

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



**ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ  
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

У 3 частинах

Частина 1

**ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ БАТАРЕЇ**

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2026

УДК 629.349-838:621.355:621.317

E50

*Рекомендовано вченою радою НТУ «Дніпровська політехніка»  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
спеціальностей G3 Електрична інженерія та J8 Автомобільний  
транспорт  
(протокол № 14 від 23.04.2026)*

Рецензенти:

В.С. Федорейко, д-р техн. наук, проф. (Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка);

Л.І. Мазуренко, д-р техн. наук, проф. (Інститут електродинаміки НАН України).

Автори: О.С. Бешта, О.О. Бешта, С.С. Худолій, Т.О. Халаїмов.

**Електричне** обладнання електромобілів. Лабораторний практикум : навч. посіб. У 3 ч. Ч. 1. Вимірювання параметрів високовольтної батареї / О.С. Бешта, О.О. Бешта, С.С. Худолій, Т.О. Халаїмов ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2026. – 114 с.

Зміст посібника відповідає програмі навчальної дисципліни «Управління енергією та оптимізація руху електромобіля», його підготовлено на базі освітнього курсу компанії Lucas-Nuelle та з погляду на можливість використання лабораторного стенда UniTrain.

Подано характеристику електричного обладнання і систем електропривода електромобілів, а також висвітлено практичні аспекти діагностування та виявлення несправностей, у таких системах.

Розраховано на здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей G3 Електрична інженерія та J8 Автомобільний транспорт.

**УДК 629.349-838:621.355:621.317**

© О.С. Бешта, О.О. Бешта,  
С.С. Худолій, Т.О. Халаїмов, 2026.

©НТУ «Дніпровська політехніка», 2026

## Зміст

Список умовних позначень .....	6
Передмова.....	8
Вступ.....	9
1. Опис стенда Lucas-Nuelle .....	10
1.1. БУДОВА СТЕНДА LUCAS-NUELLE .....	10
1.2. МОДУЛЬ «HV БАТАРЕЯ ІЗ СИСТЕМНИМИ РЕЛЕ» .....	13
1.3. МОДУЛЬ «ТРИФАЗНИЙ ІНВЕРТОР» .....	16
1.4. МОДУЛЬ «ДВИГУН».....	18
2. Інтерфейс користувача LN LabSoft .....	22
2.1. РЕЄСТРАЦІЯ АКАУНТУ КОРИСТУВАЧА .....	22
2.2. ВІРТУАЛЬНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ.....	25
2.2.1. Віртуальний вольтметр .....	26
2.2.2. Віртуальний амперметр.....	28
2.2.3. Віртуальний осцилограф.....	30
3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію.....	35
3.1. ТЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....	35
3.2. МЕТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....	35
3.3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	35
3.3.1. Частина № 1. Запуск системи .....	37
3.3.2. Частина № 2. Запуск електродвигуна.....	38
3.4. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ .....	41
3.5. ФОРМУВАННЯ ЗВІТУ .....	42

3.5.1. Вимоги до оформлення звіту .....	42
4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї .....	44
4.1. ТЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....	44
4.2. МЕТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....	44
4.3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	45
4.3.1. Будова електропривода різних видів електричних транспортних засобів .....	45
4.3.2. Високовольтна акумуляторна батарея .....	50
4.3.3. Функції акумуляторних батарей .....	50
4.3.4. Літій-іонна технологія побудови акумуляторних батарей .....	53
4.3.5. Акумуляторні батареї типу Lithium-ion .....	54
4.3.6. Акумуляторні батареї типу Lithium-iron .....	55
4.3.7. Типові рівні напруги акумуляторних батарей .....	56
4.3.8. З'єднання комірок акумуляторної батареї .....	58
4.3.9. Механізм ізоляції високої напруги .....	61
4.3.10. Попереджувальні знаки та протоколи вимірювання .....	63
4.3.11. Ізоляційне обладнання. Захисні рукавички .....	66
4.3.12. Вимірювальне обладнання. Двополюсний тестер напруги .....	71
4.4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ .....	74
4.4.1. Частина № 1. Вимірювання параметрів високовольтної акумуляторної батареї .....	74
4.4.2. Частина № 2. Ізоляція/відключення напруги .....	82
4.4.3. Частина № 3. Вимірювання й механізми ізоляції високої напруги .....	98

4.5. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ .....	105
4.6. ФОРМУВАННЯ ЗВІТУ .....	107
4.6.1. Вимоги до оформлення звіту .....	107
Глосарій .....	109
Список використаних джерел .....	115

## Список умовних позначень

HV – висока напруга (High voltage)

DC – постійний струм (Direct current)

AC – змінний струм (Alternating current)

LN – назва компанії виробника Lucas-Nuelle

LS – назва комплектного програмного забезпечення LN LabSoft

ПЗ – програмне забезпечення

PC – персональний комп'ютер (Personal computer)

s – секунди (seconds)

EDCV – назва освітнього курсу компанії Lucas-Nuelle «Electric drive in cars, commercial vehicles and two-wheelers» («Електропривод у легкових і комерційних автомобілях та двоколісних транспортних засобах»)

DM – тяговий двигун (drive motor)

PCB – друкована плата (Printed Circuit Board)

MOS-FET – Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (транзистор)

HV – гібридні транспортні засоби (hybrid vehicles)

EV – електромобілі (electric vehicles)

Li-ion – літій-іонні акумуляторні батареї (lithium-ion batteries)

NiMH – нікель-метал-гідридні акумуляторні батареї (nickel-metal hydride batteries)

LiFePO<sub>4</sub> – літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї (lithium iron phosphate batteries)

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння (IC – internal combustion engines)

## Список умовних позначень

Li-iron – літій-залізні акумуляторні батареї

EMVs – електромоторні транспортні засоби. Ті, що використовують електродвигун як основне або допоміжне джерело руху (Electric Motor Vehicles)

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту (Personal Protective Equipment)

СТО – станція технічного обслуговування

ТМ – тяговий двигун (traction motor)

BMS – система керування енергією (Battery Management System)

SMR – головні системні реле (System main relays)

IGBT – ізольований транзистор з біполярним затвором (Insulated Gate Bipolar Transistor)

PMSM – синхронний двигун з постійними магнітами (Permanent Magnet Synchronous Motor)

SPM – ротор із зовнішнім розташуванням магнітів (Surface Permanent Magnets)

IPM – ротор із внутрішнім розташуванням магнітів (Interior Permanent Magnets)

RPM – оберти за хвилину (Revolutions Per Minute)

## Передмова

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій електричний привід в автомобілях та комерційних транспортних засобах стає важливою складовою інноваційного прогресу транспортної галузі.

Освітній курс UniTrain «Electric Drive in Cars, Commercial Vehicles and Two-Wheelers» («Електропривод у легкових і комерційних автомобілях та двоколісних транспортних засобах»), розроблений компанією Lucas Nuelle, було створено з метою забезпечення якісного навчання та глибокого розуміння будови електропривода сучасних електричних і гібридних транспортних засобів, а також розгляду питань діагностики та виявлення несправностей у системі електропривода.

Матеріал посібника адаптовано до змісту зазначеного курсу з метою використання в освітньо-професійних програмах «Електромобільність та енергетична інфраструктура» та «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» підготовки здобувачів спеціальності G3 «Електрична інженерія» НТУ «Дніпровська політехніка» та J8 Автомобільний транспорт.

Посібник подає теоретичні відомості, які доповнюються виконанням практичних завдань на лабораторному стенді компанії Lucas-Nuelle, що дозволяє студентам глибше зрозуміти й застосувати набуті навички в умовах, наближених до реальних.

Посібник є першою із трьох частин видання, у якому здобувачі вивчають будову лабораторного стенду і набувають навичок вимірювання параметрів високовольтної батареї.

## Вступ

Посібник створено на базі матеріалів освітнього курсу UniTrain «Electric drive in cars, commercial vehicles and two-wheelers» («Електропривод у легкових і комерційних автомобілях та двоколісних транспортних засобах») компанії Lucas-Nuelle [1].

У посібнику розглянуто й практично закріплено такі питання:

- будова стенда компанії Lucas-Nuelle та його складових частини;
- інтерфейс користувача програмного забезпечення Lucas-Nuelle LabSoft і робота з віртуальними вимірювальними приладами;
- уведення стенда Lucas-Nuelle Training Systems в експлуатацію;
- призначення, будова та функції високовольтної акумуляторної батареї електричних і гібридних транспортних засобів;
- матеріал для виконання лабораторних робіт з вимірювання параметрів високовольтної акумуляторної батареї, перевірки ізоляції та відключення батареї.

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

### 1.1. Будова стенда Lucas-Nuelle

Стенд UniTrain для курсу "Electric drive in cars, commercial vehicles and two-wheelers" (EDCV) (Рис. 2.1) складається з таких основних компонентів:

1. Електродвигун: основний компонент для демонстрації принципів роботи електропривода.
2. Інвертор: пристрій для перетворення постійного струму на змінний, необхідний для живлення електродвигуна.
3. Високовольтна батарея (HV): блок живлення з великою кількістю функцій безпеки й системою захисту, що забезпечує безпечну роботу з високовольтними системами.
4. Система DC/AC перетворення: для перетворення постійного струму на змінний і навпаки.
5. DC/DC конвертери: знижуючий (buck) і підвищуючий (boost) конвертери для регулювання напруги.
6. Система регенеративного (рекуперативного) гальмування: для вивчення процесів рекуперації енергії.

Цей стенд дозволяє безпечно навчатися роботі з HV приводами, виконувати практичні завдання й діагностичні вправи із симуляцією несправностей з метою отримання практичних знань і діагностичних навичок.

Складові частини стенда, а також список необхідного обладнання для проведення лабораторних робіт наведені в Таблиці 2.1.

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд стенда Lucas-Nuelle

Таблиця 2.1. Перелік необхідного обладнання для проведення лабораторних робіт

№	Зображення	Артикул елемента	Пояснення
1		CO4203-2A	Інтерфейс «UniTrain» [2]
2		CO4203-2B	Експериментатор «UniTrain» [3]
3		CO4203-7D	Модуль «UniTrain» "HV батарея із системними реле" [4]

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

Продовження таблиці 2.1.

№	Зображення	Артикул елемента	Пояснення
4		SO4203-4A	Модуль «UniTrain» "Трифазний інвертор"
5		SO4204-7T	Модуль «UniTrain» "Двигун" трифазні електричні машини
6		CO4203-2J	Вимірювальне приладдя «UniTrain» [5]
7		421218147	Маховик
8		CO4203-2G	Стробоскоп
9		LM8570	Захисні діелектричні рукавиці [6]

Продовження таблиці 2.1.

№	Зображення	Артикул елемента	Пояснення
10		LM8302	Двополюсний тестер напруги [7]
11		LM2330	Мультиметр «Multi 13S» [8]

## 1.2. Модуль «HV батарея із системними реле»

Модуль «HV батарея із системними реле» складається з компонентів, що необхідні для генерації напруги ланки постійного струму. Модуль поділений на дві частини: джерело напруги та типові комутаційні елементи, що використовуються у HV системах електричних транспортних засобів (Рис. 2.2). Основні характеристики модуля зведені в Таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Технічні характеристики модуля «HV батареї із системними реле»

Максимальна вхідна напруга	2 × 15 В
Максимальна вихідна напруга	30 В
Максимальний вихідний струм	1 А
Розміри	160 × 100 мм (ширина × висота)

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

Модуль «HV батарея із системними реле» складається з наступних компонентів, що наведені в Таблиці 2.3. Номер компонента в таблиці відповідає номеру компонента на модулі Рис. 2.3.

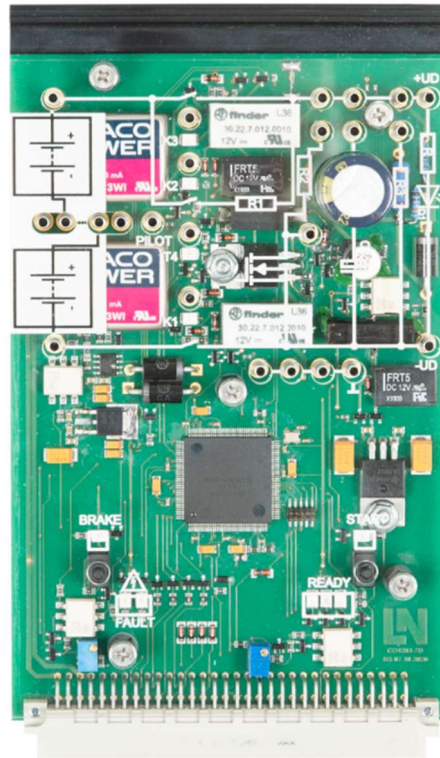


Рис. 2.2. Зовнішній вигляд модуля «HV батарея із системними реле»

Таблиця 2.3. Перелік компонентів «HV батарея із системними реле»

Номер	Назва компонента
1	Два акумуляторні модулі (2 × 15 В DC/DC конвертер)
2	Розумне системне реле (Попереднього заряджання (pre-charge), головне системне реле (main relay) (позитивне (positive relay) й негативне (negative relay))
3	Механізм ізоляції HV батареї із пристроєм контролю
4	Накопичувальний конденсатор (із можливістю під'єднання)

Номер	Назва компонента
5	Активні й пасивні розрядні пристрої
6	Кнопки керування «BRAKE» (Гальмування) та «START» (Пуск)
7	12 світлодіодних індикаторів
8	Мікроконтролер для керування послідовністю процесів, самодіагностики та активації симуляції несправностей
9	Штекерний (Plug-in) контакт для лінії блокування/керування
10	Двокомпонентний сервісно-роз'єднувальний штекер
11	Комутатор несправностей
12	Точки вимірювання вхідної напруги
13	Точки вимірювання напруги керування
14	Точки вимірювання бортового блока живлення
15	Під'єднуване (Connectable) ємнісне бортове навантаження
16	Під'єднуване (Connectable) активне (резистивне) бортове навантаження
17	Світлодіодний індикатор бортової напруги
18	Світлодіоди дисплея для індикації станів кнопок і роботи реле
19	Світлодіоди дисплея для відображення несправностей і станів готовності до роботи

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

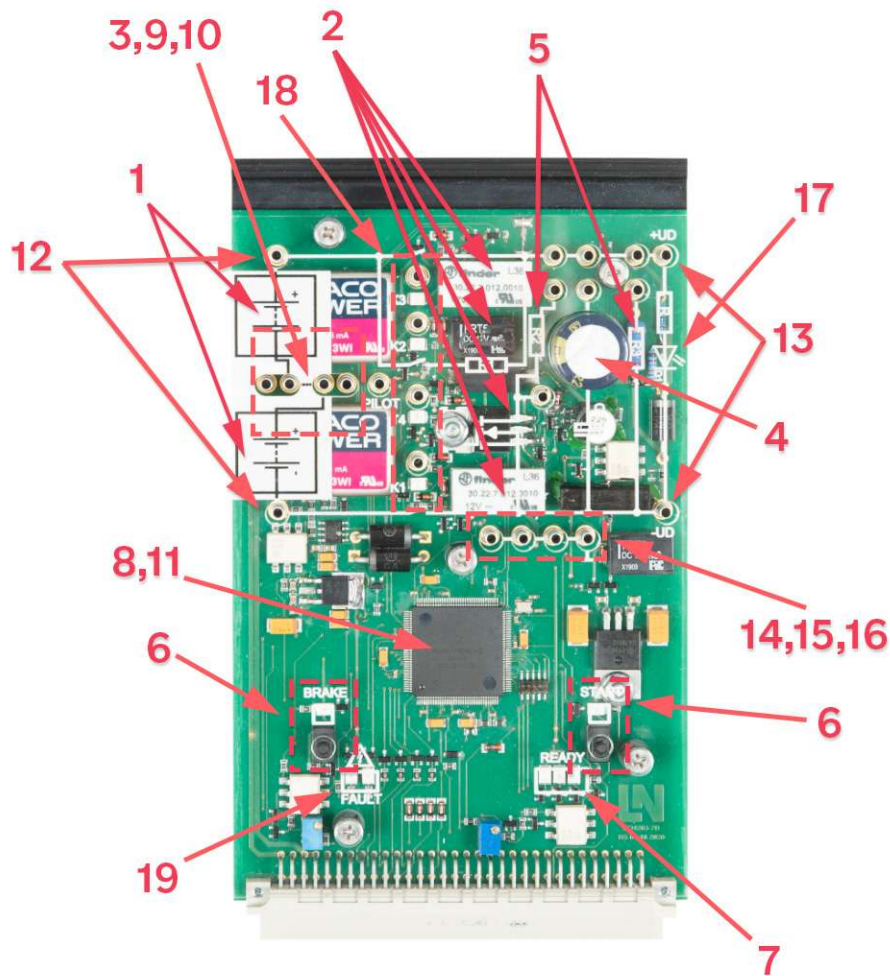


Рис. 2.3. Компоненти модуля «HV батарея із системними реле»

### 1.3. Модуль «Трифазний інвертор»

Модуль "Трифазний інвертор" (Рис. 2.4) поєднує в собі керуючу електроніку й комутаційні транзистори для перетворення постійного струму (DC) у змінний (AC). Основні технічні характеристики модуля зведені в Таблицю 2.4.

