібна симуляція проєкту в *SoMachine* і *Vijeo Designer*?

5. Як виконується симуляція контролера в програмі *SoMachine*?
6. Як виконується симуляція в програму *Vijeo Designer*?
7. Як можна змінити значення будь-якої змінної під час симуляції?
8. Поясніть призначення панелей *PanelMain*, *PanelSecond*, *PanelCart* – контроль приводу візка.
9. Які інструменти будуть використовуватися в проєкті у програмі *Vijeo Designer*?
10. Який додатковий параметр відповідає за запалювання сигнальних ламп HL4 та HL5 на стенді?

2 ДОСЛІДЖЕННЯ КРАНОВОЇ УСТАНОВКИ

Мета роботи: навчитися налаштовувати перетворювачі частоти ATV930, ATV320 і дослідити механізм головного підйому та приводу допоміжного підйому; виконати розрахунок параметрів та характеристик приводу.

2.1 Налаштування перетворювача частоти ATV930

Перетворювач частоти ATV930 налаштовуються з метою забезпечення інтернет-зв'язку із контролером.

Налаштування виконується з використанням графічного терміналу (рис. 2.1) і полягає у встановленні параметрів мережі.



Рисунок 2.1 – Графічний термінал ATV930

За допомогою кнопок і сенсорного кільця перейдіть послідовно за такими пунктами:

- натисніть на кнопку «Домашня сторінка»;
- «Комунікація»;
- «Ком. параметри»;
- «Комунікація вбудованого *Ethernet*».

Налаштування параметрів обраної сторінки показані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Конфігурація *Ethernet ATV930*

№ з/п	Найменування параметра	Значення параметра
1	Вбудований <i>Ethernet</i> : режим IP	Fixed
2	IP адреса	192.168.210.45
3	Адреса <i>Gateway</i>	255.255.255.0
4	Маска підмережі	192.168.210.44

Як зрозуміло з таблиці 2.1, налаштування мережі відповідають тим, що було задано в програмі *SoMachine* при налаштуванні мережі контролера (див. рис. 3.23 [1]).

2.2 Налаштування перетворювача частоти ATV320

Перетворювач частоти ATV320 має буквено-цифровий дисплей, а налаштування виконуються шляхом обертання та натискання навігаційної клавіші (див. рис. 2.7 [1]). Натисніть клавішу один раз та перейдіть послідовно по пунктах меню (обернути клавішу і, коли зустрінеться потрібний напис, натиснути клавішу в центрі):

CONF > FULL > SIM

tFr = 50 (максимальна частота, Гц);

ItH = 2 (струм термічного захисту двигуна);

ACC = 2 (час розбігу двигуна, с);

dEC = 2 (час гальмування двигуна, с);

LSP = 10 (мінімальна частота обертання, Гц)³;

HSP = 50 (максимальна частота обертання, Гц).

CONF > FULL > drC

bFr = 50 (базова частота двигуна, Гц).

CONF > FULL > drC > ASY

nPr = 1.1 (номінальна потужність двигуна, кВт);

UnS = 400 (номінальна напруга, В);

³ Параметр LSP також відповідає за швидкість, до якої виконає розбіг двигун при першому запуску після подавання живлення на ПЧ.

nCr = 2 (номінальний струм, A).

CONF > FULL > SET

CLI = 3 (обмеження струму двигуна, A).

Окреме налаштування дозволяє регулювати швидкість двигуна за допомогою повороту навігаційної клавіші. Для цього виконайте такі дії:

CONF > FULL > CTL

CHCF = SEP (натиснути клавішу і утримувати біля 2 с);

FR1 = A1U1;

CD1 = TER.

Для виходу із налаштувань натисніть кнопку ESC доки не з'явиться головне меню.

Для регулювання швидкості треба двічі натиснути навігаційну клавішу в центрі. Надалі обертання клавіші за годинниковою стрілкою приведе до збільшення частоти, а проти – до зниження.

2.3 Налаштування персонального комп'ютера

У лабораторній роботі персональний комп'ютер (ПК) використовується як засіб для реєстрації у програмі *SoMove* параметрів ПЧ, зокрема для відображення обраних параметрів на віртуальних вимірювальних приладах та характеристик змінювання параметрів на віртуальному осцилографі.

Для встановлення інтернет-зв'язку між ПК та ПЧ треба змінити властивості протоколу TCP/IPv4 мережевого адаптера. Налаштування протоколу показані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Конфігурація TCP/IPv4 адаптера ПК

№ з/п	Найменування параметра	Значення параметра
1	IP адреса	192.168.210.40
2	Шлюз	255.255.255.0
3	Маска підмережі	192.168.210.44

2.4 Налаштування програми SoMove

Програма *SoMove* виробництва *Scheider Electric* призначена для параметризації, введення в експлуатацію та керування ПЧ. У лабораторній установці ця програма використовується в пасивному режимі для реєстрації параметрів ПЧ.

Після запуску програми *SoMove* відкрийте пункт бокового меню *Edit Connection / Scan* (рис. 2.2).

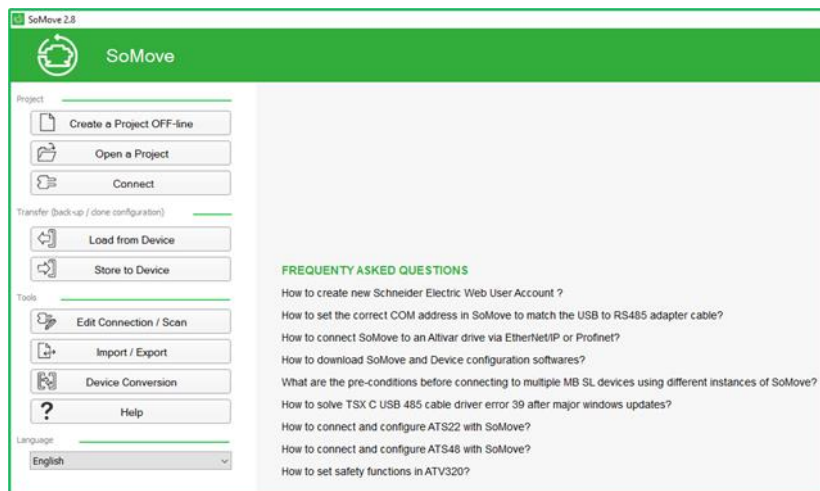


Рисунок 2.2 – Головне вікно програми *SoMove*

У вікні налаштування сканера мережі перейдіть на вкладку *Modbus TCP*, потім натисніть на кнопку у вигляді шестерні.

У новому вікні натисніть на кнопку *More*.

У вікні *Advance Settings* перейдіть до вкладки *Scan* та в полі *Target Network* введіть перші три групи чисел IP адреси ПЧ. Поряд із пунктом *Single* введіть останні цифри IP адреси ПЧ (рис. 2.3). Збережіть виконані налаштування.

Для пошуку ПЧ натисніть кнопку *Scan Network*.

Після того як ПЧ з'явиться у вікні сканера (рис. 2.4), виділіть його зображення ЛКМ та натисніть кнопку *Connect*.

Коли на екрані з'явиться повідомлення про підімкнення, натисніть на праву кнопку з надписом *Load from device and Connect* (рис. 2.5).

Тепер можна перейти до налаштування віртуальних приладів програми.

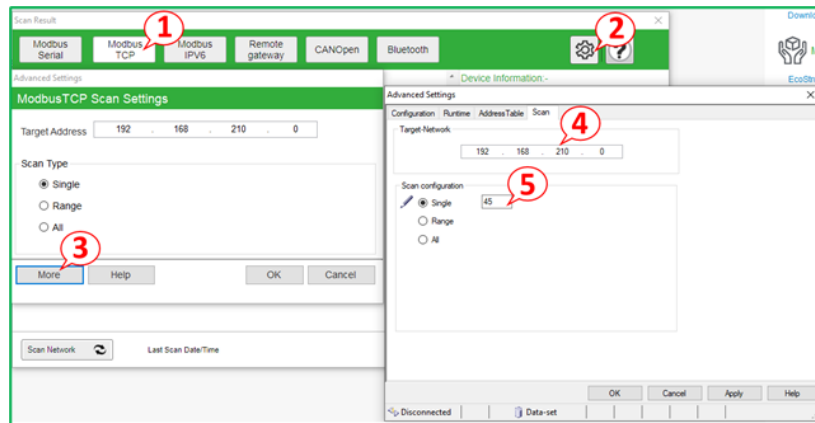


Рисунок 2.3 – Налаштування сканера мережі в SoMove

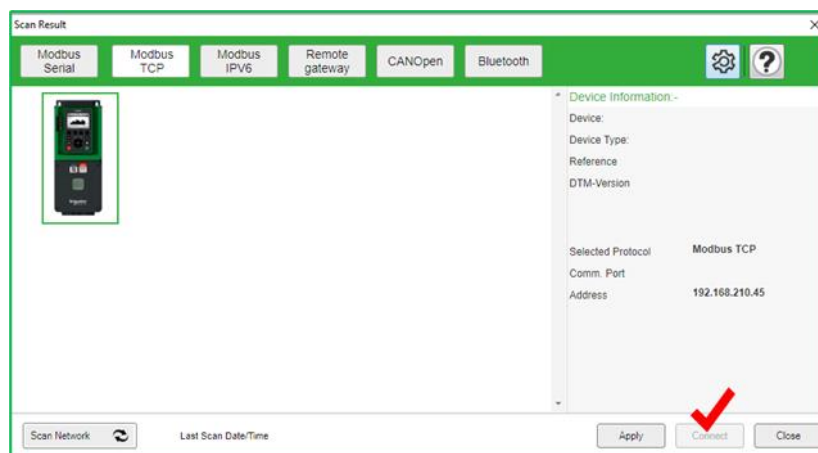


Рисунок 2.4 – Вікно сканера зі знайденим ПЧ



Рисунок 2.5 – Повідомлення програми про спосіб підімкнення

У програмі *SoMove* перейдіть до вкладки *Display*, відкрийте список зліва із заголовком *Motor*, клацніть один раз на ЛКМ на пункті *Motor Voltage*, а потім у пустому просторі з правого боку. При цьому з'явиться вольтметр. Таким самим способом створіть вимірювальні прилади для таких приладів (рис. 2.6):

Motor Voltage (вже створено);

Motor Current;

Output frequency (з меню *Drive*);

Motor speed;

Motor Power;

Motor torque in Nm.



Рисунок 2.6 – Віртуальні прилади в програмі *SoMove*

Перейдіть до вкладки *Score*.

Відкрийте групу *Channels*.

Видаліть канали реєстрації параметрів, що існують, та натисніть на кнопку «+» (*Add Channel Parameters*). У вікні вибору параметрів у полі пошуку *Search* введіть *SOTR* та натисніть клавішу *Enter*. У стовпці *Selected* установіть відмітку біля рядка *Output torque value*. Таким самим способом оберіть ще три параметри (рис. 2.7):

SOTR: Output torque value (вже обрано);

FROT: Ramp output frequency;

LCR: *Motor current*;

SRFR: *Estimated motor frequency*;

COS: *Motor 1 Cosinus Phi*.

Натисніть кнопку *OK* для прийняття вибору.

Відкрийте групу *Sampling*.

Для параметра *Recording duration* оберіть *Up to 10 seconds*.

Для параметра *Sampling rate* оберіть *500 ms*.

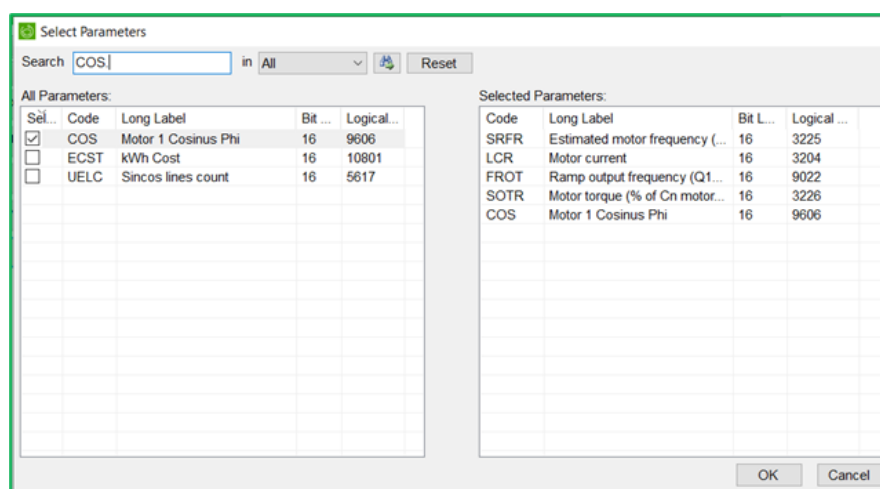


Рисунок 2.7 – Обрання параметрів для осцилографа *SoMove*

Відкрийте групу *Trigger*.

Натисніть кнопку «+»(Add Trigger) та у вікні, що з'явиться, в полі пошуку *Search* введіть *LCR* та натисніть клавішу *Enter*. У стовпці *Selected* установіть відмітку біля рядка *Motor current*.

Після появи тригера установіть відмітку *Enable*, у списку *Type* оберіть рядок *RisingEdge*, а в полі *Level H* вкажіть струм⁴ спрацьовування тригера 0.1 А.

Повні налаштування вікна осцилографа зображені на рисунку 2.8.

⁴ Значення струму при досягненні якого осцилограф почне реєструвати параметри.

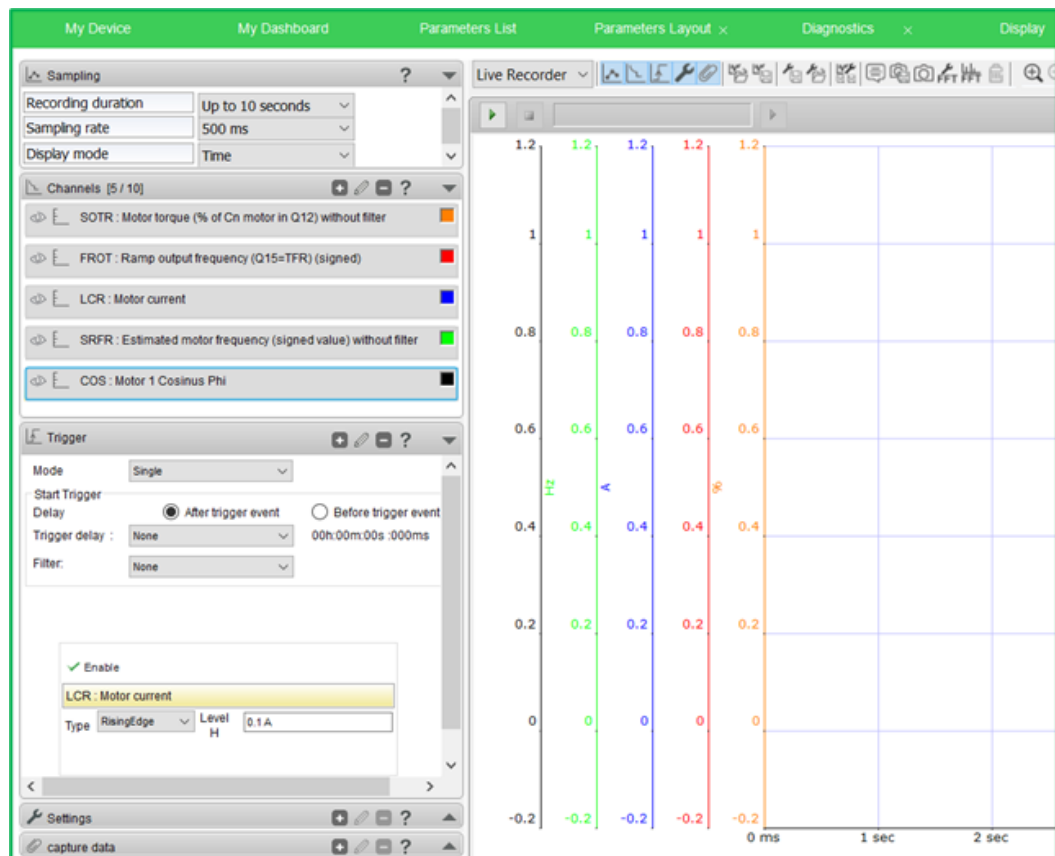


Рисунок 2.8 – Налаштування осцилографа у програмі SoMove

Для переведення осцилографа в режим очікування натисніть на кнопку  у верхньому лівому кутку шкали системи координат. Зробіть запис обраних у групі *Channels* параметрів: відлік часу почнеться тоді, коли струм двигуна досягне значення, вказаного у налаштуваннях тригера, тобто 0.1 А. Запис закінчиться у момент часу, вказаний у налаштуваннях *Sampling*.

2.5 Завантаження проєкту в пам'ять фізичних пристроїв

УВАГА! Матеріал цього підрозділу надається винятково для ознайомлення. Категорично забороняється змінювати інформацію, збережену в контролері M241 та сенсорній панелі HMISTU855 на лабораторному стенді.

2.5.1 Завантаження проєкту в контролер M241

Підімкніть контролер до ПК за допомогою USB-кабелю. Відкрийте програму *SoMove* та у правому боковому меню оберіть пункт *Connect Controller*.

У вікні, що з'явиться, оберіть проєкт, створений раніше та натисніть кнопку.

Після цього перейдіть до проєкту контролера *Controller* у секції головного меню програми *Application Design* та виконайте підімкнення до контролера. Погодьтеся із запитами, що з'являться. Після встановлення синхронізації проєкт буде завантажено у пам'ять контролера автоматично.