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

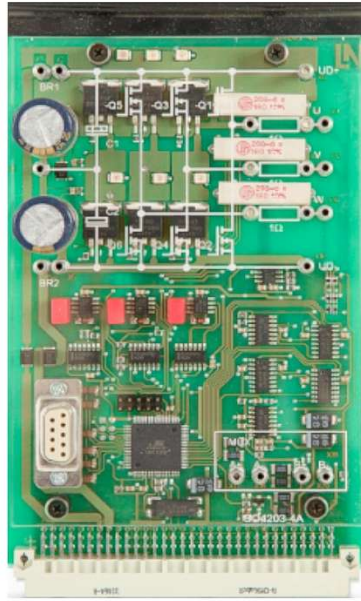


Рис. 2.4. Зовнішній вигляд модуля «Трифазний інвертор»

Таблиця 2.4. Технічні характеристики модуля "Трифазний інвертор"

Максимальна напруга ланки постійного струму	48 В
Максимальний вихідний струм	1 А
Частоти ШІМ	244 Гц; 900 Гц; 7,8 кГц

Перелік основних компонентів модуля «Трифазний інвертор» наведений у Таблиці 2.5. Номер компонента в таблиці відповідає номеру компонента на модулі Рис. 2.5.

Таблиця 2.5. Перелік компонентів «Трифазний інвертор»

1	Сучасний мікроконтролер для керування силовими напівпровідниками
2	Схема ланки постійного струму з 6 MOS-FET транзисторами
3	Мультиплексор для одночасного вимірювання струму й напруги

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

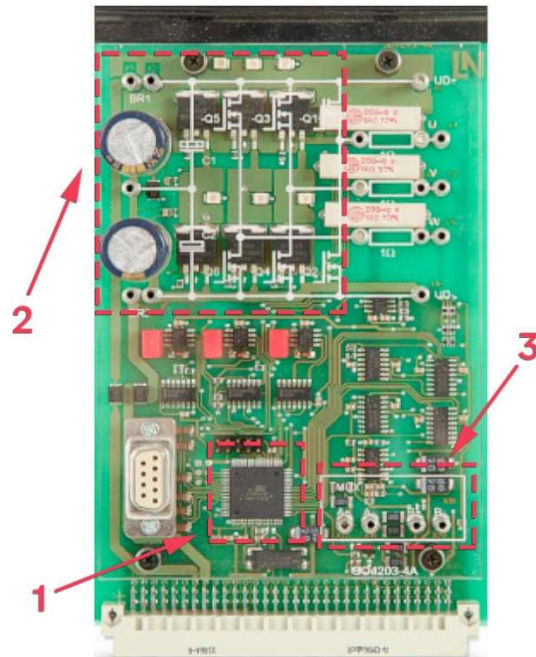


Рис. 2.5. Компоненти модуля «Трифазний інвертор»

### 1.4. Модуль «Двигун»

Модуль «Двигун» (Рис. 2.6) містить повнофункціональну трифазну електричну машину, що виготовлена у відкритому виконанні й оснащена трьома змінними роторами. Основні технічні характеристики модуля «Двигун» зведені до Таблиці 2.6.

Застереження. Двигун, незалежно від установленого ротора, завжди працює за схемою «зірка». Дозволяється лише один експеримент за схемою "трикутник" протягом короткого проміжку часу.

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle



Рис. 2.6. Зовнішній вигляд модуля «Двигун»

Таблиця 2.6. Технічні характеристики модуля «Двигун»

Технічні характеристики:	
Статор	Двополюсний
Опір обмотки (20 °C)	20 $\Omega$
Номінальна напруга живлення трикутник/зірка	3 $\times$ 12/21 В
Номінальна частота	50 Гц
Номінальний струм трикутник/зірка	3 $\times$ 0,73/0,42 А
cos $\phi$	0,8
Розміри	160 $\times$ 100 мм (В $\times$ Ш)
Конденсатори	100 мкФ
Датчик температури	КТУ84-150
Максимальна швидкість (короткочасно)	3000 (4500) об/хв

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

Застереження. Експериментальний модуль а «Двигун» призначений тільки для роботи з безпечною наднизькою напругою. Її можна використовувати тільки із системою UniTrain.

У разі використання з іншими джерелами живлення існує небезпека для життя й обладнання.

Електрична принципова схема навчального стенда Lucas-Nuelle (LN) зображена на Рис. 2.7.

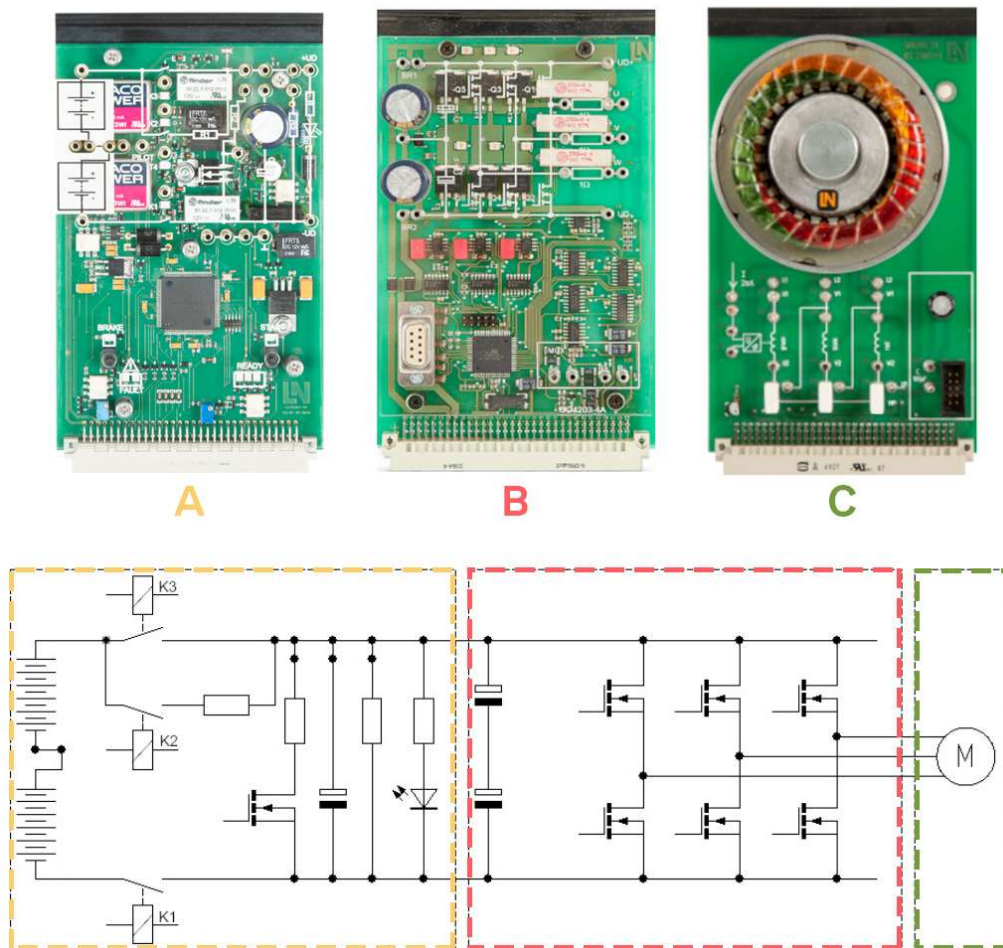


Рис. 2.7. Електрична принципова схема навчального стенда LN: А – модуль «HV батарея із системними реле»; В – модуль «Трифазний інвертор»; С – модуль «Двигун»

## 1. Опис стенда Lucas-Nuelle

Система навчального стенда LN повністю відповідає структурі електропривода силової частини (Powertrain) реального електромобіля. Відповідність реальним компонентам можна побачити на Рис. 2.8.

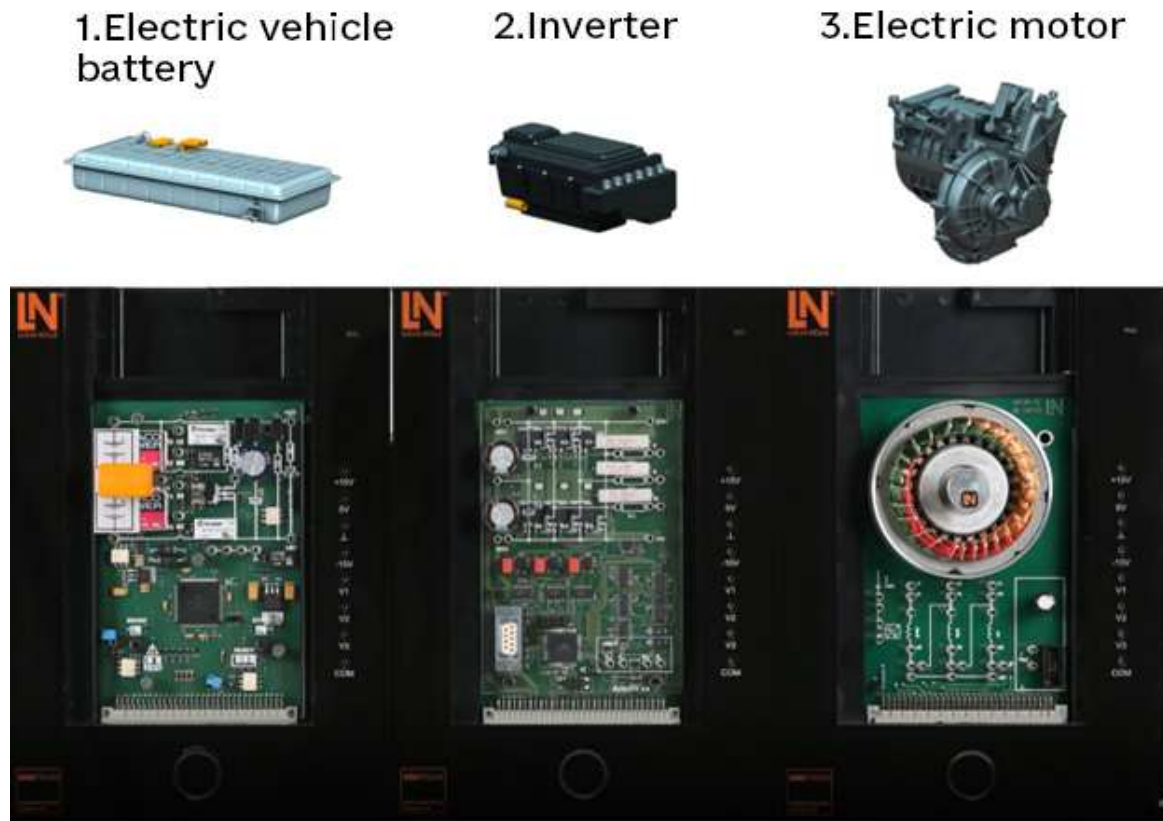


Рис. 2.8. Основні елементи системи електропривода легкового електромобіля в навчальному стенді: 1 – акумуляторна батарея електромобіля (electric vehicle battery); 2 – інвертор (Inverter); 3 – електродвигун (Electric motor)

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

### 2.1. Реєстрація акаунту користувача

Виконання лабораторних робіт здійснюється засобами програмного забезпечення (ПЗ) LN LabSoft (LS). Дане ПЗ являє собою середовище, що поєднує методичні вказівки та віртуальні вимірювальні прилади з елементами керування стендом.

Перш ніж почати роботу із середовищем LS за лабораторним стендом, необхідно створити один загальний акаунт для академічної групи. Для цього потрібно обрати пункт «**Create new account**» (Рис. 3.1) та в поля «**Name**» і «**Password**» увести [«Номер академічної групи» + номер підгрупи] (Рис. 3.2). Після дублювання паролю в полі «**Repeat Password**» натиснути кнопку «**Register**».

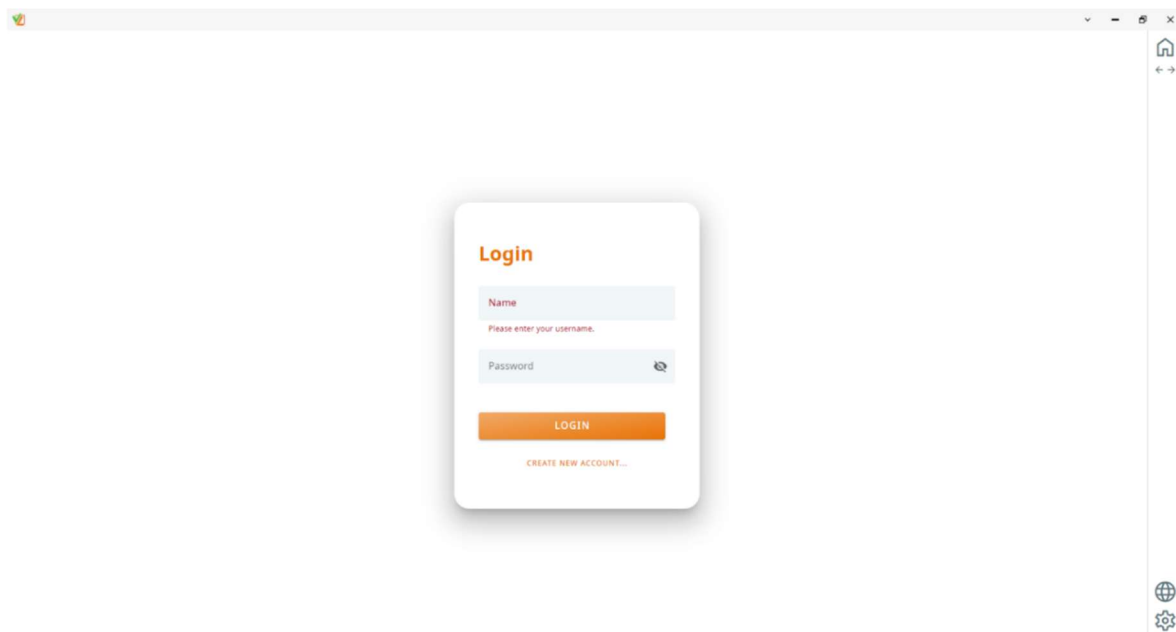


Рис. 3.1. Процес реєстрації в LN LabSof

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

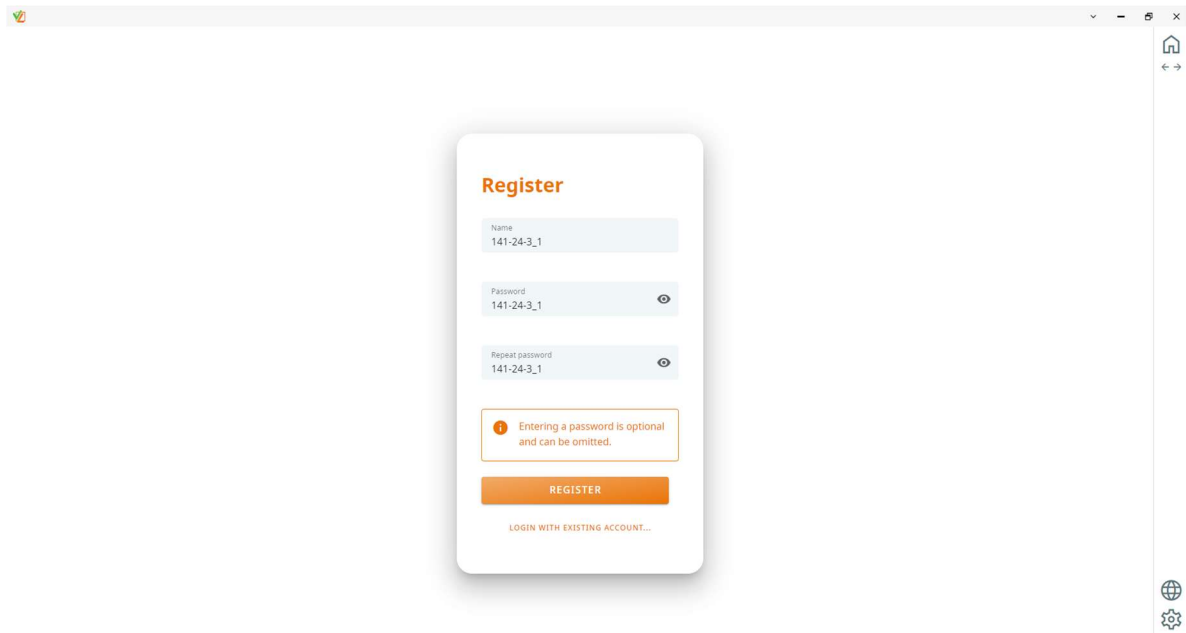


Рис. 3.2. Створення акаунту академічної групи в LN LabSof

Після успішного створення акаунту на вкладці «**Dashboard**» обрати курс «Automotive (UniTrain/EloTrain)».