Тепер USB-кабель можна від'єднати.

На останньому кроці треба перезавантажити контролер. Для цього потрібно перевести перемикач «Пуск / Стоп» (поз. 1, рис. 2.9 [1]) спочатку у положення «Стоп», а потім повернути у положення «Пуск».

2.5.2 Завантаження проєкту в сенсорну панель HMISTU855

Підімкніть сенсорну панель до ПК за допомогою USB-кабелю.

Відкрийте раніше створений проєкт інтерфейсу панелі та відкрийте сторінку налаштувань, обравши в навігаторі перший рядок із назвою проєкту (у прикладі це HMIST5T).

На сторінці, що відкриється, перейдіть до вкладки *General* та вкажіть для параметра *Download* значення USB, а для параметра *User Application* значення *Main Drive* (рис. 2.9).

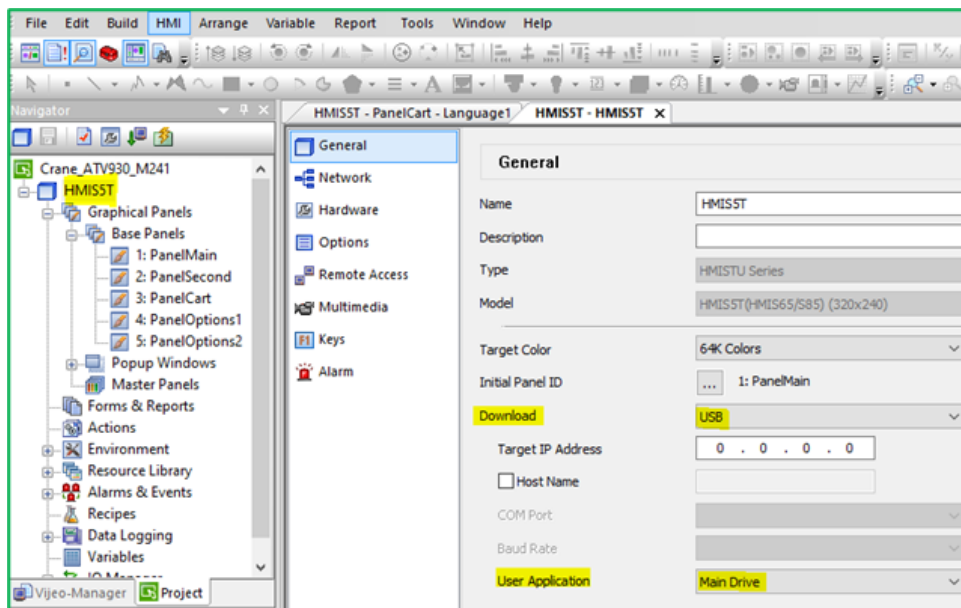


Рисунок 2.9 – Конфігурація проєкту в програмі *Vijeo Designer*

Оберіть в меню *Build* пункт *Download Target* та дочекайтесь завантаження проєкту в сенсорну панель.

Тепер USB-кабель можна від'єднати, панель повністю готова до роботи з контролером.

2.6 Дослідження механізму головного підйому від ATV320

1. Виконати операції підйому та спуску вантажу при стандартних налаштуваннях часу розбігу та гальмування. У процесі роботи механізму виконати регулювання швидкості руху.
2. Виконати операції підйому та спуску вантажу при часу розбігу та гальмування 4 с.
3. Виконати операції підйому та спуску вантажу при часі розбігу та гальмування 1 с.
4. Повернути налаштування часу розбігу та гальмування на стандартне значення 2 с.

При проведенні випробувань механізму головного підйому з управлінням від перетворювача частоти ATV320 реєстрація показів і розрахунки параметрів електроприводу не виконуються.

2.7 Дослідження приводу механізмів допоміжного підйому та візка від ++++ATV930

2.7.1 Випробування режиму неробочого ходу

Перед початком випробувань зніміть вантаж з гака допоміжного підйому. Дослід неробочого ходу асинхронного двигуна, керованого від перетворювача частоти, полягає в знятті залежностей активної потужності P_0 , фазної напруги U_0 , фазного струму I_0 , швидкості обертання n від частоти на виході перетворювача f_1 за відсутності навантаження M_s на валу двигуна: P_0 , U_0 , I_0 , $n = f(f_1)$, $M_s = 0$. Цей дослід дозволяє оцінити глибину регулювання швидкості при частотному управлінні, побудувати вольт-частотну характеристику, визначити величину постійних втрат у двигуні й отримати необхідні дані для побудови кругової діаграми.

Під час проведення випробувань задайте необхідну швидкість на сенсорній панелі, дочекайтеся розбігу двигуна (2 с) та зафіксуйте покази приладів у програмі *SoMove*. Визначення коефіцієнта потужності $\cos\varphi_0$ виконується з осцилограми на вкладці *Scope* програми *SoMove*. Результати вимірювань занесіть у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Експериментальні і розрахункові дані досліду неробочого ходу

Вимірювання						Розрахунки		
n , об./хв	f_1 , Гц	U_0 , В	I_0 , А	P_0 , Вт	$\cos\varphi_0$	$\cos\varphi_0$	P_{mm} , Вт	P_{meh} , Вт
200								
300								
400								
500								
600								
700								
800								
900								
1 000								
1 100								
1 200								
1 300								
1 400								
1 450								
1 500								

Дослідження режиму неробочого ходу для механізму пересування візка проводяться аналогічно.

2.7.2 Випробування режиму короткого замикання

Для проведення досліджень асинхронного двигуна в режимі короткого замикання необхідно загальмувати ротор.

При загальмованому роторі двигун не охолоджується, оскільки вентиляція здійснюється лише за рахунок вентилятора, встановленого на валу. Щоб уникнути перегріву двигуна, дослід потрібно проводити якнайшвидше.

Дослід короткого замикання проводиться при зниженій напрузі, а отже, магнітна система двигуна буде ненасиченою. Практично, це означає, що характеристика короткого замикання становить лінійну залежність, а для її побудови достатньо тільки двох точок.

Під час проведення випробувань задайте необхідну швидкість⁵ на сенсорній панелі та зафіксуйте покази приладів у програмі *SoMove*. Визначення коефіцієнта потужності $\cos\varphi_k$ виконується з осцилограми на вкладці *Scope* програми *SoMove*. Результати вимірювань занесіть у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Експериментальні і розрахункові дані дослідження короткого замикання

Вимірювання						Розрахунки	
n , об./хв	f_k , Гц	U_k , В	I_k , А	P_k , Вт	$\cos\varphi_k$	I_{kn} , В1	P_{kn} , Вт
200							
300							
Середні значення струму I_{kn} та потужності P_{kn}							

Дослідження режиму короткого замикання для механізму пересування візка проводяться аналогічно.

2.7.3 Випробування під навантаженням

Навантаження на асинхронний двигун забезпечується кріпленням вантажів різної маси до гака механізму допоміжного підйому.

Під час проведення випробувань задайте швидкість 600 об./хв на сенсорній панелі, дочекайтеся розбігу двигуна (2 с) та зафіксуйте покази приладів у програмі *SoMove*. Визначення коефіцієнта потужності $\cos\varphi$ виконується з осцилограми на вкладці *Scope* програми *SoMove*. Результати вимірювань для різної маси вантажу занесіть у таблицю 2.5

⁵ Значення швидкості, яке вводиться на сенсорній панелі, в досліді короткого замикання потрібно сприймати як завдання на досягнення цієї швидкості. Фактично, для побудови характеристики важлива не вказана швидкість n , а частота f_1 , яка відповідає цій швидкості.

Таблиця 2.5 – Експериментальні і розрахункові дані досліду під навантаженням: цільова швидкість 600 об./хв

Вимірювання								Розрахунки									
m , кг	n , об./ хв	f_1 , Гц	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , %, %	$\cos$ φ	M_2 , Нм	s_a	α	s_m	M_m , H_m	P_1 , Вт	P_{sum} , Вт	P_2 , Вт	η , в.о .	$\cos$ φ	M_2 , Нм

Зверніть увагу на те, що реєстрація даних при одних і тих самих швидкостях виконується при піднятті (режим прямого ходу) та спуску вантажу (режим реверсу). Таким чином, для оформлення звіту потрібно заповнити дві окремі таблиці за формою, наведеною в таблиці 2.5.

Дослідження режиму роботи під навантаженням для механізму пересування візка проводяться аналогічно.

2.8 Вказівки до розрахунку параметрів та характеристик електроприводу

2.8.1 Розрахунок характеристики неробочого ходу

При неробочому ході електрична машина працює без навантаження, тому струми в її обмотках мають невелике значення. Майже вся потужність, що споживається, буде витратитися на створення магнітного поля та намагнічування заліза машини, тому основним завданням досліду неробочого ходу є визначення саме магнітних втрат в асинхронному двигуні.

Прямо визначити магнітні втрати P_{mg} неможливо, проте можна отримати величину суми магнітних і механічних втрат P_{mm} та окремо механічні втрати P_{meh} , тобто

$$P_{mg} = P_{mm} - P_{meh} \quad (2.1)$$

Також з досліду неробочого ходу визначається коефіцієнт потужності $\cos\varphi_0$, який порівнюється із значенням, що був отриманий експериментально.

У подальших розрахунках знадобяться номінальні параметри двигуна, які наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Паспортні дані двигунів допоміжного підйому та пересування візка

Найменування	Позн.	Значення
Потужність, Вт	P_n	750
Напруга, В	U_n	380
Частота обертання, об/хв	n_n	1 450
Кількість пар полюсів	p	2
Струм, А	I_n	2
Частота, Гц	f_n	50
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi_n$	0,77
ККД	η_n	0,72
Номінальний момент на валу двигуна, Нм	M_n	3,82
Пусковий момент, Нм	M_s	7,26
Максимальний момент, Нм	M_m	8,79
Пусковий струм, А	I_s	9,0
Зовнішній діаметр статора, мм	D_a	116
Момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	J_2	0,001 6

2.8.2 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Для подальших розрахунків потрібні такі параметри двигуна, як активні та індуктивні опори обмоток статора і ротора. Ці параметри можна визначити, користуючись лише паспортними даними (табл. 2.6) за методикою, що наводиться нижче.

Номінальне ковзання:

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0}, \quad (2.2)$$

де n_0 – синхронна частота обертання магнітного поля статора.

Критичне ковзання:

$$s_m = s_n \left(k_m + \sqrt{k_m^2 - 1} \right) \quad (2.3)$$

де $k_m = \frac{M_m}{M_n}$ – кратність максимального моменту.

Активний опір ротора, приведений до статора, Ом:

$$r'_2 = \frac{1.02 \cdot P_n \cdot k_p}{3(1-s_n)(k_i I_{1n})^2} \quad (2.4)$$

де $k_i = \frac{I_s}{I_n}$ – кратність пускового струму.

Активний опір статора, Ом:

$$r_1 = k \frac{U_n^2 (1-s_n)}{2.04 \cdot c_1 \cdot P_n \cdot k_s \left(1 + \frac{c_1}{s_m} \right)} \quad (2.5)$$

де $k = 1,3-1,8$ – додатковий коефіцієнт для номінальної напруги 220–380 В;

$c_1 = 1,02-1,06$ – коефіцієнт насичення магнітного кола;

$k_s = \frac{M_s}{M_n}$ – кратність пускового моменту.

Повний опір короткого замикання, приведений до статора, Ом:

$$Z_k = \frac{U_n}{\sqrt{3}k_i I_n} \quad (2.6)$$

Індуктивний опір короткого замикання, Ом%

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - (r_1 + r_2')^2} \quad (2.7)$$

Якщо одержане значення x_k виявиться комплексним числом, x_k можна розрахувати так, Ом:

$$x_k = \sqrt{\left(\frac{r_2'}{s_m}\right)^2 - r_1^2} \quad (2.8)$$

Індуктивні опори розсіяння (сума яких дорівнює x_k) визначимо, розподіливши x_k між статором та ротором у співвідношенні 45 % та 55 % відповідно, Ом:

$$x_1 = 0,45x_k,$$

$$x_2' = 0,55x_k.$$

Струм неробочого ходу при номінальній напрузі, А:

$$I_0 = I_n \left(\sin \varphi_n - \cos \varphi_n \frac{s_n}{s_m} \right) \quad (2.9)$$

де $\sin \varphi_n = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n}$.

Повний опір неробочого ходу, Ом:

$$z_0 = \frac{U_n}{\sqrt{3}I_0} \quad (2.10)$$

Індуктивний опір неробочого ходу, Ом:

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_1^2} \quad (2.11)$$

Індуктивний опір контуру намагнічування, Ом:

$$x_m = x_0 - x_1. \quad (2.12)$$

Взаємна індуктивність, Гн:

$$M_{12} = \frac{x_m}{\omega_1}, \quad (2.13)$$

де $\omega_1 = 2\pi f_n$ – номінальна кутова швидкість обертання, с^{-1} .

Індуктивність контуру намагнічування, Гн:

$$L_m = 1,5 \cdot M_{12}. \quad (2.14)$$

Індуктивність розсіювання обмотки статора, Гн:

$$L_{\sigma 1} = \frac{x_1}{\omega_1}. \quad (2.15)$$

Індуктивність розсіювання обмотки ротора, приведена до статора, Гн:

$$L'_{\sigma 2} = \frac{x'_2}{\omega_1}. \quad (2.16)$$

Повна індуктивність обмотки статора, Гн:

$$L_1 = L_m + L_{\sigma 1}. \quad (2.17)$$

Повна індуктивність обмотки ротора, приведена до статора, Гн:

$$L'_2 = L_m + L'_{\sigma 2}. \quad (2.18)$$

Сума магнітних і механічних втрат визначається за такою формулою⁶:

$$P_{mm} = P_0 - I_0^2 r_1 \quad (2.19)$$

Значення розрахованої суми магнітних і механічних втрат заносяться у таблицю 2.3.

Механічні втрати в двигуні знаходять, як

$$P_{meh} = k_t \left(\frac{n}{10} \right)^2 D_a^2, \quad (2.20)$$

де $k_t = 1,3(1 - D_a)$.

Розраховані механічні втрати для кожного значення швидкості занести в таблицю 2.3.

За результатами виконаних розрахунків побудувати графіки $P_{mm} = f(U_0^2)$ та $P_{meh} = f(U_0^2)$. За графіком визначити магнітні втрати P_m при найбільшому значенні напруги U_0^2 (рис. 2.10).

⁶ Активний опір потрібно розраховувати з урахуванням температури обмотки: $r_{It} = r_{I_{20^\circ C}} (1 + \alpha_t \Delta t)$, де $\alpha_t = 0,0393$ – температурний коефіцієнт для міді; $r_{I_{20^\circ C}}$ – опір обмотки при 20 °С; $\Delta t = t - 20$ °С, де t – поточна температура обмотки. В лабораторній установці відсутній датчик температури обмотки, тому розрахунки проводяться приблизно.

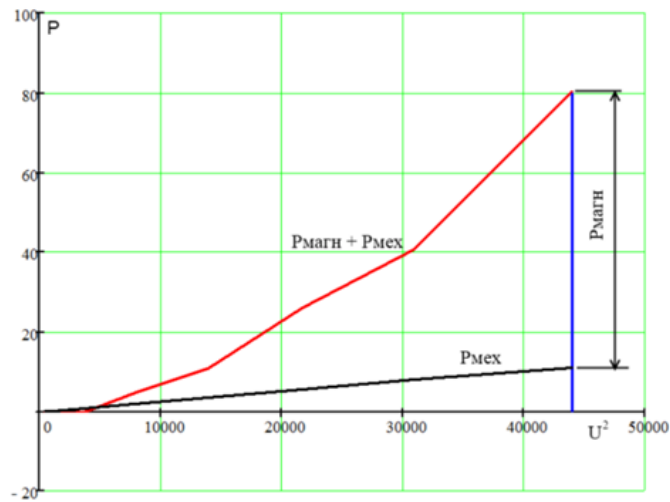


Рисунок 2.10 – Визначення магнітних втрат P_{mg} в двигуні

Формула для розрахунку коефіцієнта потужності:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}U_0 I_0}. \quad (2.21)$$

За результатами виконаних розрахунків у досліді неробочого ходу побудувати графіки $P_0 = f(U_0)$, $I_0 = f(U_0)$, $\cos \varphi_0 = f(U_0)$, $f_1 = f(U_0)$.

2.8.3 Розрахунок характеристики короткого замикання

Оскільки дослід короткого замикання проводиться при зниженій напрузі, магнітна індукція, яка прямопропорційна напрузі, має невелике значення, а отже, магнітна система машини буде ненасиченою. В такому режимі роботи значно спрощуються формули розрахунку параметрів двигуна, що дозволяє визначити активний R_k , індуктивний X_k та повний Z_k опори короткого замикання. Ці параметри необхідні для розрахунку максимального моменту двигуна M_m , тобто його перевантажувальної здібності.

Струм $I_{кн}$ і потужність $P_{кн}$ двигуна перераховуються на номінальну напругу:

$$I_{кн} = I_k \frac{U_n}{U_k}, \quad (2.22)$$

$$P_{кн} = P_k \frac{U_n^2}{U_k^2}. \quad (2.23)$$

Результати виконаних розрахунків занести в таблицю 2.4 з визначенням середніх номінальних значень струму і потужності короткого замикання.

Побудувати графіки $I_k = f(U_k)$, $P_k = f(U_k)$.