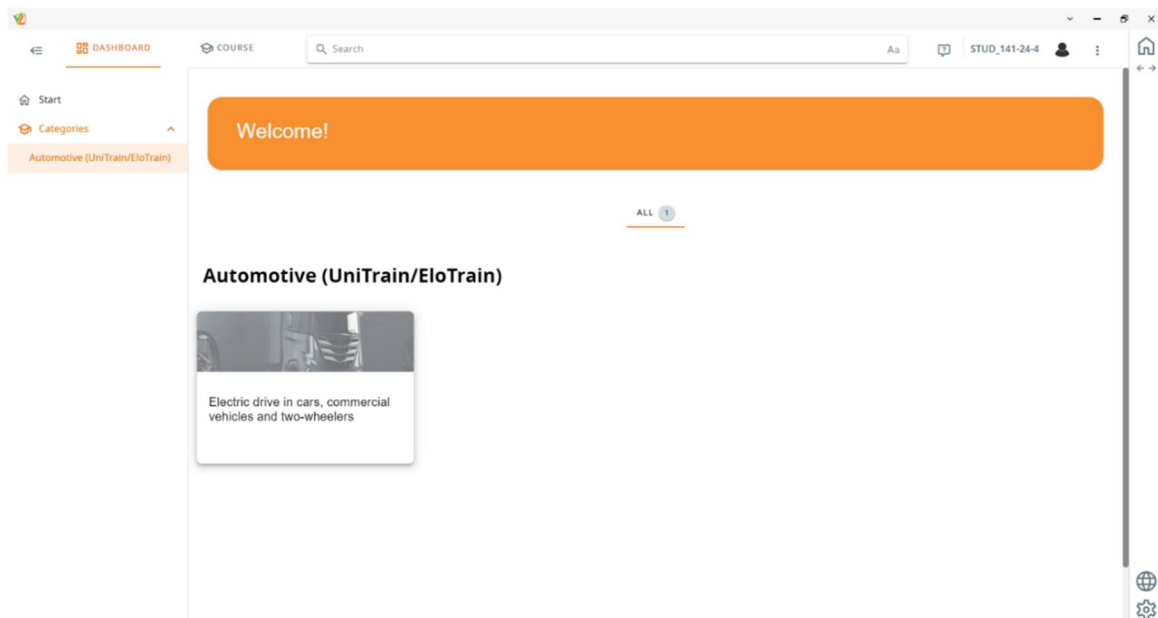


Рис. 3.3. Вибір курсу в LS

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

Після вибору курсу користувача зустрічає навчальне середовище LS (Рис. 3.4), що поєднує методичні вказівки, які поділені за розділами (Рис. 3.4, п.1) та інтерактивними елементами керування стендом з віртуальними вимірювальними приладами (Рис. 3.4, п.2). Для виконання кожної лабораторної роботи курсу необхідно обов'язково перейти до відповідного розділу курсу в LS, після чого користувачу стануть доступні віртуальні вимірювальні прилади, що необхідні для її виконання.

**Застереження.** Межі вимірювання кожного з каналів указані на корпусі Інтерфейсу «UniTrain» (Таблиця 2.1) над відповідними штекерами. Неналежне використання пристрою може призвести до його пошкодження.

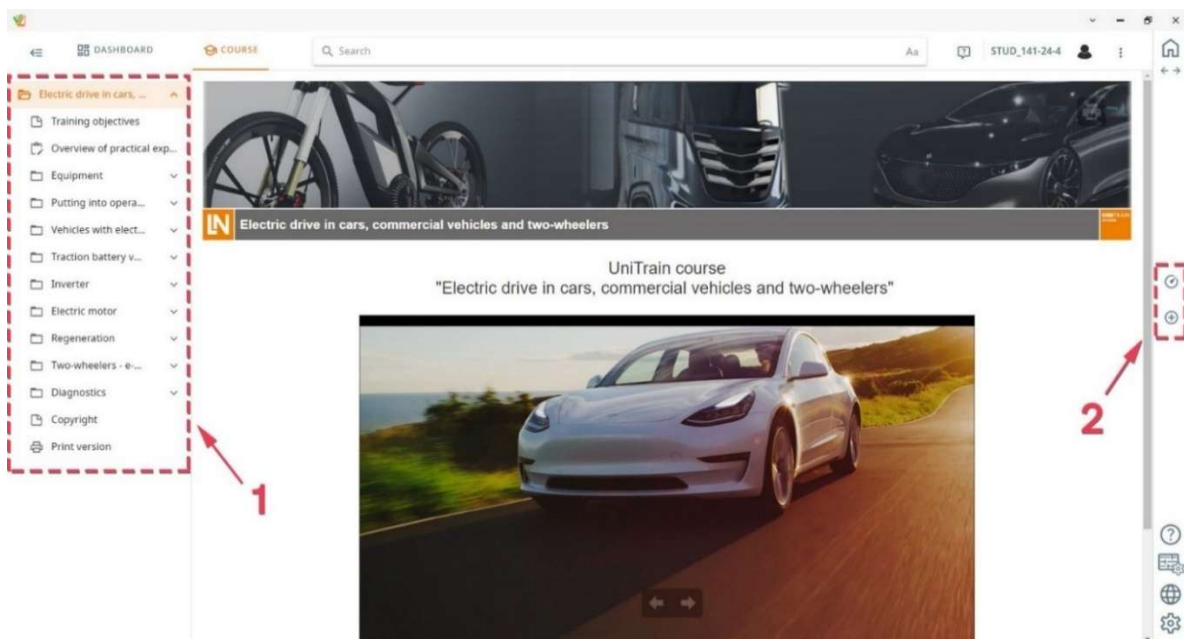


Рис. 3.4. Навчальне середовище L: 1 – Розділи курсу LS; 2 – меню віртуальних приладів

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

### 2.2. Віртуальні вимірювальні прилади

Усі основні вимірювання в курсі LS виконуються за допомогою інтегрованого вимірювального інтерфейсу. Виміряні величини відображаються на віртуальних приладах LS у режимі реального часу. Дані вимірювань передаються до персонального комп'ютера (PC) лабораторного стенда за допомогою USB-під'єднання. Альтернативним варіантом обміну даними зі стендом є Wi-Fi-з'єднання.

За допомогою каналів А, В, С і D можна вимірювати бажані параметри (струм, напруга) з відображенням результатів вимірювань на інтерфейсі відповідних віртуальних вольтметрів, амперметрів або осцилографа. Одночасно можна використовувати всі канали вимірювання струму або напруги. Одночасне вимірювання струму й напруги на одному каналі (наприклад А) – неможливе.

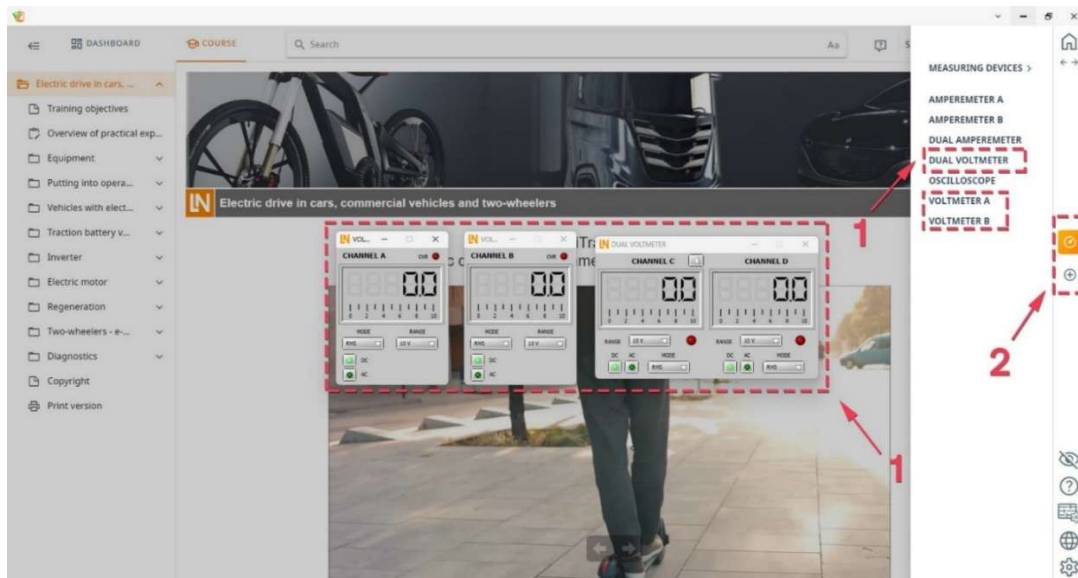


Рис. 3.5. Віртуальні вольтметри: 1 – пункти випадваючого меню й віртуальні прилади; 2 – меню віртуальних приладів

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

Будь ласка, зверніть увагу на інформацію щодо максимальної вхідної напруги, яку ви можете знайти над відповідними штекерами! Неналежне використання пристрою може призвести до його пошкодження.

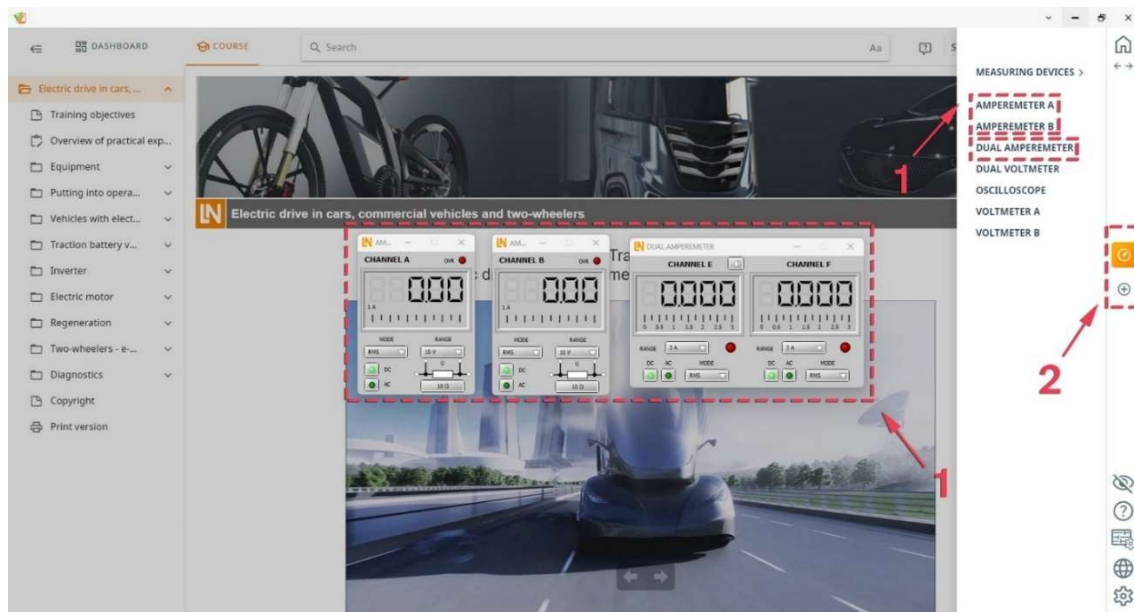


Рис. 3.6. Віртуальні амперметри: 1 – пункти випадального меню та інтерфейс віртуальних приладів; 2 – меню віртуальних приладів

### 2.2.1. Віртуальний вольтметр

Віртуальний вольтметр являє собою графічний інтерфейс реального, вбудованого в Інтерфейс «UniTrain» вольтметра. Навчальна система пропонує окремі вольтметри для каналів А і В або подвійний вольтметр каналів С і D (Рис. 3.5, п.1). Доступ до вольтметра можна отримати за допомогою відповідної панелі (Рис. 3.5, п.2). Для відкриття віртуального вольтметра необхідно обрати: VOLTMETER А, VOLTMETER В або DUAL VOLTMETER (Рис. 3.5, п1).

Віртуальний вольтметр (Рис. 3.7) має наступні налаштування:

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

1. Клавiші вибору постійної (DC) або змінної (AC) напруги.
2. Спливаючий список діапазону вимірювання напруги (100 mV – 50 V).
3. Спливаючий список вибору режиму вимірювання (AV, |AV|, P, PP, RMS) (Таблиця 3.1).



Рис. 3.7. Налаштування віртуального вольтметра «VOLTMETER A»

Таблиця 3.1. Режими вимірювання віртуальних вимірювальних приладів

Режим вимірювання	Принцип вимірювання
AV (Average Voltage/Current)	Середня напруга/струм – режим вимірювання, що визначає середнє значення змінної напруги або струму за певний період часу
AV  (Absolute Average Voltage/Current)	Абсолютне середнє значення напруги/струму – режим вимірювання, що визначає середнє значення абсолютних (модульованих) величин змінної напруги або струму, урахувавши тільки позитивні значення

Продовження таблиці 3.1.

Режим вимірювання	Принцип вимірювання
P (Peak Voltage/Current)	Пікова напруга/струм – режим вимірювання, що визначає максимальне значення змінної напруги або струму протягом одного циклу
PP (Peak-to-Peak Voltage/Current)	Пікова-пікова напруга/струм – режим вимірювання, що визначає різницю між максимальним (позитивним піком) і мінімальним (негативним піком) значеннями змінної напруги або струму протягом одного циклу
RMS (Root Mean Square Voltage/Current)	Дійсне значення напруги/струму – режим вимірювання, що визначає квадратичне середнє значення змінної напруги або струму, що є показником ефективної потужності сигналу

### 2.2.2. Віртуальний амперметр

Віртуальний амперметр являє собою графічний інтерфейс реального амперметра, що вбудований в Інтерфейс «UniTrain». Амперметри каналів А і В виконують вимірювання струму опосередковано, шляхом вимірювання падіння напруги на зовнішній шунтовій платі. Знаючи величину опору шунта й напругу, можна розрахувати струм, що протікає через шунт. Обравши відповідні параметр напруги (у межах від 100 mV до 50 V) у випадаючому списку «RANGE» (Рис. 3.8, п.а)) та ввівши значення опору шунта (у межах від 0  $\Omega$  до 1e+06  $\Omega$ ) у полі для вводу «Value of the used shunt in Ohm» вікна «Shunt» (Рис. 3.8, п.б)), що викликається кнопкою із символом  $\Omega$ , на екрані віртуального амперметра, отримаємо значення струму, що протікає в ланцюзі.

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

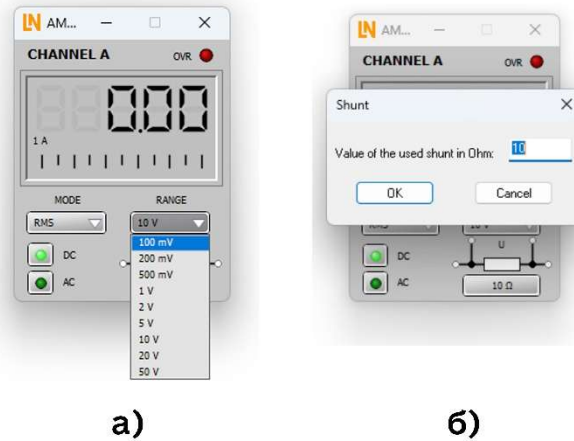


Рис. 3.8. Налаштування віртуального амперметра «AMPERMETER A, В»: а – вибір діапазону напруги; б – поле для вводу значення опору шунта

Вимірювання струму за допомогою каналів E та F (Рис. 3.9) подвійного амперметра виконується безпосередньо через входи CURRENT E+ та E-, а також CURRENT F+ та F-.

Віртуальний подвійний амперметр (Рис. 3.9) має наступні налаштування:

1. Клавiша вибору постійного (DC) або змінного (AC) струму.
2. Спливаючий список «Range» для вибору діапазону вимірювання струму (300 mA або 3 A).
3. Спливаючий список вибору режиму вимірювання (AV, |AV|, P, PP, RMS) (Таблиця 3.1).

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

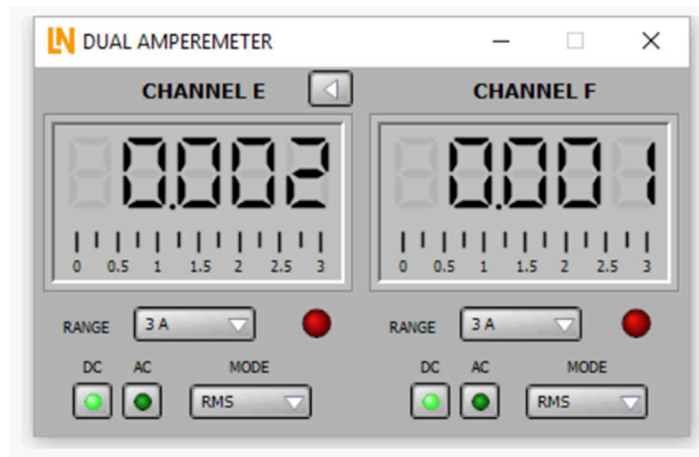


Рис. 3.9. Налаштування подвійного амперметра DUAL AMPEREMETER (канали E та F)

### 2.2.3. Віртуальний осцилограф

Віртуальний осцилограф являє собою графічний інтерфейс вбудованого в Інтерфейс «UniTrain» 2-х або 4-х каналного (на вибір) осцилографа з можливістю збереження результатів вимірювання (у залежності від налаштувань).

Для виклику осцилографа необхідно обрати «OSCILLOSCOPE» в меню віртуальних приладів (Рис. 3.10, п.6).

Віртуальний осцилограф «OSCILLOSCOPE» (Рис. 3.10) має наступні налаштування:

1. Налаштування часу (TIME/DIV) (Рис. 3.10, п.1). Налаштування, яке визначає тривалість часу, що припадає на один поділ горизонтальної шкали осцилографа. Дозволяє обрати масштаб часу для відображення сигналу. Має діапазон від 100 ns до 10 s (секунди). Завжди однакове для всіх вимірювань і встановлюється лише один раз.
2. Панель вибору налаштувань конкретного каналу Рис. 3.10, п.2.

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

3. Налаштування діапазону вимірювання для напруги (VOLTS/DIV) (Рис. 3.10 п.3, п.7) для кожного каналу осцилографа. Визначає величину напруги, що відповідає одному вертикальному поділу шкали. Це налаштування дозволяє масштабувати амплітуду сигналу, забезпечуючи оптимальне відображення його на екрані осцилографа.
4. Перемикачі «ON» слугують для увімкнення та вимкнення обраного каналу (Рис. 3.10 п.3). Кнопка «INV» інвертує сигнал. Кнопка «GND» з'єднує обраний сигнал із землею (або заземлює). Кнопка Y-POS дозволяє виконати зміщення сигналу відносно осі Y (вгору/вниз) в осцилографі.
5. Тригер (Рис. 3.10, п.5) можна застосовувати лише до одного з 4-х каналів. Функція «TRIGGER» забезпечує синхронізацію захоплення сигналу з певною подією або рівнем напруги, що дозволить отримати стабільне й нерухоме зображення повторюваного сигналу для точного аналізу. Коли тригер увімкнено, в осцилографі з'являється відповідний курсор із позначкою «Т» на вертикальній і горизонтальній осях. За допомогою «мишки» тригер може бути встановлений у будь-яке місце в напрямку осей X і Y. Кнопка «STOP» зупиняє відображення на екрані. При натисканні кнопки «SINGL» записується лише перший сигнал, траєкторія якого проходить через точку спрацьовування тригера. Після цього екран залишається в режимі «стоп».
6. Перемикачі X/T і X/Y (Рис. 3.10, п.10). У режимі X/T горизонтальна вісь (X) представляє час, а вертикальна (Y) – напругу. Цей режим є стандартним для аналізу сигналів у часовій

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

області засобами осцилографа. У режимі X/Y горизонтальна вісь (X) представляє один сигнал, а вертикальна (Y) – інший сигнал. Використовується для побудови Лісажу-діаграм (Lissajous patterns) й аналізу фазових співвідношень між двома сигналами.

7. Перехід у режим «вимірювання» Рис. 3.10 п.8.
8. Перемикач кількості каналів 2 або 4 (Рис. 3.10, п.9).
9. Індикатор активних каналів (Рис. 3.10, п.4). Дане вікно відображає налаштування для кожного активного каналу, такого як: масштаб ( $[10V/DIV]$ ) і режим з'єднання (DC).
10. Меню обробки сигналів (Рис. 3.10, п.7). Включає різні функції для аналізу й модифікації сигналу. «CALC» дозволяє виконувати математичні операції над сигналами, такі як: додавання, віднімання, множення та інші. «VOLTS/DIV» встановлює вертикальний масштаб (уздовж осі Y) для відображення результатів обробки сигналу. «INV» Інверсія сигналу, що дозволяє відобразити (перегорнути) сигнал відносно вертикальної осі. «MODE» має спливаючий список із пунктами «Add» (додавання) і «Mult» (множення) для виконання відповідних операцій із сигналами. «Y-Pos» вертикальне зміщення результату обробки на екрані осцилографа.

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

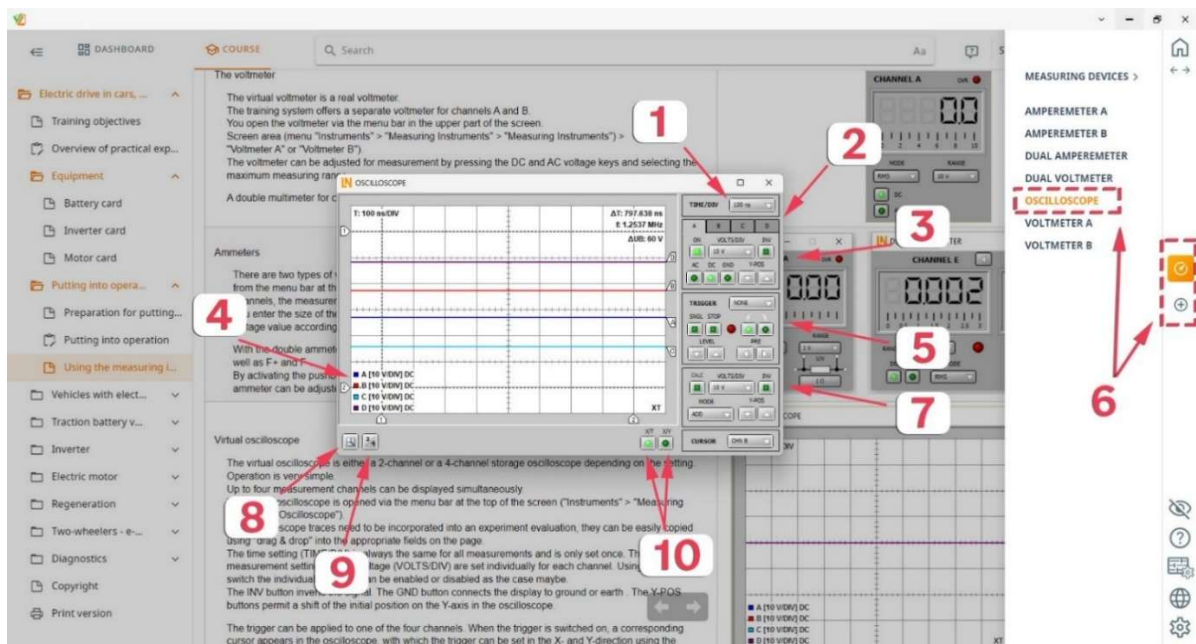


Рис. 3.10. Налаштування вікна OSCILLOSCOPE: 1 – налаштування часу TIME/DIV; 2 – вибір каналу A-D; 3 – налаштування діапазону вимірювання VOLTS/DIV; 4 – індикатор активних каналів; 5 – налаштування тригера; 6 – меню віртуальних приладів; 7 – меню обробки сигналів; 8 – перемикач режиму «вимірювання»; 9 – вибір кількості каналів; 10 – перемикачі X/T і X/Y

Для проведення вимірювань у рамках лабораторних робіт слід використовувати режим «вимірювання». Щоб перейти у даний режим, необхідно скористуватися перемикачем (Рис. 3.11, п.1). Для активації допоміжних стрілок вимірювання (Рис. 3.11 п.5–8) слід скористуватися випадаючим списком (Рис. 3.11, п.2). Для встановлення рівня спрацювання тригера (Trigger Level) необхідно за допомогою «миші» змінювати положення курсору (Рис. 3.11, п.3). Для визначення кількості даних, що будуть збережені й відображені на екрані до спрацювання тригера (Trigger Pre), слід за допомогою «миші» змінити положення курсору (Рис. 3.11, п.4). Різницю напруг  $\Delta U_A$  можна

## 2. Інтерфейс користувача LN LabSoft

визначити за допомогою переміщень курсорів (Рис. 3.11, п.5, 6) відносно вертикальної осі (Y). Визначення різниці часу  $\Delta T$  між двома точками на графіку можна визначити шляхом переміщення курсорів (Рис. 3.11, п.7, 8) відносно горизонтальної осі (X).

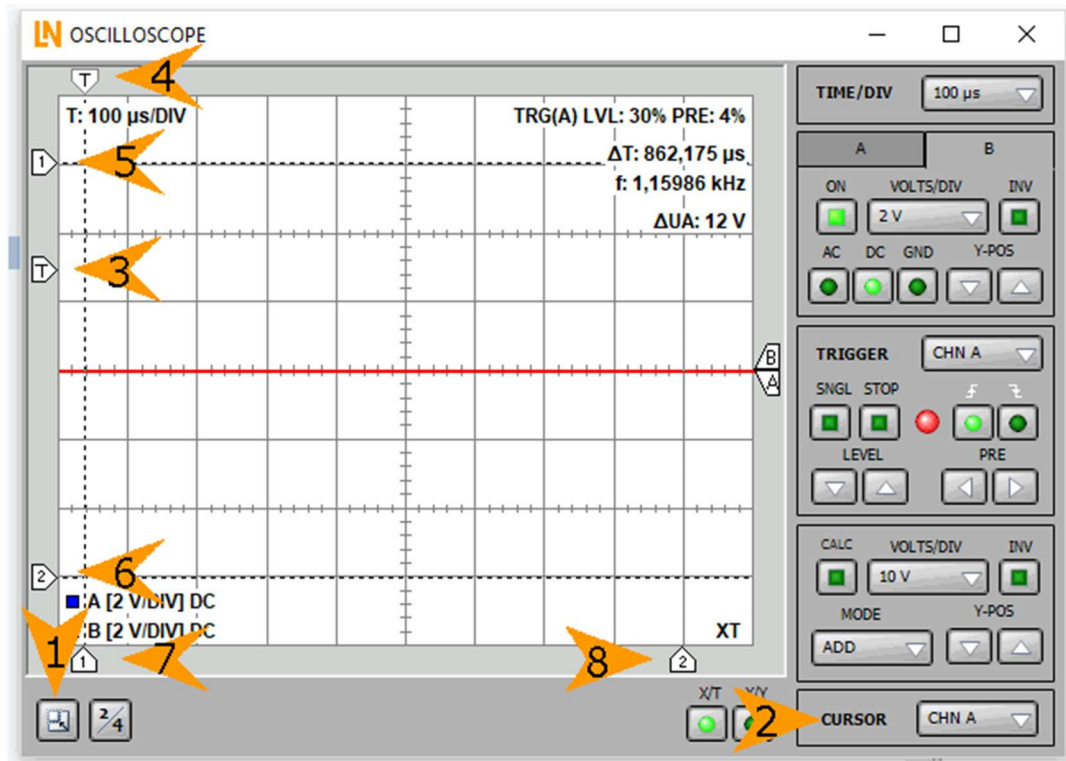


Рис. 3.11. Режим вимірювання вікна OSCILLOSCOPE: 1 – перемикач режиму «вимірювання»; 2 – активація допоміжних стрілок; 3 – рівень спрацювання «Trigger Level»; 4 – рівень «Trigger Pre»; 5, 6 – повзунки визначення  $\Delta UA$ ; 7, 8 – повзунки визначення  $\Delta T$

## **3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію**

### **3.1. Тема лабораторної роботи**

«Вивчення складових частин стенда Lucas-Nuelle та введення його в експлуатацію»

### **3.2. Мета лабораторної роботи**

1. Вивчення складу обладнання й технічних характеристик навчального стенда Lucas-Nuelle.
2. Отримання навичок взаємодії із програмним забезпеченням «LN LabSoft», зокрема вивчення інтерфейсу користувача та функціоналу вбудованих віртуальних вимірювальних приладів.
3. Уведення стенда в експлуатацію й тестування базових режимів його роботи.

### **3.3. Порядок виконання лабораторної роботи**

До початку роботи зі стендом LN необхідно переконатись у справності всіх його систем. Перевірка складається із двох частин.

У першій частині відбувається первинний запуск системи за рахунок подачі живлення на інвертор (Модуль «Трифазний інвертор») від ланки постійного струму (Модуль «HV батарея із системними реле»). У другій частині відбуваються запуск і керування електричною машиною (Модуль «Двигун»).

Для виконання обох частин лабораторної роботи необхідно зібрати схему на стенді LN, що зображена на Рис. 4.1.

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

Для безпосереднього виконання лабораторної роботи, а також покрокового відстежування процесу під'єднання компонентів схеми, слід звернутись до LN LabSoft (LS) і перейти за адресою: Electric drive in cars, commercial vehicles and two-wheelers (EDCV) >> Putting into operation >> Preparation for putting the system into operation.

Порядок з'єднання схеми:

1. Вставити модулі у правильній послідовності до штатних місць стенда LN.
2. Вставити перемички «Jumper» у модуль. Із двох типів перемичок обирати ті, що мають відповідний «крок» до отворів місця під'єднання.
3. З'єднати між собою модулі за допомогою комплектних дротів зі штекерами.
4. Вставити у модуль «Двигун» ротор з постійними магнітами.



Рис. 4.1. Схема з'єднання стенда LN із ротором з постійними магнітами

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

#### 3.3.1. Частина № 1. Запуск системи

Для виконання першої частини лабораторної роботи слід перейти за адресою: EDCV >> Putting into operation >> Putting into operation.

Хід виконання лабораторної роботи:

1. Натиснути кнопку гальмування «BRAKE» на лівій стороні модуля та тримати її натиснутою, щоб запустити систему в роботу (Рис. 4.2 п.1).
2. Короткочасно (до 2-х секунд) натиснути на кнопку «START» (Рис. 4.2 п.2).
3. Через 2 секунди одночасного утримання обох кнопок відпустити їх.

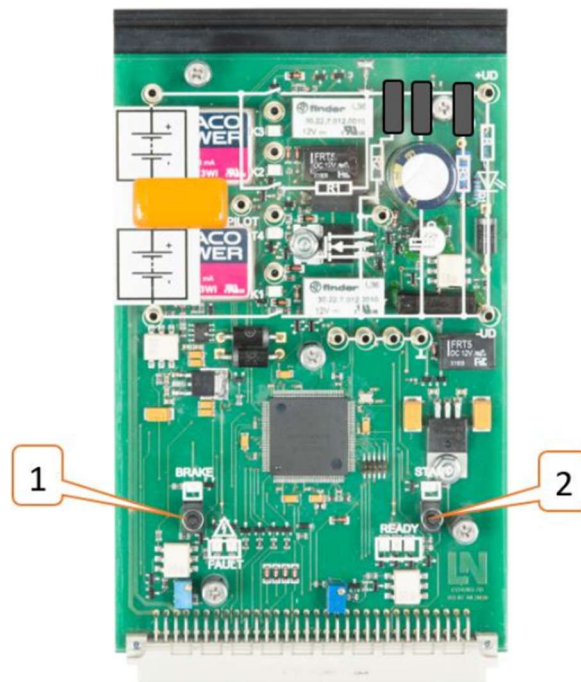


Рис. 4.2. Запуск системи в роботу. Модуль «HV батарея із системними реле»: 1 - кнопка «BRAKE»; 2 – кнопка «START»

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

Оскільки всі реле мають відповідний світлодіодний індикатор, можна легко відстежувати операції перемикання в системі навіть без використання вимірювальних приладів.

Успішність виконання процедури можна оцінити за випроміненням зеленого світлодіода «READY». Він буде постійно світитися.

#### 3.3.2. Частина № 2. Запуск електродвигуна

Щоб перевірити налаштування експерименту, необхідно відкрити прилад «Перетворювач частоти» («FREQUENCY CONVERTER») (Рис. 4.2, п.1) за допомогою пункту меню «Додатковий» («Additional») на панелі меню.

##### **Крок № 1.**

Користуючись інструментами вікна «Frequency Converter», необхідно встановити параметри, що вказані в Таблиці 4.1. Для цього:

1. За допомогою клавіш зі стрілками встановити частоту на рівні 10 [f/Гц].
2. Перевірити чи світяться індикатори запуску системи із Частини № 1.
3. Запустити перетворювач частоти, натиснувши на кнопку «POWER» вікна «Frequency Converter». Якщо не вдається активувати кнопку "POWER", необхідно вийняти модуль "Трифазний інвертор" із навчального стенда та вставити її назад.
4. Після цього двигун повинен запускатись та обертатись із заданою сталою частотою в усталеному режимі. Якщо вал двигуна не

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

обертається, слід повторно натиснути кнопку «POWER» для вимкнення стенда. Після чого змінити вихідне положення ротора з постійними магнітами на певний довільний кут. Потім знову натиснути кнопку «POWER» для повторного запуску.

- У випадку успішного пуску спостерігати обертання ротора двигуна, після чого зупинити рух, натиснувши кнопку «POWER».

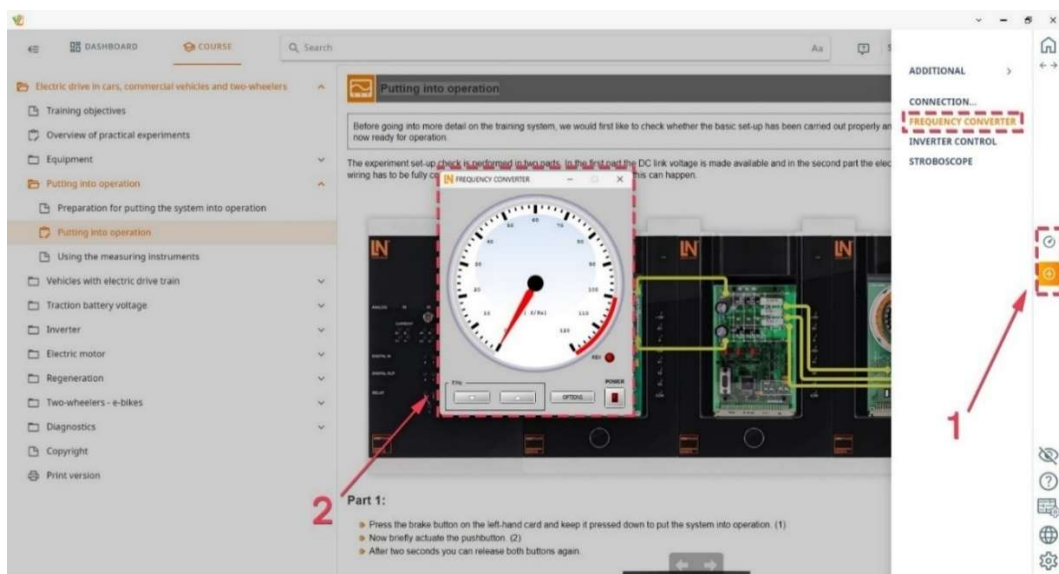



Рис. 4.2. Відкриття Frequency Converter: 1 – Additional; 2 – вікно Frequency Converter

Таблиця 4.1. Конфігурація «Frequency Converter»

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

	Instrument:	«FREQUENCY CONVERTER»
	Frequency F [Hz]	10 Hz
	Start	"POWER"

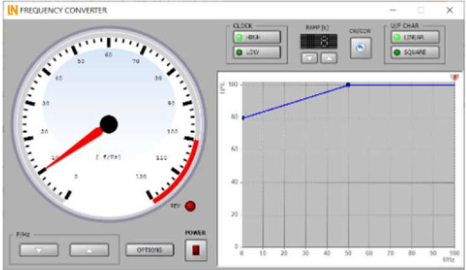
#### Крок № 2.