За формулами, наведеними нижче, з використанням знайдених номінальних значень струму і потужності короткого замикання, розрахувати опори короткого замикання:

$$Z_k = \frac{\sqrt{3}U_k}{I_k}, \quad (2.24)$$

$$R_k = \frac{P_{кн}}{I_{кн}^2}, \quad (2.25)$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}. \quad (2.26)$$

2.8.4 Розрахунок робочих характеристик

Робочі характеристики асинхронного двигуна є залежностями споживаної потужності P_1 , первинного струму I_1 , коефіцієнта потужності $\cos\varphi_1$, моменту на валу M_2 , ковзання s , частоти струму статора f_1 , ККД η від корисної потужності P_2 при роботі з номінальною напругою. Робочі характеристики дозволяють знаходити основні величини, що визначають режим роботи двигуна при різних навантаженнях.

Особливістю роботи асинхронного двигуна з частотним регулюванням швидкості є підтримання постійної частоти обертання ротора при навантаженнях від нульового (неробочий хід) до номінального. Збереження постійної швидкості при збільшенні навантаження забезпечується підвищенням частоти напруги живлення. З цієї причини змінюється величина синхронної швидкості (швидкість обертання електромагнітного поля у повітряному проміжку), що треба враховувати при розрахунку ковзання.

При незмінній швидкості поля n_1 (частота напруги живлення $f_{1н} = 50$ Гц) ковзання s знаходять, як

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} . \quad (2.27)$$

При змінній частоті напруги f_1 у розрахунках систем із частотним керуванням застосовується абсолютне ковзання s_a , що дорівнює добутку ковзання при номінальній частоті та відносному значенні частоти α :

$$s_a = s \cdot \alpha , \quad (2.28)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{f_1}{f_{1н}} .$$

Механічні втрати P_{meh} знаходять з урахуванням квадрата відносного коефіцієнта α :

$$P'_{meh} = P_{meh} \cdot \alpha^2 . \quad (2.29)$$

Магнітні втрати у сталі P_m також визначаються з урахуванням відносного коефіцієнта α , але у ступені 1,5, що вводиться для сталі 2013:

$$P'_{mg} = P_{mg} \cdot \alpha^{1.5} . \quad (2.30)$$

Повна активна потужність двигуна в номінальному режимі:

$$P_{1H} = \sqrt{3} U_{1H} I_{1H} \cos \varphi_H . \quad (2.31)$$

Повна активна потужність двигуна за результатами вимірювань:

$$P_1 = \frac{P_{1\%} \cdot P_{1H}}{100} . \quad (2.32)$$

Електричні втрати в обмотці статора:

$$P_{e1} = 3 I_1^2 \cdot r_1 . \quad (2.33)$$

Додаткові втрати у номінальному режимі приймаються рівними 0,5 % від споживаній потужності P_{1H} :

$$P_{ad.\text{н}} = 0,005 \frac{P_{1\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} . \quad (2.34)$$

Додаткові втрати для неномінального режиму:

$$P_{ad} = P_{ad.\text{н}} \left(\frac{I_1}{I_{1\text{н}}} \right)^2 . \quad (2.35)$$

Електромагнітна потужність:

$$P_{em} = P_1 - P_{e1} - P'_{mg} . \quad (2.36)$$

Електричні втрати в обмотці ротора:

$$P_{e2} = P_{em} \cdot s_a . \quad (2.37)$$

Частка постійних втрат:

$$P_{const} = P'_{mg} + P'_{meh} . \quad (2.38)$$

Частка змінних втрат:

$$P_{\text{var}} = P_{e1} + P_{e2} + P_{ad} . \quad (2.39)$$

Сумарні втрати в двигуні:

$$P_{sum} = P_{const} + P_{\text{var}} . \quad (2.40)$$

Корисна потужність:

$$P_2 = P_1 - P_{sum} . \quad (2.41)$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} . \quad (2.42)$$

Коефіцієнт потужності розрахунковий:

$$\cos \varphi = \frac{I_{1a}}{I_1} , \quad (2.43)$$

де активну складову струму знаходять, як

$$I_{1a} = \frac{P_1}{3U_1} . \quad (2.44)$$

Електромагнітний момент:

$$M_{em} = 9,55 \frac{P_{em}}{n_1} . \quad (2.45)$$

Механічний момент на валу двигуна:

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{\alpha^2 \cdot n} . \quad (2.46)$$

Максимальний момент двигуна (перевантажувальна здібність або критичний момент):

$$M_m = \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 c_1 (X_1 + c_1 X_2')} = \frac{3pU_1^2}{4\pi f_1 c_1 (X_1 + c_1 (X_k - X_1))}, \quad (2.47)$$

де $c_1 = 1 + \frac{X_1}{X_{12}}$, $X_1 = 2\pi f_1 \cdot L_1$, $X_{12} = \frac{U_1}{I_0} - X_1$.

Критичне ковзання, яке відповідає максимальному моменту:

$$s_m = \frac{c_1 r_2'}{X_1 + c_1 X_2'} = \frac{c_1 \cdot (R_k - r_1)}{X_1 + c_1 (X_k - X_1)}. \quad (2.48)$$

За результатами виконаних розрахунків побудувати робочі характеристики двигуна: P_1 , I_1 , $\cos\varphi_1$, M_2 , s , f_1 , $\eta = f(P_2)$.

В окремій системі координат побудувати залежність максимального моменту та критичного ковзання від частоти напруги: M_m , $s_m = f(f_1)$.

Контрольні питання

1. Як налаштувати регулювання швидкості приводу за допомогою навігаційної клавіші перетворювача частоти ATV320?
2. Як виконується налаштування віртуальних приладів у програмі *SoMove*?
3. Як завантажити проєкт у сенсорну панель HMISTU855?
4. Як виконати завантаження проєкту у контролер M241?

5. Як виконується перезавантаження контролера M241 при завантаженні проєкту?
6. Для чого призначена програма *SoMove*?
7. Поясніть основні налаштування програми *SoMove* для реєстрації параметрів перетворювача частоти ATV930?
8. Як виконується налаштування сканера мережі?
9. Як виконується налаштування осцилографа в програмі *SoMove*?
10. Як перевести осцилограф у режим очікування?
11. Робочі характеристики асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором при скалярному керуванні.
12. Ковзання асинхронного двигуна при частотному регулюванні швидкості.
13. Як проводити дослід короткого замикання? Які характеристики називаються характеристиками короткого замикання?
14. Як потрібно проводити дослід неробочого ходу? Які характеристики називаються характеристиками неробочого ходу?
15. Способи пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Мета роботи: виконати моделювання перехідних режимів асинхронного двигуна.

3.1 Математичне моделювання перехідних режимів

Моделювання перехідних режимів, які виникають при пуску асинхронного двигуна від перетворювача частоти, виконується в пакеті *Mtalab / Simulink*.

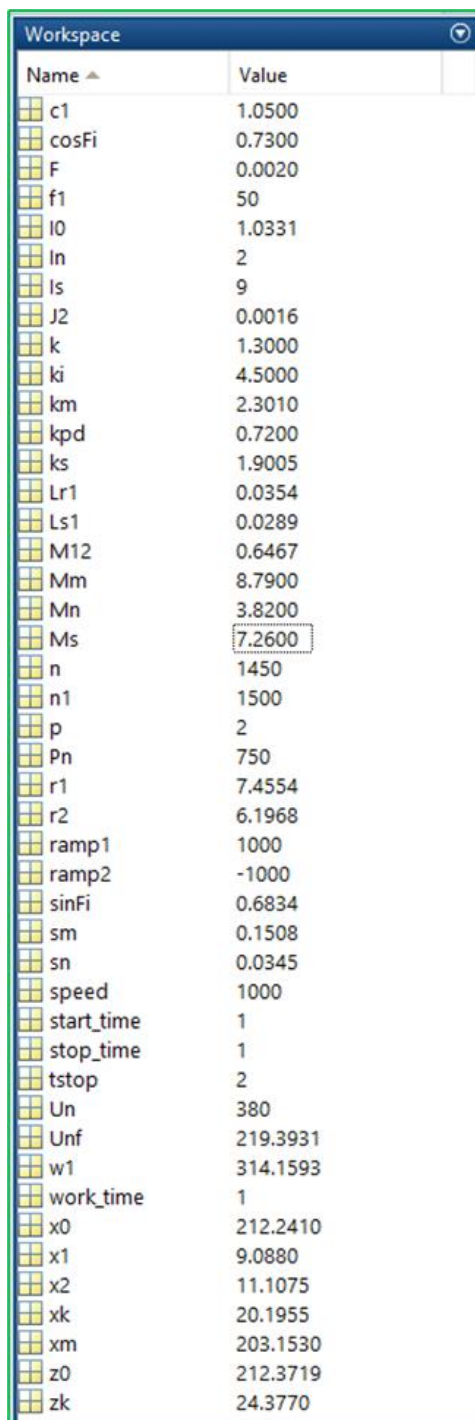
Спочатку в програмі *Matlab* створюється скрипт, в якому задаються й розраховуються параметри двигуна та приводу (рис. 3.1).

```
1 %Induction Motor Parameters
2 %Initial Data
3 Pn = 750;
4 Un = 380;
5 Unf = Un/sqrt(3);
6 n = 1450;
7 p = 2;
8 J2 = 0.0016;
9 F = 0.002;
10 cosFi = 0.73;
11 In = 2;
12 kpd = 0.72;
13 Is = 9;
14 Mn = 3.82;
15 Ms = 7.26;
16 Mm = 8.79;
17 ki = Is/In;
18 ks = Ms/Mn;
19 km = Mm/Mn;
20 f1 = 50;
21 w1 = 2*pi*f1;
22 n1 = 3000/p;
23 %Parameters Calculation
24 sn = (n1 - n)/n;
25 sm = sn*(km + sqrt(km^2 - 1));
26 r2 = 1.02*Pn*ks/(3*(1-sn)*ki^2*In^2);
27 k = 1.3;
28 c1 = 1.05;
29 r1 = k*Un^2*(1-sn)/(2.04*c1*Pn*ks*(1+c1/sm));
30 zk = Un/(sqrt(3)*ki*In);
31 xk = sqrt(zk^2 - (r1+r2)^2);
32 %xk = sqrt((r2/sm)^2 - r1^2);
33 x1 = 0.45*xk;
34 x2 = 0.55*xk;
35 sinFi = sqrt(1-cosFi^2);
36 I0 = In*(sinFi - cosFi*sn/sm);
37 z0 = Un/(sqrt(3)*I0);
38 x0 = sqrt(z0^2 - r1^2);
39 xm = x0 - x1;
40 M12 = xm/w1;
41 Ls1 = x1/w1;
42 Lr1 = x2/w1;
43 %Speed Control
44 start_time = 1;
45 work_time = 1;
46 stop_time = 1;
47 speed = 1000;
48 tstop = start_time + work_time;
49 ramp1 = speed/start_time;
50 ramp2 = -speed/stop_time;
```