Після першого запуску необхідно ознайомитись із додатковими параметрами вікна «Frequency Converter», натиснувши кнопку «OPTIONS» (параметри). Після чого встановити параметри, що вказані в Таблиці 4.2. Для цього:

1. У розширеному режимі налаштування встановити пускову напругу від 60 до 80 U/%, як показано на зображенні в Таблиці 4.2.
2. Перевірити чи світяться індикатори запуску системи із Частини № 1.
3. Запустити перетворювач частоти, натиснувши кнопку «POWER».
4. Спостерігати запуск двигуна. У випадку збою запуску двигуна скористатись рекомендаціями із попереднього кроку.
5. Збільшувати частоту  $f$  [Гц] спочатку до 30 Гц, а згодом до 50 Гц за допомогою стрілочок вгору/вниз поля «F/Hz».
6. Спостерігати зміну частоти обертання двигуна, після чого зупинити двигун, натиснувши кнопку «POWER».

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

Таблиця 4.2. Налаштування «Frequency Converter» – вкладка «OPTIONS»

	Instrument:	«FREQUENCY CONVERTER»
	Starting voltage U [%]	80 %
	CLOCK	HIGH
	Ramp time RAMP [s]	8

#### 3.4. Контрольні питання

1. Які віртуальні вимірювальні прилади існують у NL LabSoft?
2. Який порядок під'єднання обладнання стенда LN для проведення лабораторних робіт?
3. Чи можна під'єднувати модуль «Двигун» за схемою трикутник?
4. Які віртуальні вимірювальні прилади можна використовувати одночасно під час вимірювань у середовищі NL LabSoft?
5. Які віртуальні вимірювальні прилади не можна використовувати одночасно під час вимірювань у середовищі NL LabSoft?
6. Чи необхідно переходити до певного розділу LN LabSoft для виконання лабораторної роботи?
7. Які діапазони вимірювання мають віртуальні вимірювальні прилади (амперметри, вольтметри)?
8. Чим відрізняється режим «вимірювання» від звичайного режиму віртуального осцилографа?
9. Як за допомогою осцилографа можна розрахувати різницю напруги та часу між двома точками на екрані?

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

10. Які світлодіоди ланки постійного струму світяться після запуску системи (вказати на рисунку)?
11. Яким має бути порядок дій при невдалому старті двигуна засобами «Frequency Converter»?

#### 3.5. Формування звіту

Кожен здобувач повинен отримати допуск до захисту роботи шляхом особистого або групового виконання лабораторної роботи № 1 за стендом Lucas-Nuelle та формування звіту.

##### 3.5.1. Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи формується з використанням універсального інтерактивного шаблону у форматі PDF, що надається викладачем.

Шаблон містить текстові поля та поля для вставлення зображень, що забезпечує послідовне структурування звіту за результатами проведених експериментів, а також для надання відповідей на контрольні запитання.

Зміст і структура звіту визначаються формою наданого PDF-шаблону. Під час виконання лабораторної роботи здобувач вищої освіти повинен фіксувати процес виконання на фото для подальшого додавання відповідних матеріалів до звіту.

Звіт подається викладачу у друкованому або електронному вигляді (способи подання є рівноцінними). Надсилати електронний звіт здобувач повинен виключно із власної корпоративної пошти

### 3. Лабораторна робота № 1. Уведення стенда в експлуатацію

Outlook на корпоративну пошту викладача, який проводить курс лабораторних робіт. Формуючи лист, здобувач повинен обов'язково вказати тему листа, що має наступні складові: «Лабораторна робота № 1, «Назва дисципліни (аббревіатура)», «Прізвище та ініціали здобувача», «номер академічної групи». Лист повинен бути складений в офіційно-діловому стилі й містити чіткий опис суті звернення. Зокрема, це може бути: звіт для перевірки, питання щодо виконання лабораторної роботи (із детальним описом питання), повторна подача звіту, технічне питання тощо.

## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.1. Тема лабораторної роботи

«Дослідження призначення та функцій акумуляторної батареї електромобільного транспорту. Вимірювання її параметрів і підготовка до технічного обслуговування»

### 4.2. Мета лабораторної роботи

1. Дослідження складу електропривода електричних транспортних засобів.
2. Визначення функцій і призначення високовольтної акумуляторної батареї в різних видах електричних транспортних засобів. Дослідження відмінностей між технологіями виробництва акумуляторних батарей. Порівняння типових рівнів напруг в електричних транспортних засобах.
3. Дослідження складу типової акумуляторної батареї електромобіля та способів під'єднання її складових елементів.
4. Визначення механізмів ізоляції (відключення) акумуляторної батареї на період обслуговування або проведення ремонтних робіт.
5. Дослідження захисного й вимірювального обладнання, попереджувальних знаків і порядку заповнення протоколу проведення технічних робіт.

#### **4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї**

6. Отримання практичних навичок: вимірювань високовольтної акумуляторної батареї, перевірки та використання захисного й вимірювального обладнання.
7. Проведення робіт, що повторюють процедуру ізоляції (відключення) акумуляторної батареї електромобіля на стенді LN. Дослідження реакції системи на різноманітні види «некоректного» пуску електромобіля.

### **4.3. Теоретична частина**

#### **4.3.1. Будова електропривода різних видів електричних транспортних засобів**

Загалом транспортні засоби, що оснащені електроприводом, влаштовані за схожою структурою. Вони містять накопичувач енергії, електронний контролер для тягового двигуна (DM – drive motor або ТМ – traction motor) та сам тяговий двигун, що може працювати як генератор, забезпечуючи режим рекуперативного гальмування.

Найбільш розповсюджені типи електричних транспортних засобів:

- електричні автомобілі (електромобілі);
- електросамокати;
- електровелосипеди;
- електричні скутери;
- електричні мопеди;
- електричні автобуси;
- електричні вантажівки;
- електричні потяги.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Найбільш розповсюдженим типом електричного транспорту є пасажирські легкові електромобілі (Рис. 5.1). Такі електромобілі можуть працювати виключно на електричній тязі або бути гібридами. Це означає, що автомобіль може бути оснащений як системою високовольтного живлення, так і двигуном внутрішнього згорання.

Існують різні способи візуальної ідентифікації таких транспортних засобів на дорогах. Це можуть бути наклейки, спеціальні написи на кузові (наприклад «Zero-emission»), кольорові номерні знаки (написи зеленого кольору). Також показником може слугувати відсутність вихлопної системи або наявність додаткового зовнішнього порту для зарядки.



Рис. 5.1. Зовнішній вигляд пасажирських легкових електромобілів

Незалежно від типу транспортного засобу, кожен електропривод базується на структурі, що подібна до зображення на Рис. 2.8. Така структура має наступні основні елементи: "акумуляторна батарея", "інвертор", "електродвигун". Дані складові присутні в кожному

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

електричному або гібридному автомобілі. Крім цих елементів, є також додаткові інтегровані системи комфорту й безпеки, що є складовими частинами високовольтної (HV) системи як легкових, так і вантажних автомобілів. Однак ці елементи не мають суттєвого значення для основної роботи електромобіля, тому розглянуті не будуть.

Для більш детального ознайомлення із внутрішньою структурою легкового електромобіля слід подивитись відео, звернувшись до LS, і перейти за адресою: EDCV >> Vehicles with electric drive train >> Design of the electrical drive train in a passenger vehicle.

Окрім легкових пасажирських електромобілів, зростає також кількість комерційних моделей (Рис. 5.2), що оснащені електроприводами. На відміну від легкових автомобілів, до електропривода комерційних транспортних засобів висуваються значно більші вимоги. Електрична потужність та ємність батареї повинна бути достатньою для переміщення великої маси самого транспортного засобу й живлення його численних функцій і систем. Комерційні транспортні засоби можуть не мати такої явної зовнішньої ідентифікації як у випадку з легковими пасажирськими автомобілями. Проте структура електропривода залишається незмінною (Рис. 5.3).

Для пересування на короткі відстані на відносно низьких швидкостях усе більшої популярності набувають електрифіковані двоколісні транспортні засоби. Це можуть бути велосипеди, так звані електровелосипеди (e-bikes), або ж електричні скутери чи мотоцикли (Рис. 5.5). Структуру електропривода подібних транспортних засобів можна побачити на Рис. 5.4.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї



Рис. 5.2. Комерційні електричні транспортні засоби

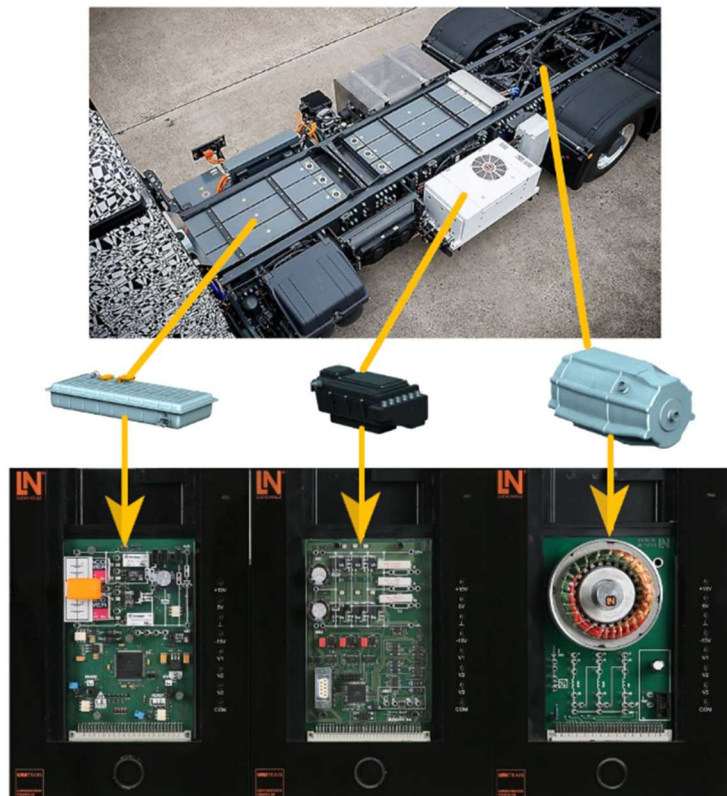


Рис. 5.3. Основні елементи системи електропривода комерційного електротранспорту в навчальному стенді LN

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

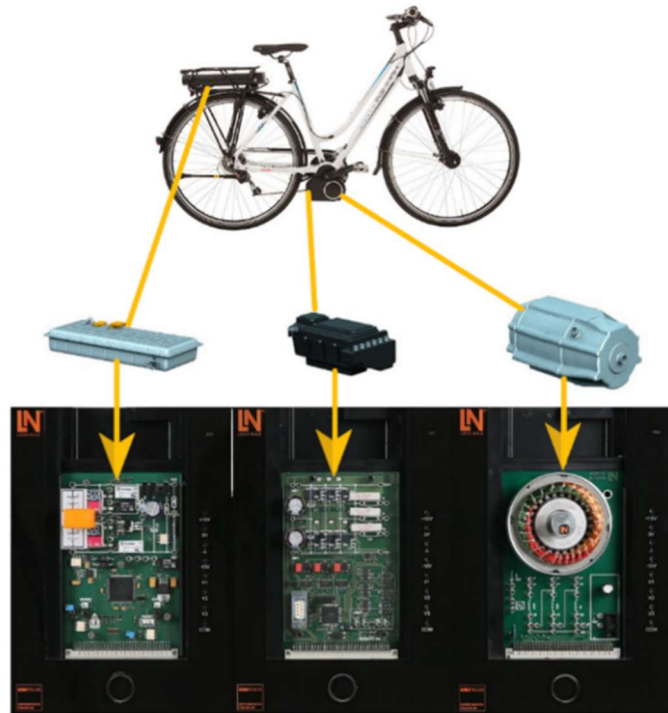


Рис. 5.4. Основні елементи системи електропривода електрифікованого двоколісного транспортного засобу в навчальному стенді LN



Рис. 5.5. Електрифіковані двоколісні транспортні засоби: скутери, МОТОЦИКЛИ

## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.3.2. Високовольтна акумуляторна батарея

Однією зі складових частин електропривода майже кожного електричного транспортного засобу є акумуляторні батареї. Їх можна умовно розділити на тягові акумуляторні батареї (traction batteries) і високовольтні акумуляторні батареї (HV batteries). Акумуляторні батареї можуть мати різні розміри й будову, а також розміщуватись у різних місцях корпусу (або кузова) електричного транспортного засобу. Приклад розміщення акумуляторної батареї в кузові легкового авто можна побачити, переглянувши відео в LS за наступною адресою: EDCV >> Vehicles with electric drive train >> Traction battery voltage.

### 4.3.3. Функції акумуляторних батарей

Усі акумуляторні батареї здатні зберігати тільки постійний струм (DC). Для використання енергії в електродвигуні постійний струм повинен бути перетворений на змінний струм (AC).

У гібридних (HV – hybrid vehicles) та електричних транспортних засобах (EV – electric vehicles) використовуються різні типи акумуляторних батарей. Вони відрізняються за матеріалами виготовлення й конструкцією. Наприклад, акумуляторні батареї можуть бути літій-іонними (Li-ion – lithium-ion batteries), нікель-метал-гідридними (NiMH – nickel-metal hydride batteries), літій-залізо-фосфатними (LiFePO<sub>4</sub> – Lithium iron phosphate batteries,) або іншими типами, кожен з яких має свої переваги й недоліки.

Гібриди (HEV), гібриди, що підзаряджаються (PHEV – plug-in hybrids), та електромобілі (EV) – усі використовують електродвигуни

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

для руху. Однак навантаження на акумуляторні батареї у цих типах транспортних засобів значно відрізняється.

Наприклад:

1. У повністю електричних транспортних засобах (EV), таких як Tesla Model S або Nissan Leaf, акумуляторна батарея є єдиним джерелом енергії для руху автомобіля. Батарея EV може заряджатися лише за допомогою рекуперативного гальмування або зовнішнього зарядного пристрою. Оскільки запас ходу повністю електричного транспортного засобу повинен бути якомога більшим, акумуляторні батареї, як правило, максимально енергоємні та набагато більші за фізичними розмірами, ніж у гібридних транспортних засобах. Типовий запас ходу повністю електричного транспортного засобу (електромобіля) становить від 120 до 400 км.

2. У гібридних транспортних засобах (HV), таких як Toyota Prius, акумуляторна батарея працює у поєднанні із двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ або ІСО – internal combustion engines). HV батарея заряджається лише під час роботи ДВЗ або під час рекуперативного гальмування та не має зовнішнього способу заряджання. Це зменшує навантаження на акумуляторну батарею, оскільки вона використовується, переважно, для допомоги при прискоренні й для роботи в режимі низької швидкості. У більшості ситуацій гібридні транспортні засоби мають обмежений запас ходу в суто електричному режимі від 2 до 15 км. А їхні акумуляторні батареї, як правило, менші у порівнянні з повністю електричними транспортними засобами.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

3. Гібриди, що підзаряджаються (plug-in hybrids), такі як Chevrolet Volt, є комбінацією гібридних та електричних транспортних засобів і мають запас ходу від 15 до 70 км, чого достатньо для більшості щоденних поїздок. Даний вид гібридів також використовує ДВЗ у ситуаціях, коли необхідно здійснити довготривалі поїздки. Акумуляторні батареї у таких гібридах більші в порівнянні зі звичайними гібридами.

Таким чином, хоча всі ці транспортні засоби так чи інакше використовують електродвигун для руху, вимоги до акумуляторних батарей у них різні, що впливає на їхній дизайн і конструкцію.

Окрім акумуляторних батарей, в якості джерела енергії можуть також використовуватись:

- паливні комірки (Fuel cells);
- суперконденсатори (Super-capacitors);
- маховики (Flywheels).

Обсяг запасу ходу є ключовою проблемою, що стає на заваді розповсюдженню EV у світі. Наразі виробниками докладається багато зусиль для збільшення запасу ходу від одного циклу заряду EV, такі як:

- встановлення акумуляторних батарей більшої ємності;
- використання нових матеріалів для створення акумуляторних батарей;
- створення більш зручної й більш широкої інфраструктури зарядних станцій;
- розробка навігаційних систем і додатків для смартфонів, що прокладають маршрути з урахуванням наявності зарядних станцій для електротранспорту;

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

- оновлення програмного забезпечення EV для оптимізації управління системою двигун-генератор.

##### 4.3.4. Літій-іонна технологія побудови акумуляторних батарей

Літій-іонна технологія (Lithium-ion) є однією з найпоширеніших технологій виготовлення акумуляторів і вже широко використовується в смартфонах, ноутбуках та інших портативних пристроях. Позитивний електрод літій-іонного акумулятора складається з оксиду металу, а негативний – з вуглецю. Електролітом є сіль літію в органічному розчині.

Літій – найлегший із металів і має найвищу щільність енергії для своєї ваги. Саме тому літій-іонні акумулятори забезпечують найбільшу щільність енергії з усіх раніше згаданих акумуляторів. Завдяки такій високій щільності енергії літій-іонні батареї є найкращим варіантом для повністю електричних транспортних засобів (EV) і гібридів (HEV), оскільки вони дають можливість долати великі відстані за рахунок виключно енергії акумуляторної батареї без необхідності підзарядки від зовнішніх джерел. Це означає, що транспортні засоби мають більший запас ходу.