Рисунок 3.1 – Скрипт *Matlab* із визначення параметрів моделі

Усі параметри машини вносяться з попередніх розрахунків.

Після запуску скрипту, впевніться, що отримані результати співпадають із тими, що зображені на рисунку 3.2.



Name	Value
c1	1.0500
cosFi	0.7300
F	0.0020
f1	50
I0	1.0331
In	2
Is	9
J2	0.0016
k	1.3000
ki	4.5000
km	2.3010
kpd	0.7200
ks	1.9005
Lr1	0.0354
Ls1	0.0289
M12	0.6467
Mm	8.7900
Mn	3.8200
Ms	7.2600
n	1450
n1	1500
p	2
Pn	750
r1	7.4554
r2	6.1968
ramp1	1000
ramp2	-1000
sinFi	0.6834
sm	0.1508
sn	0.0345
speed	1000
start_time	1
stop_time	1
tstop	2
Un	380
Unf	219.3931
w1	314.1593
work_time	1
x0	212.2410
x1	9.0880
x2	11.1075
xk	20.1955
xm	203.1530
z0	212.3719
zk	24.3770

Рисунок 3.2 – Параметри асинхронного двигуна, розраховані в *Matlab*

Тепер можна приступити до розроблення моделі частотного пуску асинхронного двигуна в програмі *Simulink* (рис. 3.3, 3.4). Усі блоки, присутні в моделі, містяться в меню пошуку бібліотеки *Simulink*.

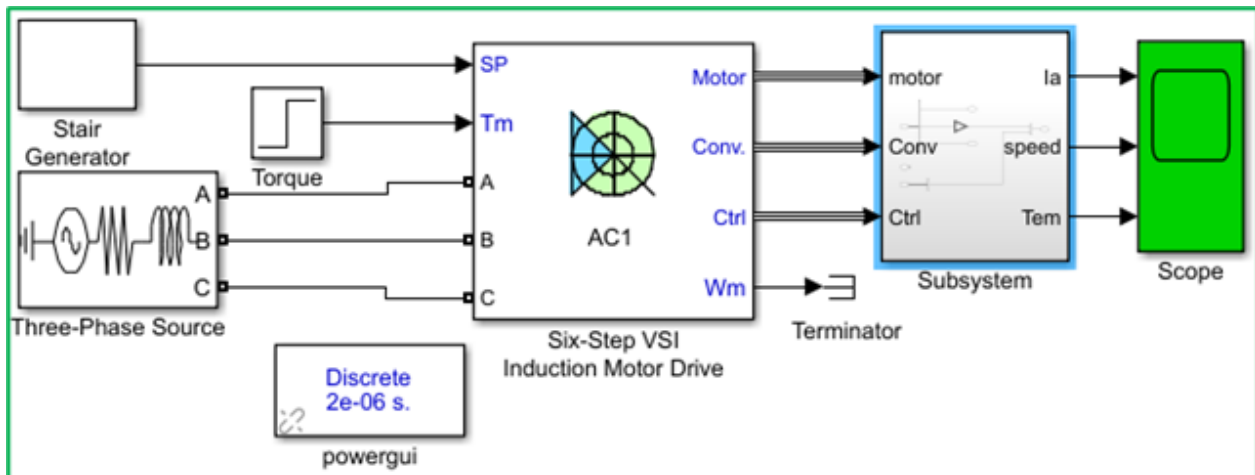


Рисунок 3.3 – Модель частотного пуску асинхронного двигуна

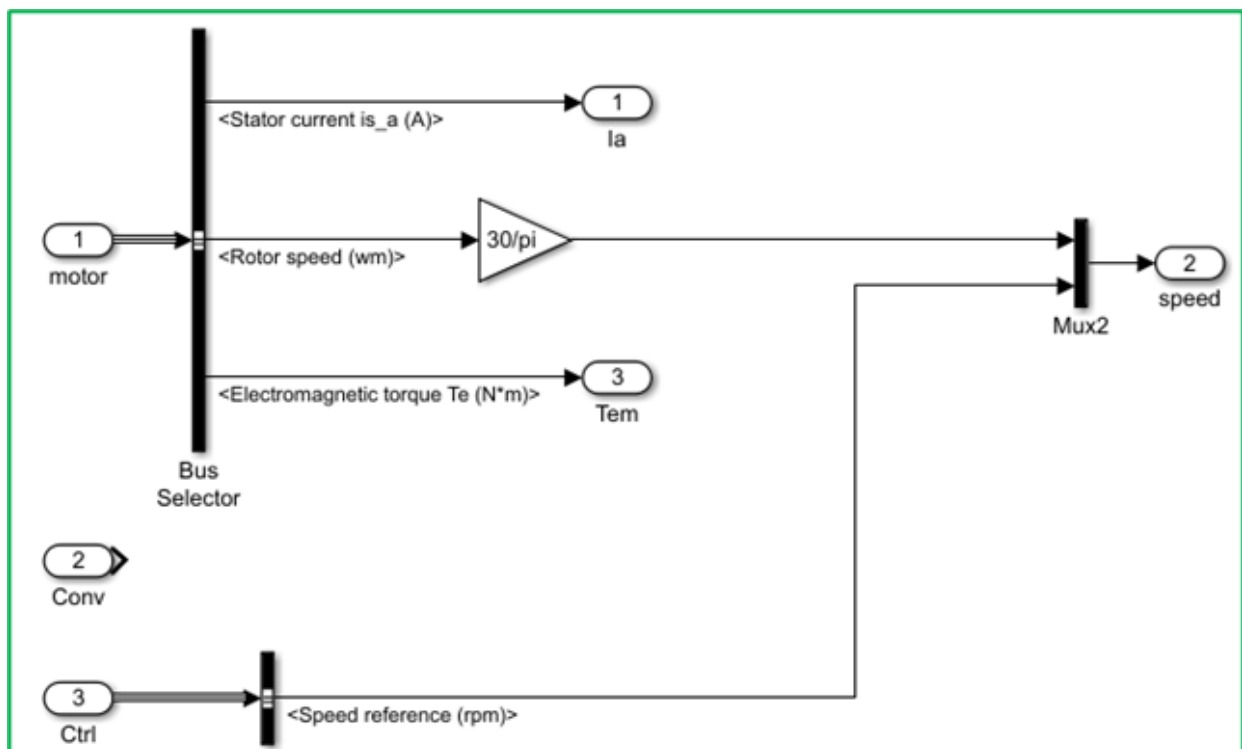


Рисунок 3.4 – Склад підсистеми *Subsystem*

Налаштування блоків моделі показано на рисунках 3.5 – 3.10.