Літій-іонні батареї забезпечують напругу від 3,6 до 3,7 вольт на кожен комірці, у залежності від хімічного складу. Переваги й недоліки літієвих акумуляторних батарей зведені до Таблиця 5.1.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Таблиця 5.1. Переваги та недоліки використання літій-іонних акумуляторних батарей

Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"><li>- дуже висока щільність енергії</li><li>- відносно низький ступінь саморозрядження (менше, ніж у батарей на основі нікелю)</li><li>- відсутність ефекту пам'яті акумуляторної батареї (memory effect). Відсутність необхідності в постійній дозарядці</li><li>- висока струмовіддача (discharge rate)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- потреба в захисній схемі для підтримання напруги та струму в безпечних межах під час заряджання й розряджання</li><li>- схильність до процесів деградації, що можуть бути викликані: надто високою або низькою температурою; виходом за граничну кількість циклів зарядки/розрядки; перевищенням глибини розряду; перезарядженням/недозарядженням; зносом через час; високим струмом зарядки/розрядки; хімічним складом; вологістю або корозією; механічними пошкодженнями тощо</li><li>- сприйнятливість до теплового розгону (Thermal runaway)</li><li>- обмеження на транспортування через ризик теплового розгону</li><li>- велика вартість виробництва – вартість приблизно на 40 % вища, ніж для Ni-Cd акумуляторів</li><li>- ризик виникнення загоряння через механічне пошкодження</li></ul>

#### 4.3.5. Акумуляторні батареї типу Lithium-ion

Для наглядної демонстрації впливу механічного пошкодження на стан Li-ion акумулятора слід переглянути відео, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Lithium variants >> Lithium-ion batteries.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Навчальний стенд LN використовує Li-ion акумуляторні батареї та має всі необхідні захисні системи. Проте, слід приділяти значну увагу процесу експлуатації стенда й чітко дотримуватись наданих методичних вказівок.

##### 4.3.6. Акумуляторні батареї Lithium-iron

Акумуляторні батареї, що виготовлені з літію й залізо-фосфату, забезпечують напругу комірки 3,2–3,3 В. Позитивний електрод виготовлений із літій-залізо-фосфату ( $\text{LiFePO}_4$ ), а не традиційного літій-кобальт (III) оксиду ( $\text{LiCoO}_2$ ). Для негативного електрода використовується графіт із літієм, що знаходиться всередині нього.

Акумулятори на основі літій-залізо-фосфату мають порівняно меншу щільність енергії, ніж літій-іонні акумулятори. Однак вони значно простіші в експлуатації, оскільки не піддаються тепловому розгону у разі перевантаження або механічних пошкоджень.

Ступінь впливу механічних пошкоджень на роботу даного виду акумуляторної батареї можна оцінити за допомогою відео, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Lithium variants >> Lithium-iron batteries.

Дещо знижена напруга повного заряду (3,4–3,5 В) і менш виражена деградація позитивно впливають на кількість корисних циклів заряджання, а, отже, і на термін служби акумуляторних батарей. Вони стійкі до перехідних стрибків температури (до 40 °C), однак також потребують наявності захисної схеми для запобігання надмірному заряджанню й розряджанню.

## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.3.7. Типові рівні напруги акумуляторних батарей

Типовий діапазон напруги акумуляторних батарей, що використовуються в EV (EMVs – Electric Motor Vehicles), значно варіюється. У Таблиці 5.2 наведено список, що демонструє відмінності між напругою акумуляторних батарей декількох виробників електромобілів.

Слід зауважити, що напруга вища за 30 В (AC) або 60 В (DC) вважається високою (HV) і є небезпечною.

Таблиця 5.2. Напруга акумуляторних батарей EMVs

Легковий електромобіль	Напруга акумуляторної батареї, В	Напруга, що подається на тяговий двигун (Traction motor), В
Toyota Prius (3 <sup>rd</sup> Gen.)	201	650
BMW i3	360	360
Електричні велосипеди		
NCM Milano+ 48 V	48	48
Bosch Active Line	36	36
Комерційні транспортні засоби		
Mercedes E-Actros	400	400
Sileo E-Bus S18	700	700

Вбудований в електромобіль конвертор може підвищувати напругу акумуляторної батареї до відносно великих значень. Одним із прикладів є Toyota Prius 3, де перетворювач постійного струму (DC-

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

DC) підвищує напругу з 201 до 650 В. Можна зробити висновок, що напруга акумулятора не обов'язково є показником напруги тягового двигуна через можливе підвищення засобами (DC-DC). Майже всі EMVs обладнані унікальною високовольтною системою, особливості якої слід урахувати під час досліджень.

Загалом можна зазначити, що типова напруга, яка використовується для всіх електричних транспортних засобів, становить від 36 до 1000 В.

Модуль «HV батарея із системними реле» складається із ключових елементів, що відповідають реальній системі HV акумуляторної батареї типового електромобіля (Рис. 5.6).

Для покрокового відображення відповідності елементів модуля реальному обладнанню електромобіля слід перейти за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Set-up.

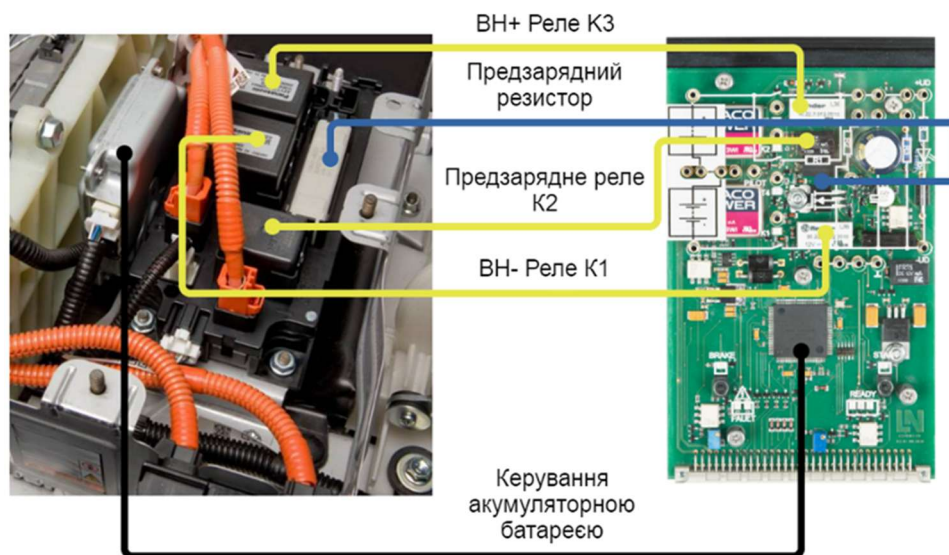


Рис. 5.6. Відповідність елементів модуля «HV батарея із системними реле» реальній HV системі реального електромобіля

## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.3.8. З'єднання комірок акумуляторної батареї

Високовольтна (HV) акумуляторна батарея електромобіля складається з наступних складових частин:

Комірка (Cell): найменша структурна одиниця акумуляторної батареї, що складається з анода, катода, електроліту та сепаратора. Комірка є основним елементом, що генерує електричну енергію через хімічні реакції.

Група комірок (Cell Group): кілька комірок, з'єднаних паралельно або послідовно для досягнення необхідних параметрів напруги та ємності. Група комірок може бути інтегрованою в один корпус для покращення механічної стабільності та управління теплом.

Акумуляторний модуль (Module): кілька груп комірок, зібраних в єдиний конструктивний блок, оснащений інтегрованими системами моніторингу й захисту. Модулі можуть бути з'єднані послідовно або паралельно для досягнення необхідних параметрів напруги та ємності акумуляторної батареї.

Блок модулів (Pack or Battery Pack): сукупність модулів, зібраних в єдину конструкцію з додатковими компонентами, такими як: система охолодження, механічні кріплення, захисні системи, система управління акумуляторною батареєю (BMS). Блок модулів забезпечує інтеграцію всіх компонентів для забезпечення надійної та ефективної роботи акумуляторної батареї.

Батарейна система (Battery System): комплексна система акумуляторної батареї, що включає блок модулів, систему управління батареєю (BMS), систему охолодження, кабельні з'єднання й інші необхідні компоненти для інтеграції із транспортним засобом.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Батарейна система забезпечує контроль, безпеку та оптимальну продуктивність акумуляторної батареї у складі електротранспортного засобу.

Клемна коробка (Junction Box): пристрій, що забезпечує з'єднання й захист електричних кабелів у системі акумуляторної батареї. Клемні коробки використовуються для з'єднання проводів від комірок, груп комірок або модулів, а також для інтеграції в систему управління батареєю та інших компонентів. Вони допомагають забезпечити надійний електричний контакт і захист від механічних пошкоджень і навколишнього середовища.

Вихідна напруга високовольтної (HV) акумуляторної батареї формується шляхом об'єднання кількох окремих груп комірок (Cell Group) або модулів (Module) в одну збірку. У літій-іонного акумулятора кожна комірка (Cell) видає напругу 3,7 вольт.

Коли комірки інтегровані в корпус високовольтної батареї, спосіб з'єднання комірок між собою суттєво впливає на загальну напругу й можливу ємність акумуляторної батареї. По суті, існує два способи з'єднання комірок між собою:

- послідовне з'єднання (Рис. 5.7);
- паралельне з'єднання (Рис. 5.8).

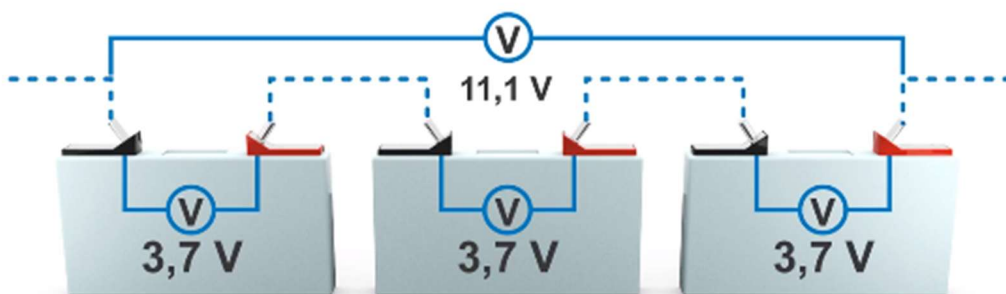


Рис. 5.7. Послідовне з'єднання комірок

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

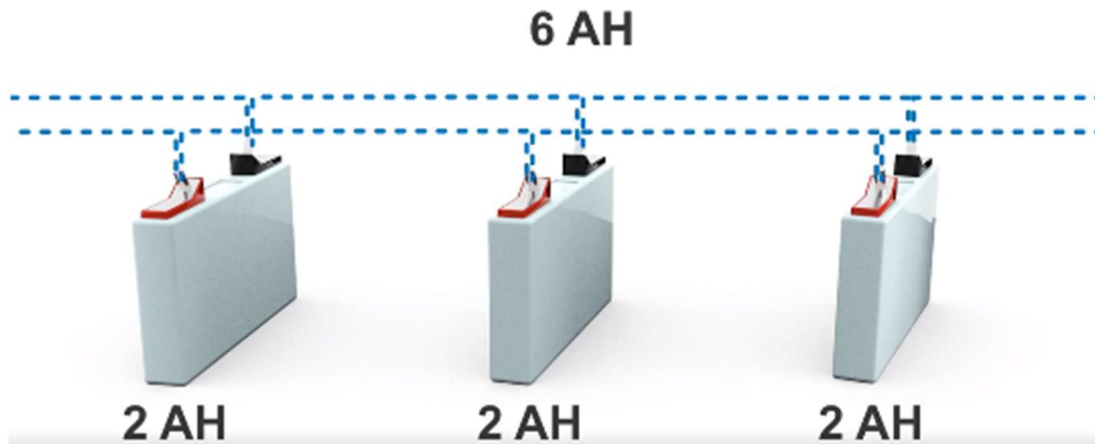


Рис. 5.8. Паралельне з'єднання комірок

Зазвичай комірки високовольтних акумуляторних батарей не з'єднуються у чисто послідовній або паралельній конфігурації. При чисто паралельному з'єднанні батарея демонструє дуже високу ємність, але загальна напруга залишається на рівні 3,7 В. Водночас чисто послідовне з'єднання забезпечує значну загальну напругу, але знижує ємність до мінімуму (ємності однієї комірки). Тому в конструкціях високовольтних акумуляторних батарей застосовують комбіновані з'єднання (mixed circuit), поєднуючи обидва типи з'єднань для створення змішаної схеми, що забезпечує оптимальні характеристики напруги та ємності (Рис. 5.9).

Для більш детального дослідження виду під'єднання акумуляторних батарей послідовним, паралельним і змішаним способами слід подивитись відео в курсі LS, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Interconnection of cells.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

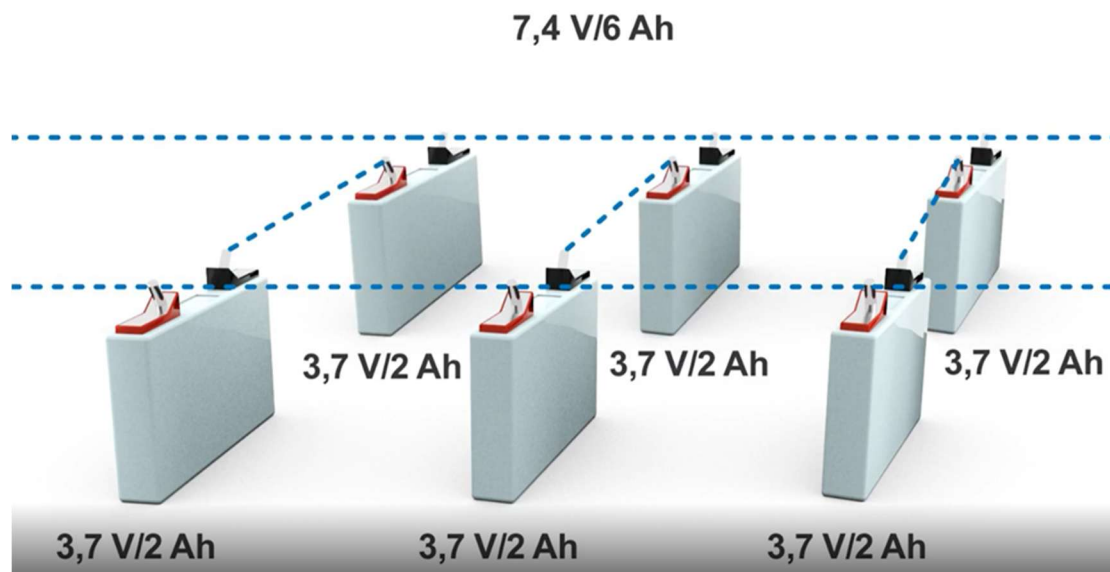


Рис. 5.9. Комбіноване з'єднання комірок

#### 4.3.9. Механізм ізоляції високої напруги

Для проведення сервісних робіт з обслуговування високовольтної акумуляторної батареї електромобіля існують певні механізми захисту або ізоляції системи. Одним із таких механізмів є роз'єднуючі (disconnect) або ізолюючі перемикачі (isolating switches), що інтегровані безпосередньо в систему високовольтної акумуляторної батареї. Також такі механізми захисту можуть мати назву «роз'єм технічного обслуговування» (Maintenance plug) або «сервісний роз'єм» (Service plug). У Таблиці 5.3 наведено ряд високовольтних ізолюючих (роз'єднувальних) перемикачів (isolating (disconnect) switches), що застосовуються різними виробниками електромобілів.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Таблиця 5.3. Високовольтні ізольовані перемикачі

 A photograph of a red, rectangular technical service connector with a black handle, mounted on a white plastic base. The connector has a label with diagrams and text, including 'E' and 'Z' symbols.	<p>Роз'єм технічного обслуговування від Chevrolet Spark. Також використовується і в моделі Volt. Зазвичай знаходиться на центральній панелі</p>
 A photograph of a red service connector installed in a vehicle's battery compartment. A blue arrow points to a specific line on the connector. An inset image shows the connector from a different angle.	<p>Сервісний роз'єм, що використовується компанією Toyota. Синя стрілка вказує на лінію блокування/керування (interlock/pilot), що вбудована в перемикач</p>
 A photograph of the battery compartment of a Ford Escape Hybrid. A red arrow points to a yellow service connector labeled 'A' on the metal battery cover.	<p>Сервісний роз'єм для Ford Escape Hybrid (позначка А). Для ізоляції акумуляторної батареї роз'єм потрібно повернути проти годинникової стрілки, а потім вийняти його</p>

Продовження таблиці 5.3.

	<p>Компанія Honda використовує перемикач для ізоляції високовольтного акумулятора. Щоб отримати доступ до перемикача, була знята захисна кришка</p>
---	---

Оскільки конструкція подібних сервісних роз'ємів і перемикачів відрізняється в кожній моделі електромобіля, слід завжди дотримуватися спеціальних інструкцій виробника й використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), перш ніж від'єднувати високовольтний ізолюючий перемикач.

#### 4.3.10. Попереджувальні знаки та протоколи вимірювання

Особи, які не мають досвіду ремонту або обслуговування високовольтних транспортних засобів, можуть зіткнутися зі складнощами при ідентифікації таких систем. Для людей без спеціальної підготовки у сфері електричних або гібридних транспортних засобів це може становити значну небезпеку.