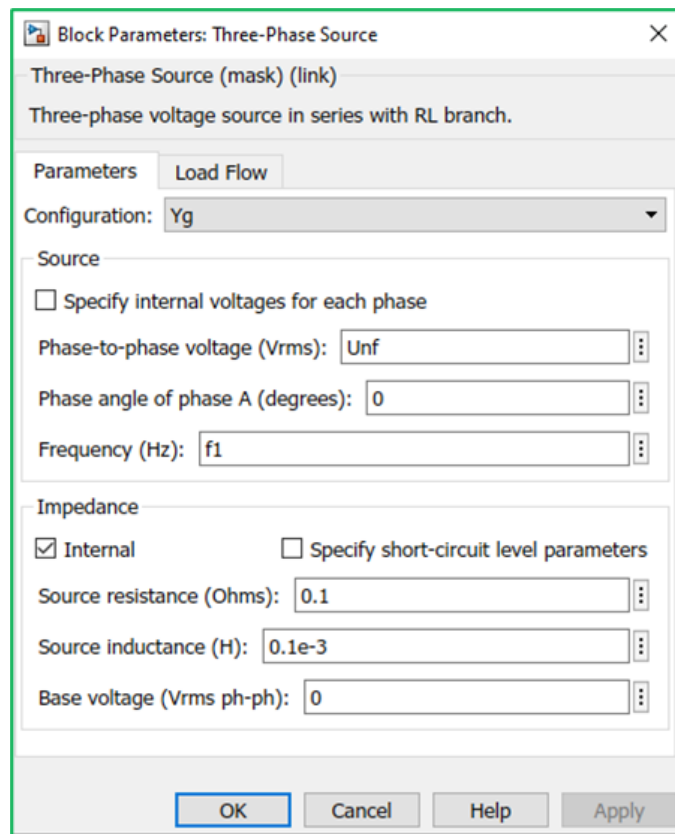


Рисунок 3.5 – Налаштування блоку *Three-Phase Source*

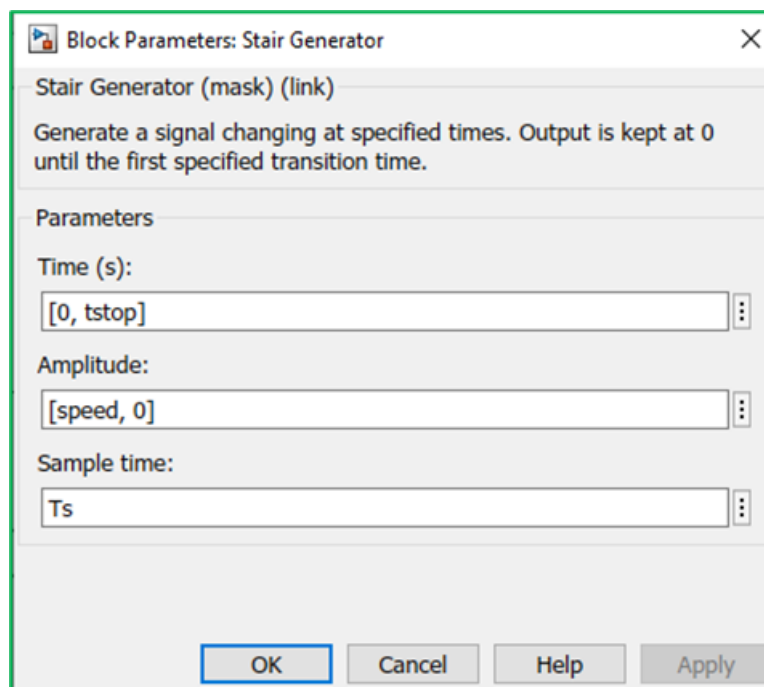


Рисунок 3.6 – Налаштування блоку *Stair Generator*

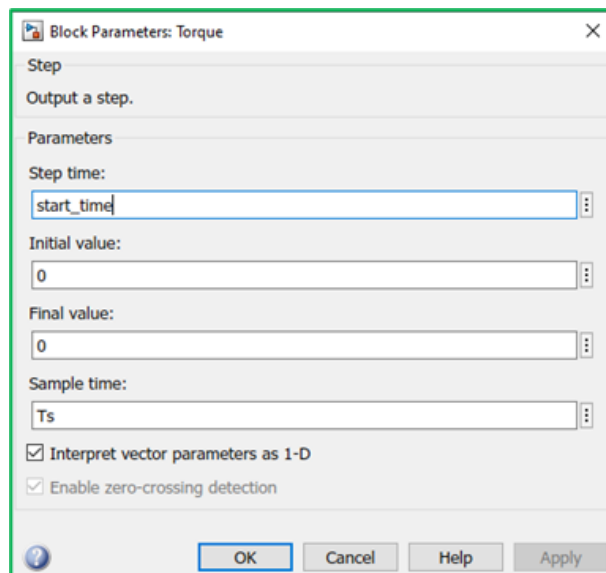


Рисунок 3.7 – Налаштування блоку *Torque*

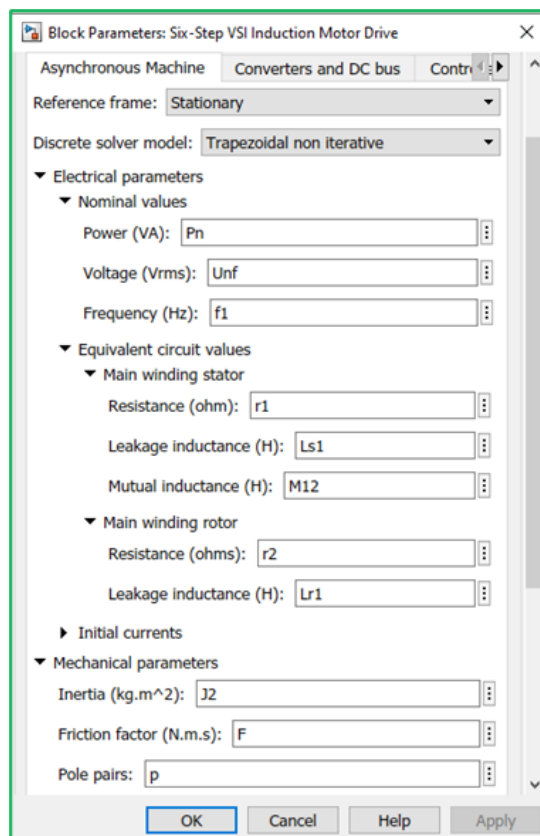


Рисунок 3.8 – Налаштування блоку *Six-Step VSI Induction Motor Drive*: вкладка *Asynchronous Machine*

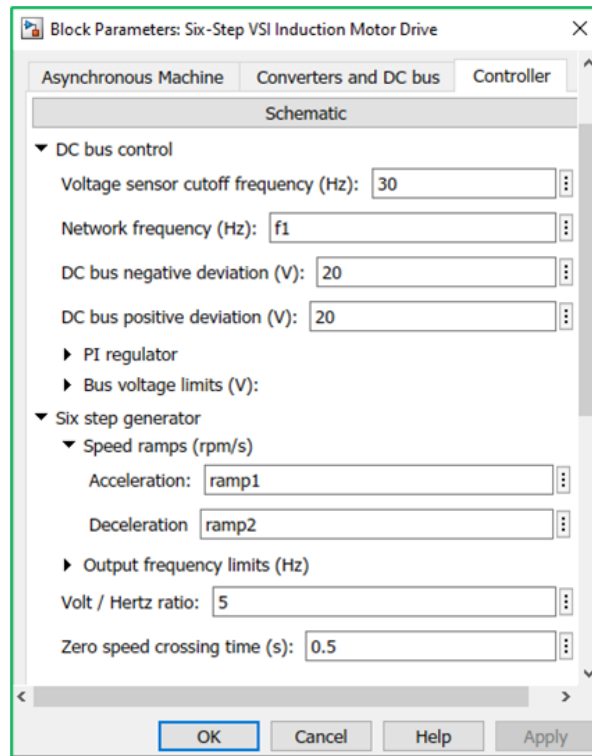


Рисунок 3.9 – Налаштування блоку *Six-Step VSI Induction Motor Drive*: вкладка *Controller*

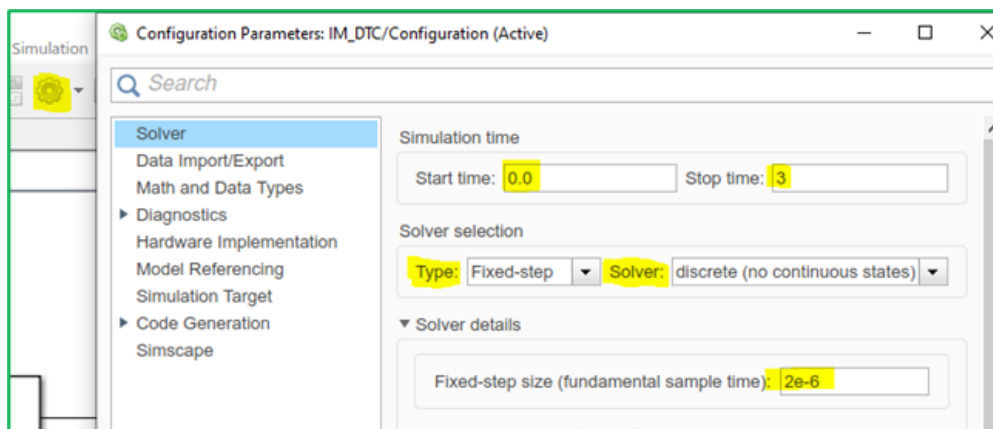


Рисунок 3.10 – Налаштування симуляції *Solver*

Зверніть увагу на значення *Stop time* (рис. 3.9) у налаштуваннях симуляції. Цей параметр повинен дорівнювати повному часу моделювання, який визначається за значеннями, вказаними у скрипті *Matlab* (див. рис. 3.1): $\text{start_time} + \text{work_time} + \text{stop_time}$.