Для запобігання нещасним випадкам та уникнення проблем, пов'язаних із недостатніми знаннями або недосвідченістю, необхідно чітко позначати транспортний засіб у процесі обслуговування. Якщо високовольтна акумуляторна батарея під'єднана до системи, слід використовувати попереджувальний знак для неізольованих

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

транспортних засобів (Warning sign for non-isolated vehicles) (Рис. 5.10 п.а). У разі від'єднання батареї від системи електромобіля за допомогою перемикача або сервісного роз'єму необхідно позначати транспортний засіб попереджувальним знаком для ізольованих транспортних засобів (Warning sign for isolated vehicles) Рис. 5.10, п.б).

Цей підхід забезпечить безпеку обслуговуючого персоналу й допоможе уникнути потенційно небезпечних ситуацій, пов'язаних із роботою з високовольтними системами. У разі необхідності ці попереджувальні знаки можна завантажити до середовища LS для подальшого друку. Для цього необхідно перейти за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Warning signs.

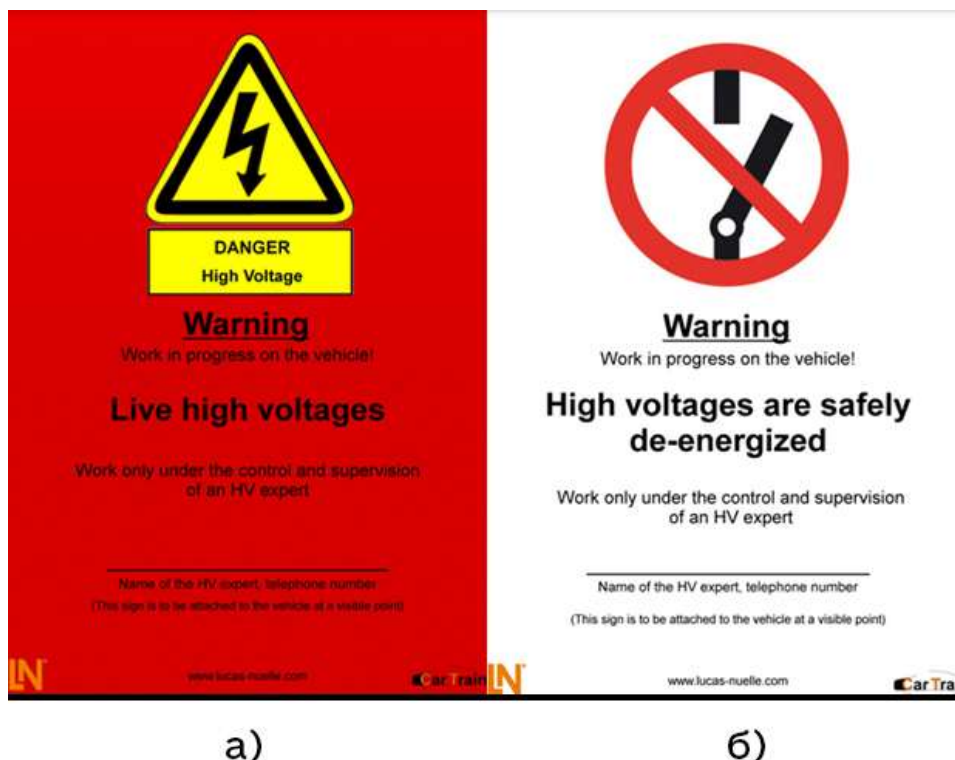



Рис. 5.10. Попереджувальні знаки: а – для неізольованих транспортних засобів (non-isolated vehicles), б – знак застереження для ізольованих (isolated vehicles) транспортних засобів

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Більшість виробників транспортних засобів вимагають заповнення протоколу проведення робіт (Рис. 5.11) під час або після процесу відключення/ізоляції високовольтної акумуляторної батареї.

Цей протокол може містити додаткові контрольні вимірювання, що сприяють забезпеченню ще більшого захисту від ураження струмом системи високої напруги. Наприклад, контрольне вимірювання між позитивним полюсом 12 В батареї й точкою "заземлення" (лінії 12 В), після відключення 12 В батареї. Дане вимірювання необхідне для того, щоб переконатися, що DC-DC перетворювач не активний.

Name:  Date:  Class:  

**Practical Task** **Written Record of HV System Shutdown Procedure**  
Please fill in this record completely at the end of each deactivation of the HV system. These records are to be kept with the customer records.

1. Vehicle Information:

- Vehicle Model:
- VIN:

2. Measurement Device (if required):

- Manufacturer:
- Model:

3. Testing of Measurement Device:

Measuring point	Target value	Actual value
12 V battery:	12V	<input type="text"/>
Positive pole of 12V battery to vehicle ground:	less than 1V	<input type="text"/>

4. High Voltage System Deactivation

- Is the system deactivated and secured against reactivation? Yes  No
- High voltage system voltage at safe level? Yes  No

Measuring point	Target value	Actual value
Positive pole of 12V battery and vehicle ground:	less than 1 V	<input type="text"/>
Voltage measurement HV+ to HV-:	less than 5 V	<input type="text"/>

Is the high voltage system successfully deactivated? Yes  No

Remarks:

Name of technician:  Date:  Signature:

Signature (Instructor):  Date:

Feedback:

Рис. 5.11. Протокол проведення робіт з ізоляції (відключення) високовольтною системою акумуляторної батареї електромобіля

## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.3.11. Ізоляційне обладнання. Захисні рукавички

Електричні й гібридні транспортні засоби оснащені електричними системами, що працюють з високою напругою порядку 700–1000 В. Через це існує реальний ризик ураження електричним струмом, що може призвести до травматичних або летальних наслідків. Щоб уникнути їх, необхідно використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) (Personal Protective Equipment (PPE)).

Під час роботи з високовольтною акумуляторною батареєю слід використовувати сертифіковані захисні рукавички (діелектричні рукавички) класу «0» (rubber class 0), ізоляція яких розрахована на роботу із системами напругою до 1000 В. Клас рукавичок визначається класифікацією International Electrotechnical Commission (IEC) та/або American Society for Testing and Materials (ASTM).

IEC і ASTM є двома основними організаціями, що розробляють стандарти для технічного захисту та якості. IEC розробляє міжнародні стандарти для електротехнічних та електронних систем, включаючи не лише рукавички для роботи з електричними системами, але й кабелі, трансформатори, електричні машини, системи автоматизації, а також вимоги до енергетичних систем і телекомунікацій. ASTM створює стандарти для широкого спектра матеріалів і продуктів, таких як: будівельні матеріали, хімічні продукти, тестування матеріалів, обладнання для випробувань, засоби індивідуального захисту (включаючи рукавички, захисні костюми та інші елементи для забезпечення безпеки). Обидві організації забезпечують стандартизацію, що гарантує безпеку, ефективність та якість у різних галузях.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Обидва стандарти мають однакову класифікацію захисту захисних рукавичок. Їх класифікація зведена до

Таблиці 5.4, в якій:

Максимальна робоча напруга (АС): найбільше значення змінної напруги, за якої обладнання або матеріал може безпечно функціонувати в нормальних експлуатаційних умовах.

Тестова напруга (АС): електрична напруга, що застосовується під час випробувань для перевірки ізоляційних властивостей або безпеки обладнання, яка перевищує максимальну робочу напругу.

Таблиця 5.4. Класифікація класів захисту рукавичок за стандартами  
IEC і ASTM

Клас	Максимальна робоча напруга (АС)	Тестова напруга (АС)
00	500 В	2,5 кВ
0	1 кВ	5 кВ
1	7,5 кВ	10 кВ
2	17 кВ	20 кВ
3	26,5 кВ	30 кВ
4	36 кВ	40 кВ

Клас захисту рукавичок і дата останнього випробування вказується на манжеті рукавички (Рис. 5.12). Для додаткового захисту слід також використовувати шкіряні захисні рукавички (Leather protection gloves) (Рис. 5.13), якщо немає обмежень тісного простору (у

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

важкодоступних місцях) або не відбувається робота з малопотужним обладнанням.



Рис. 5.12. Позначка класу захисту й дати останнього випробування на манжеті рукавички



Рис. 5.13. Зовнішній вигляд шкіряних захисних рукавичок

Під час роботи з високовольтною системою необхідно постійно користуватися захисними рукавичками, допоки не буде абсолютної впевненості, що високовольтна батарея ізольована, а конденсатори розряджені. На всіх транспортних засобах передбачені спеціальні тестові точки (testing points) для перевірки відсутності високої напруги (Рис. 5.14).

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї



Рис. 5.14. Перевірка напруги у високовольтній системі на Prius 2-го покоління

Перевірка рукавичок перед їхнім застосуванням має важливе значення для захисту від ураження електричним струмом. Рукавички не повинні мати жодних отворів або порізів, що можуть порушити їхню ізоляцію.

Для перевірки герметичності рукавичок слід згорнути рукавички в напрямку до пальців і переконатися, що вони утримують повітря, або скористайтеся спеціально розробленим пристроєм, який перевіряє їх шляхом надування (Рис. 5.15).

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї



Рис. 5.15. Пристрій для перевірки герметичності захисних рукавичок шляхом надування

Захисні рукавички повинні бути повторно протестовані через 6 місяців після першого застосування. Допускається зберігання нових рукавичок протягом одного року. Старі рукавички можна використовувати, якщо вони проходять випробування, що проводяться раз на півроку.

Рекомендується тримати в наявності в робочому приміщенні кілька пар рукавичок, щоб завжди мати під рукою декілька пар, поки інші відправляються на перевірку.

Дата останнього випробування рукавичок повинна бути надрукована на їхній манжеті поруч із класом захисту. Типові маркування на захисних рукавичках за стандартом ІЕС зображені на Рис. 5.16.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

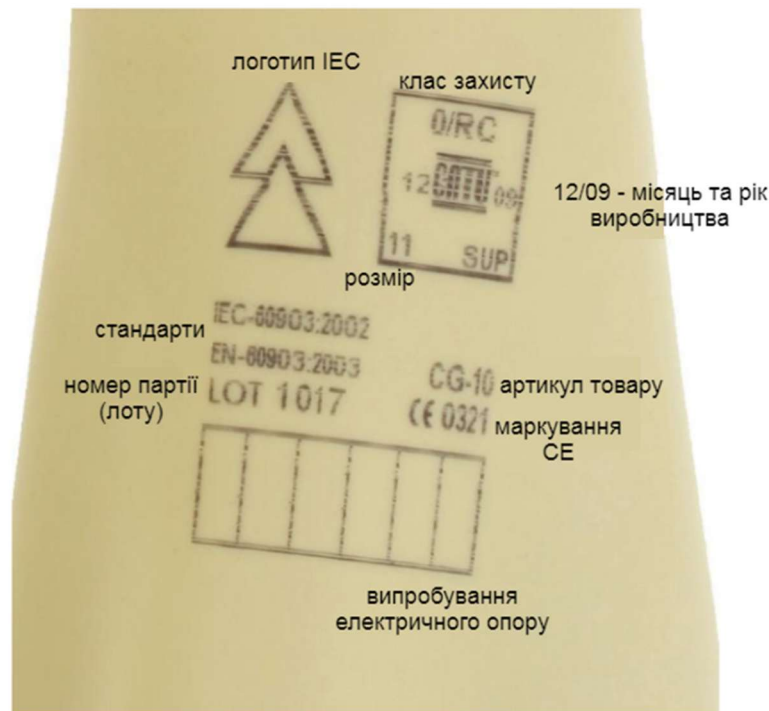


Рис. 5.16. Маркування на манжеті захисних рукавичок за стандартом ІЕС

Окрім рукавичок для захисту можуть застосовуватись захисні окуляри герметичні (safety goggles), захисні окуляри з боковими щитками (safety glasses), захисні екрани або маски для обличчя (face shields), шоломи (helmets), захисний одяг (protective clothing) і взуття (safety boots).

#### 4.3.12. Вимірювальне обладнання. Двополюсний тестер напруги

Для визначення рівня напруги в системі високовольтної акумуляторної батареї слід використовувати сертифіковане вимірювальне обладнання. Одним із варіантів такого обладнання є двополюсний тестер напруги (two-pole voltage tester) LM8302 (Fluke T110) [7, 9] (Таблиця 2.1, № 10).

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Двополюсний тестер напруги (Рис. 5.17) призначений для вимірювання й перевірки наявності електричної напруги в електричних ланцюгах і системах. Його основною функцією є забезпечення безпечного й точного визначення рівня напруги на різних електричних компонентах. Основні характеристики тестера зведені до Таблиця 5.5. Для детального визначення всіх функцій приладу необхідно скористатись офіційною документацією, яку можна знайти на сторінці виробника Fluke [9].



Індикація	Пояснення
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">690</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">400</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">230</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">120</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">50</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">24</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">12</div> </div>	Індикація рівня напруги
⚡	Рівень напруги перевищує рівень ELV (>50 В (AC) або >120 В (DC))
AC	Показчик змінної напруги (AC)
+ DC -	Показчик постійної напруги (DC) з індикатором позитивна (+) або негативна (-)
🔋	Батарея T110 розряджена
🔇	Тихий режим
🔌	Тест діодів
🔌	Ввімкнення навантаження (ON)
L R	Визначення чередування фаз. Вліво або вправо від неіндикаторного зонда (L1) до індикаторного датчика (L2)

Рис. 5.17. Двополюсний тестер напруги LM8302 (Fluke T110)

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

##### Основні функції:

1. Вимірювання змінної та постійної напруги (AC/DC voltage measurement). Тестер здатний вимірювати як змінну (AC), так і постійну (DC) напругу в діапазоні від 12 до 690 В із кроками 12, 24, 50, 120, 230, 400 та 690 В. Це робить його універсальним інструментом для різних типів електричних систем.
2. Індикація напруги (Voltage indication). Пристрій має світлодіоди з підписами для індикації різних рівнів напруги. Це дозволяє користувачу швидко й точно визначити рівень напруги в ланцюзі.
3. Тестування полярності (Polarity testing). LM8302 може визначати полярність у ланцюгах постійного струму (DC), що допомагає уникнути неправильного підключення компонентів і забезпечити правильну роботу системи.
4. Перевірка цілісності ланцюга (Continuity testing). Пристрій може виконувати тестування цілісності електричного ланцюга, сигналізуючи про наявність або відсутність переривання у провідці за допомогою акустичного сигналу.
5. Однополюсний тест на фазу (Single-pole phase test). Тестер може використовуватись для визначення фазного й нульового провідника.
6. Виявлення напруги без батарей (>50 В AC, >120 В DC). Пристрій здатний виявляти наявність напруги навіть без установлених батарей живлення, що є важливою функцією безпеки.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Таблиця 5.5. Технічні характеристики двополюсного тестера напруги  
LM8302

Діапазон вимірювання напруги	12–690 В/АС/DC
Діапазон частот	DC/40–400 Гц
Клас захисту	IP64
Категорія вимірювання	CAT III 690 В; CAT IV 600 В
Джерело живлення	2 батарейки (1,5 В IEC LR03 AAA)
Калібрування	ISO/DAkkS

#### 4.4. Порядок виконання лабораторної роботи

##### 4.4.1. Частина № 1. Вимірювання параметрів високовольтної акумуляторної батареї

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитись із теоретичною частиною, що викладена в пунктах 4.3.1–4.3.7. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Measurements on the high-voltage battery.

На практиці, у майстернях станцій технічного обслуговування (СТО), вимірювання параметрів високовольтних акумуляторних батарей можуть проводити тільки особи, які мають на це спеціальний дозвіл (допуск), і з обов'язковим дотриманням заходів безпеки, що описані в пунктах 4.3.10–4.3.11. Виробниками цього стенда була свідомо обрана напруга, що значно нижча за 60 В, для безпечного проведення експериментів. Проте для відпрацювання навичок

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

безпечної роботи з реальним об'єктом слід ретельно дотримуватись усіх вищезгаданих рекомендацій.

##### 4.4.1.1. Експеримент № 1. Вимірювання напруги акумуляторної батареї

Для початку роботи необхідно виконати підключення елементів стенда LN відповідно до наведеної нижче схеми. Вихідна конфігурація стенда зображена на Рис. 5.19, кінцева конфігурація показана на Рис. 5.20. Для покрокового відстеження процесу підключення компонентів слід перейти в LS за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Measurements on the high-voltage battery та в полі «**Experiment 1**» натиснути на кнопку Play (▶), що знаходиться під схемою. Використовуючи квадратні часові поділки на шкалі часу (timeline), можна покроково обирати необхідний етап під'єднання (Рис. 5.18).



Рис. 5.18. Складові частини шкали часу вбудованого плеєра LS

Після успішного виконання підключення слід налаштувати віртуальні вимірювальні прилади. Для цього експерименту необхідно налаштувати віртуальний вольтметр каналу А (VOLTMETER A), скориставшись указівками із Таблиці 5.6.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Відкрити віртуальний вольтметр можна за допомогою меню віртуальних приладів (Рис. 3.5, п.2) або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту LS.