Результатом моделювання є графіки залежності струму фази статора, частоти обертання (цільової та фактичної) та електромагнітного моменту від часу (рис. 3.11).

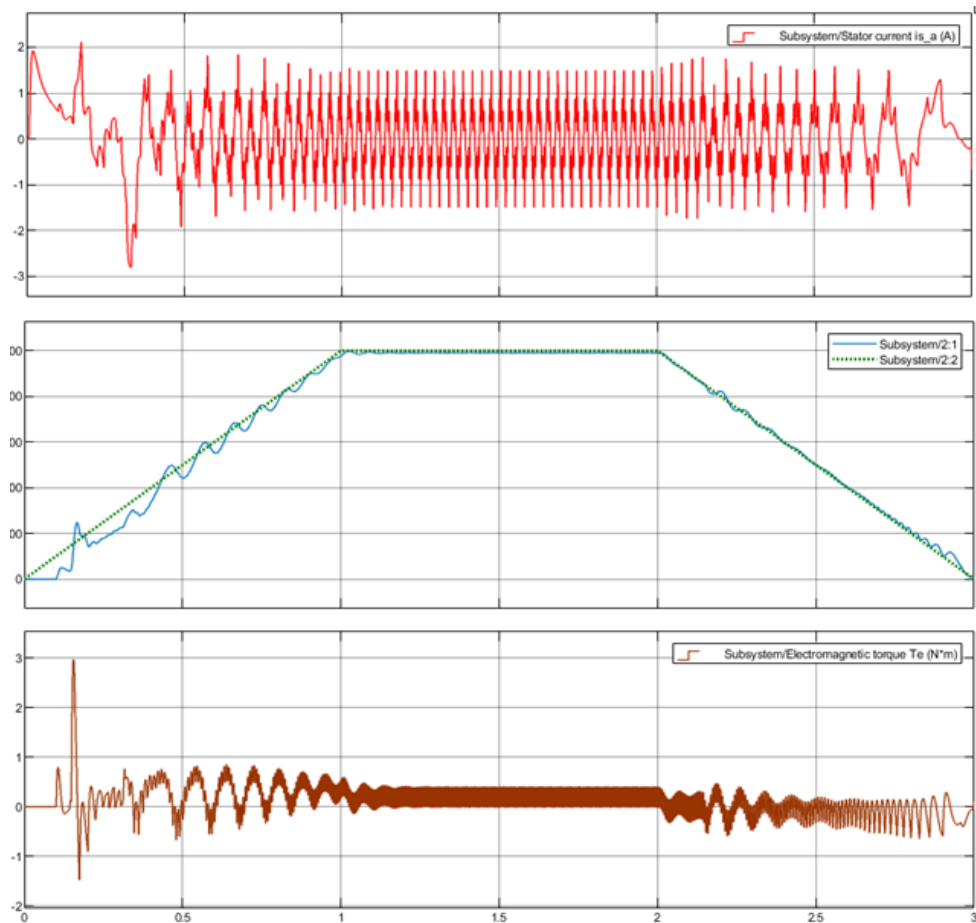


Рисунок 3.11– Приклад перехідних характеристик асинхронного двигуна в *Simulink* при управлінні від перетворювача частоти

Отримані залежності потрібно порівняти з тими, що зображені на рисунку 3.11. Вони повинні мати аналогічний вигляд.

4 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Звіт до лабораторної роботи повинен мати титульний аркуш (дод. А), основну частину та висновки (аналіз результатів, отриманих під час виконання лабораторних робіт).

До основної частини входять:

1. Тема роботи.
2. Мета роботи.
3. Таблиці з даними вимірювань та розрахунків за дослідями.
4. Рисунки з графіками характеристик, побудованих за дослідями.

Оформлення звіту з лабораторних робіт виконується в програмі *Microsoft Word* із такими вимогами до форматування документа:

- формат аркуша – А4, орієнтація – книжкова;
- поля зверху, знизу, зліва, справа – 20 мм;
- шрифт – Times New Roman, 14 пт;
- інтервал – 1,5;
- абзац, відступ зліва – 1,2 см;
- вирівнювання основного тексту – по ширині;
- нумерація сторінок – вгорі справа;
- найменування розділів, підрозділів та пунктів: шрифт – напівжирний,

крапка в кінці назви не ставиться;

- рисунки мають наскрізну нумерацію, орієнтація рисунка та його підпису – по центру;

- таблиці мають наскрізну нумерацію, найменування таблиці – з абзацу, вирівнювання – по ширині.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до лабораторних занять із навчальної дисципліни «Автоматизований електропривод». Частина 1 (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) [Електрон. ресурс] / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. Є. Плюгін, К. Я. Івакіна. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 63 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/65888/>, вільний (дата звернення: 30.10.2025). – Назва з екрана.
2. Перетворювачі частоти Altivar Machine ATV320 : каталог / Schneider Electric. – [Б. м.], 2017. – 47 с.
3. Altivar Machine ATV320. Перетворювачі з регулюванням швидкості для асинхронних та синхронних двигунів : керівництво з програмування / Schneider Electric. – [Б. м.], 2017. – 343 с.
4. Altivar Process. Перетворювачі частоти ATV930, ATV950, ATV960, ATV980 : керівництво з програмування / Schneider Electric. – [Б. м.], 2016. – 666 с.
5. Altivar Process. Variable Speed Drives ATV930, ATV950 : Installation Manual [Electronic resource] / Schneider Electric. – Electron text data. – 2016. – 143 p. – Regime of access: <https://www.se.com/us/en/download/document/NHA80932/>, free (date of the application: 10.04.2025). – Header from the screen.
6. Modicon M241 Logic Controller : Hardware Guide [Electronic resource] / Schneider Electric. – Electron text data. – 2018. – 249 p. – Regime of access: <https://www.se.com/in/en/download/document/EIO0000001456/>, free (date of the application: 10.05.2025). – Header from the screen.

7. Modicon M241 Logic Controller : Programming Guide [Electronic resource] / Schneider Electric. – Electron text data. – 2018. – 286 p. – Regime of access: <https://www.se.com/ua/uk/download/document/EIO0000001432//>, free (date of the application: 15.05.2025). – Header from the screen.

8. Material Handling – Conveying M241 Project Template : Sustem User Guide [Electronic resource] / Schneider Electric. – Electron text data. – 2014. – 44 p. – Regime of access: <https://www.se.com/ca/en/download/document/EIO0000001985/>, free (date of the application: 15.05.2025). – Header from the screen.

9. Harmony STO and STU. Compact color HMI panels from 3.5" to 5.7" screen : catalog / Schneider Electric. – [S. l.], 2021. – 17 p.

10. SoMachine : Programming Guide [Electronic resource] / Schneider Electric. – Electron text data. – 2016. – 891 c. – Regime of access: <https://www.se.com/us/en/download/document/EIO0000000067/>, free (date of the application: 15.05.2025). – Header from the screen.

11. SoMachine – Industrial Ethernet : User Guide [Electronic resource] / Schneider Electric. – Electron text data. – 2017. – 204 p. – Regime of access: <https://www.se.com/us/en/download/document/EIO0000002215/>, free (date of the application: 15.05.2025). – Header from the screen.

12. Vijeo Designer Tutorial [Electronic resource] / Schneider Electric. – Electron text data. – 2014. – 70 p. – Regime of access: <https://www.scribd.com/document/101039722/Vijeo-Designer/>, free (date of the application: 15.05.2025). – Header from the screen.

13. Лазарєв Ю. Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab : навч. посіб. / Ю. Ф. Лазарєв. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 421 с.

ДОДАТОК А

Зразок оформлення титульного аркуша

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

Кафедра систем електропостачання та електроспоживання міст

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № ____

з дисципліни «Автоматизований електропривод»

Виконав:

**Здобувач (-ка) групи (шифр групи)
ПІБ**

Перевірив:

канд. техн. наук, доц. Івакіна К. Я.

Харків 20__

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення лабораторних занять
із навчальної дисципліни

«АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД»

Частина II

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та
заочної форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ПЛЮГІН** Владислав Євгенович.
ІВАКІНА Катерина Яківна

Відповідальний за випуск *В. Є. Плюгін*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *К. Я. Івакіна*

План 2024, поз. 266М

Підп. до друку 30.10.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 4,2.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.