Рис. 5.19. Вимірювання параметрів високовольтної акумуляторної батареї. Вихідна конфігурація стенда LS для проведення експерименту № 1

Таблиця 5.6. Налаштування віртуального вольтметра канал А

	<p>Встановіть наступні параметри:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ RANGE: 50 V</li><li>▪ MODE: RMS</li><li>▪ DC</li></ul>
--	--

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

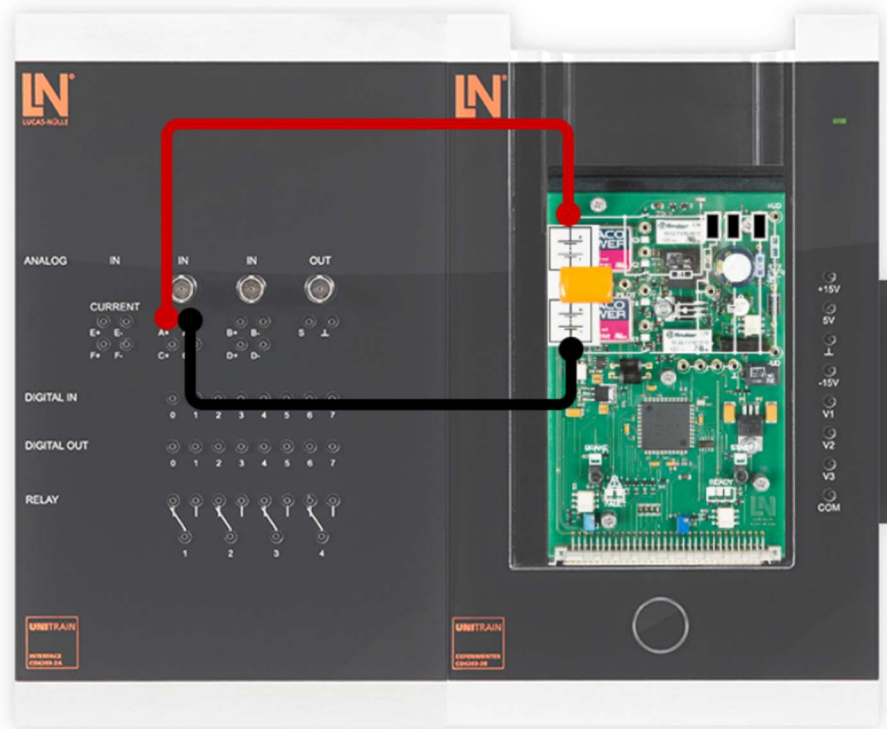


Рис. 5.20. Вимірювання параметрів високовольтної акумуляторної батареї. Фінальна конфігурація стенда LS для проведення експерименту № 1

Після конфігурації віртуального вольтметра необхідно спостерігати на його екрані значення вимірюної напруги. Після чого надати відповідь на запитання, що наведені нижче.

#### **Надайте відповідь на запитання:**

1. Чому дорівнює напруга акумуляторної батареї?
  - а) загальна напруга акумуляторної батареї (total battery voltage) становить \_\_\_ В.

## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.4.1.2. Експеримент № 2. Вимірювання напруги модулів акумуляторної батареї

Для проведення експерименту № 2 слід прокрутити поточну сторінку LS нижче до пункту «**Experiment 2**» і виконати підключення елементів стенда LN відповідно до наведеної нижче схеми. Вихідна конфігурація стенда зображена на Рис. 5.21, кінцева конфігурація показана на Рис. 5.22. Із процесом конфігурації стенда можна ознайомитися, натиснувши кнопку Play (▶) на шкалі часу, або обрати конкретний етап за допомогою квадратних поділок.

Зверніть увагу, що перед початком конфігурації даної схеми необхідно прибрати минулу конфігурацію. Після від'єднання кабелів слід спочатку вийняти помаранчеву перемичку (bridging plug або jumper), що імітує кришку сервісного роз'єму «Service plug» електромобіля, а далі прибрати інші перемички (позначені чорним на схемі).

Після успішного виконання підключення слід налаштувати віртуальні вимірювальні прилади. Для цього експерименту необхідно налаштувати віртуальний вольтметр каналів А та В (VOLTMETER A, VOLTMETER B), скориставшись указівками із Таблиця 5.7.

Відкрити віртуальний вольтметр можна за допомогою меню віртуальних приладів (Рис. 3.5, п.2) або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту LS.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї




Рис. 5.21. Вимірювання параметрів високовольтної акумуляторної батареї. Вихідна конфігурація стенда LS для проведення експерименту № 2

Таблиця 5.7. Налаштування віртуальних вольтметрів каналів А та В

	<p>Встановіть наступні параметри для вольтметра каналу А:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ RANGE: 50 V</li><li>▪ MODE: RMS</li><li>▪ DC</li></ul>
--	--

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Продовження таблиці 5.7.

	<p>Встановіть наступні параметри для вольтметра каналу В:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ RANGE: 50 V</li><li>▪ MODE: RMS</li><li>▪ DC</li></ul>
---	--

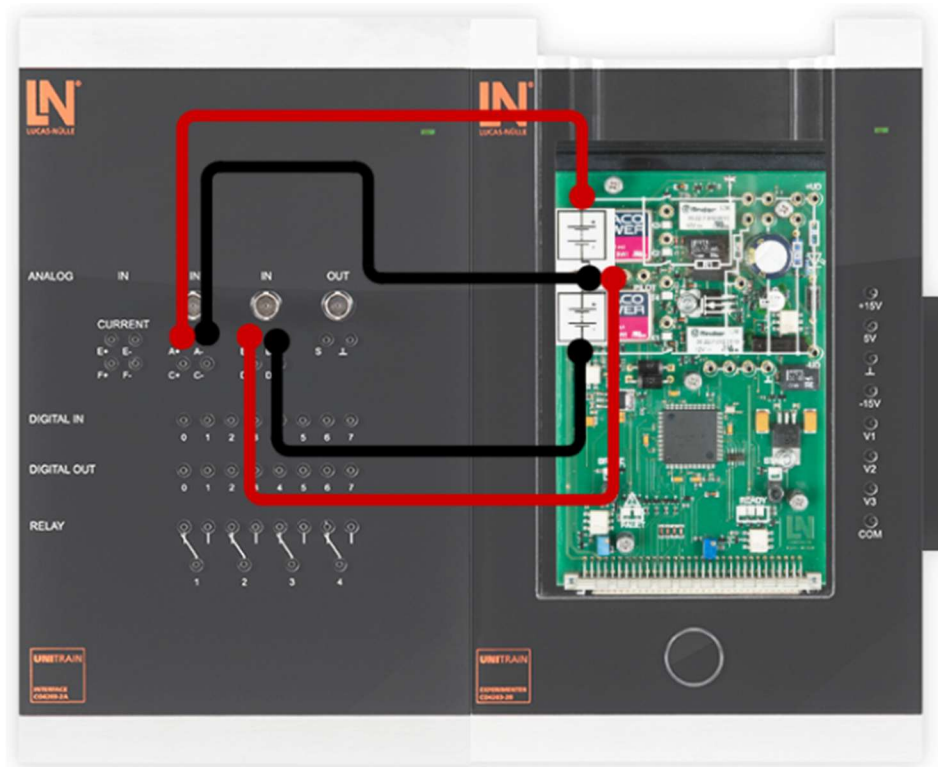


Рис. 5.22. Вимірювання параметрів високовольтної акумуляторної батареї. Фінальна конфігурація стенда LS для проведення експерименту № 1

**Надайте відповідь на запитання:**

1. Яке значення вимірної напруги на вольтметрі каналу А?  
а) значення напруги на вольтметрі каналу А \_\_\_ В.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

2. Яке значення виміряної напруги на вольтметрі каналу В?
  - а) значення напруги на вольтметрі каналу В \_\_\_ В.
3. Яке із наведених тверджень відповідає дійсності для сумарного значення напруги каналів А та В?
  - а) сумарна напруга дорівнює напрузі, що була виміряна в експерименті № 1;
  - б) сумарна напруга набагато вища за повну напругу акумуляторної батареї, що була виміряна в експерименті № 1;
  - в) розрахована сумарна напруга набагато нижча за повну напругу акумуляторної батареї, що була виміряна в експерименті № 1.
4. Який компонент з'єднує/роз'єднує два акумуляторні блоки?
  - а) блокатор (interlock);
  - б) системне реле (system relay);
  - в) сервісний роз'єм (service plug).
5. Ураховуючи, що напруга високовольтної акумуляторної батареї реального електромобіля більша за напругу стенда в 10 разів, як вплине на рівень безпеки її розділення на два окремі блоки?
  - а) напруга кожного блока акумуляторів нижча, ніж напруга всієї батареї. Це робить систему дещо більш безпечною;
  - б) напруга кожного блока акумуляторів вища, ніж напруга всієї батареї. Це робить систему дещо більш безпечною;
  - в) напруга кожного блока акумуляторів дорівнює напрузі всієї батареї. Завдяки цьому система залишається безпечною.

## **4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї**

### **4.4.2. Частина № 2. Ізоляція/відключення напруги**

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитись із теоретичною частиною, що викладена в пунктах 4.3.10–4.3.12. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Experiment: Voltage isolation/disconnection.

На практиці, у майстернях станцій технічного обслуговування (СТО), вимірювання параметрів високовольтних акумуляторних батарей можуть проводити тільки особи, які мають на це спеціальний дозвіл (допуск).

#### **4.4.2.1. Експеримент № 1. Перевірка засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) і використання вимірювального обладнання**

Захисні рукавички повинні відповідати ряду вимог, щоб забезпечувати надійний захист під час роботи. Перед початком виконання експерименту слід візуально оглянути рукавички й перевірити за наступними критеріями:

- відповідність даті останньої перевірки та загального терміну експлуатації рукавичок вимогам експлуатації;
- відповідність класу захисту для роботи з певним класом напруги;
- відсутність тріщин;
- відсутність плям від заломів на місці згину;
- відсутність потертих ділянок;
- відсутність вологої плівки;

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

- наявність надрукованого державного або світового стандарту на манжеті рукавички.

Для перевірки герметичності рукавичок необхідно скрутити їх, починаючи з кінця в напрямку пальців (Рис. 5.23), та переконатись, що вони здатні утримувати повітря. Оцінити наявність витoku повітря можна на слух або візуально, спостерігаючи наявність/відсутність здування рукавичок.

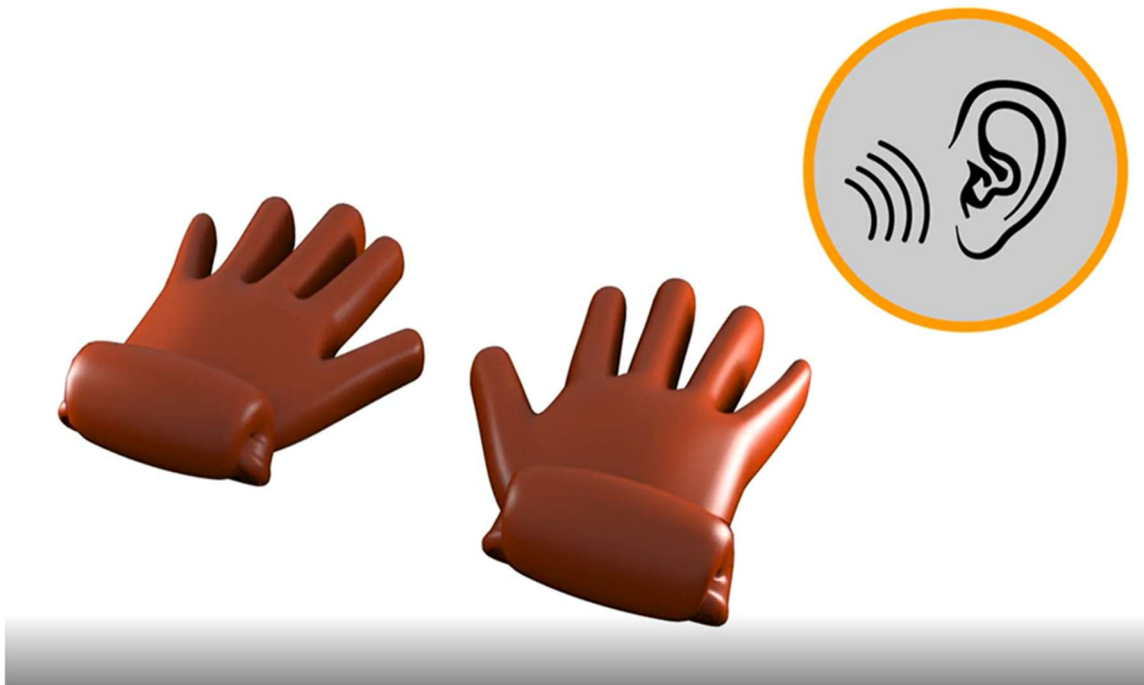


Рис. 5.23. Перевірка герметичності захисних рукавичок

Після перевірки рукавичок відповідності стандартам та експлуатаційним вимогам необхідно провести вимірювання напруги, що формує на своїх виходах Експериментатор «UniTrain». Для цього необхідно використати двополісний тестер напруги (two-pole voltage

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

tester) LM8302 (Fluke T110), основні функції якого наведені в пункті 4.3.12.

Для відпрацювання базових навичок використання двополюсного тестера напруги необхідно виконати наступний порядок дій:

1. Вдягнути захисні рукавички.
2. Взяти в кожну руку окремий щуп (L1 та L2) тестера.
3. Під'єднати тестер до точок "+15 В" і заземлення "L" на експериментаторі для визначення рівня напруги, як це показано на Рис. 5.24.
4. Спостерігати індикацію на приладі.



Рис. 5.24. Підключення двополюсного тестера напруги до виводів стенда LN

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

**Надайте відповідь на запитання:**

- 1) Яке з наступних тверджень є вірним щодо ізоляції/відключення напруги?
  - a) ізоляція напруги досягнута тільки тоді, коли світиться світлодіодний індикатор напруги "12";
  - b) ізоляція напруги досягнута тільки тоді, коли світиться світлодіодний індикатор напруги "24";
  - c) ізоляція напруги досягнута тільки тоді, коли не світиться жоден світлодіодний індикатор напруги.

#### 4.4.2.2. Експеримент № 2. Підготовка системи електромобіля до обслуговування

Спочатку необхідно виконати запуск системи за допомогою кнопок «Start» і «Brake», як це було описано в розділі 3.3.1, сконфігурувавши систему відповідним чином (Рис. 5.25). Для відстежування покрокового процесу конфігурування стенда необхідно прокрутити поточну сторінку вниз до розділу «**Experiment 2**».

Після запуску системи необхідно встановити попереджувальний знак (Рис. 5.26), що сигналізує про наявність напруги в системі, а, отже, і небезпеки ураження струмом. Спосіб завантаження попереджувальних знаків описаний у пункті 4.3.10.



## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.4.2.3. Експеримент № 3. Ізоляція високовольтної акумуляторної батареї

Для проведення наступного експерименту слід прокрутити сторінку в LS нижче до розділу «**Experiment 3**».

Не змінюючи конфігурацію стенда після попереднього експерименту, необхідно виконати відключення кришки сервісного роз'єму (Service plug) електромобіля, як це показано на Рис. 5.27. Від'єднання перемички повинно виконуватись обов'язково у захисних рукавичках. Помаранчева перемичка на модулі "Високовольтна батарея із системними реле" виконує функції корпусу (кришки) сервісного роз'єму реального електромобіля. Вбудований у модуль мікроконтролер здатен імітувати реакцію системи електромобіля на відключення або підключення цієї перемички.

Для встановлення відповідності виконаним діям реальному процесу від'єднання кришки сервісного роз'єму необхідно подивитись відео в LS, що знаходиться справа від схеми з'єднання.

У залежності від роздільної здатності приладу, на якому відбувається перегляд, і налаштувань масштабу сторінки LS дане відео може бути прихованим. Щоб його побачити, необхідно змінити масштаб, користуючись кнопками (Рис. 5.28), чи скористатись комбінацією клавіш [Ctrl+колесо «миші»] або [Ctrl + «+»«-»]. Відео буде знаходитися справа від схеми під'єднання. Із процесом від'єднання кришки сервісного роз'єму також можна ознайомитися, скориставшись Таблицею 5.8.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї



Рис. 5.27. Ізоляція/відключення напруги. Фінальна конфігурація схеми. Від'єднання помаранчевої перемички (кришки сервісного роз'єму)



Рис. 5.28. Кнопки зміни масштабу вікна LS

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Таблиця 5.8. Процес від'єднання кришки сервісного роз'єму

№	Зображення	Порядок дій
1		Відкрити лючок сервісного роз'єму та отримати доступ до відсіку сервісного роз'єму (Service plug) електромобіля
2		Зняти кришку сервісного роз'єму (Service plug)
3		Отримати вільний доступ до сервісного роз'єму (Service plug)

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Вийнявши помаранчеву перемичку, блокатор (Interlock) роз'єднається також. Той самий ефект досягається, коли знімається кришка (заглушка) роз'єму сервісного обслуговування автомобіля.

##### 4.4.2.4. Експеримент № 4. Повне відключення високовольтної акумуляторної батареї

Для проведення наступного експерименту слід прокрутити сторінку в LS нижче до розділу «**Experiment 4**».

Не змінюючи конфігурацію з попереднього експерименту, необхідно виконати повне відключення акумуляторної батареї електромобіля шляхом від'єднання з'єднувальної вставки (перемички)(bridging plug) (Рис. 5.29, п.А), що знаходилася під помаранчевою перемичкою. Від'єднання перемички повинно виконуватись у захисних рукавичках.

Від'єднання з'єднувальної вставки відключає високовольтну батарею. Той самий ефект досягається, якщо витягнути сервісний роз'єм для проведення технічного обслуговування. Вбудований у модуль мікроконтролер імітує реакцію системи за аналогічним принципом, що і в реальному електромобілі.

Для відстежування реального процесу від'єднання сервісного роз'єму електромобіля необхідно подивитись відео в LS, що знаходиться справа від схеми під'єднання.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

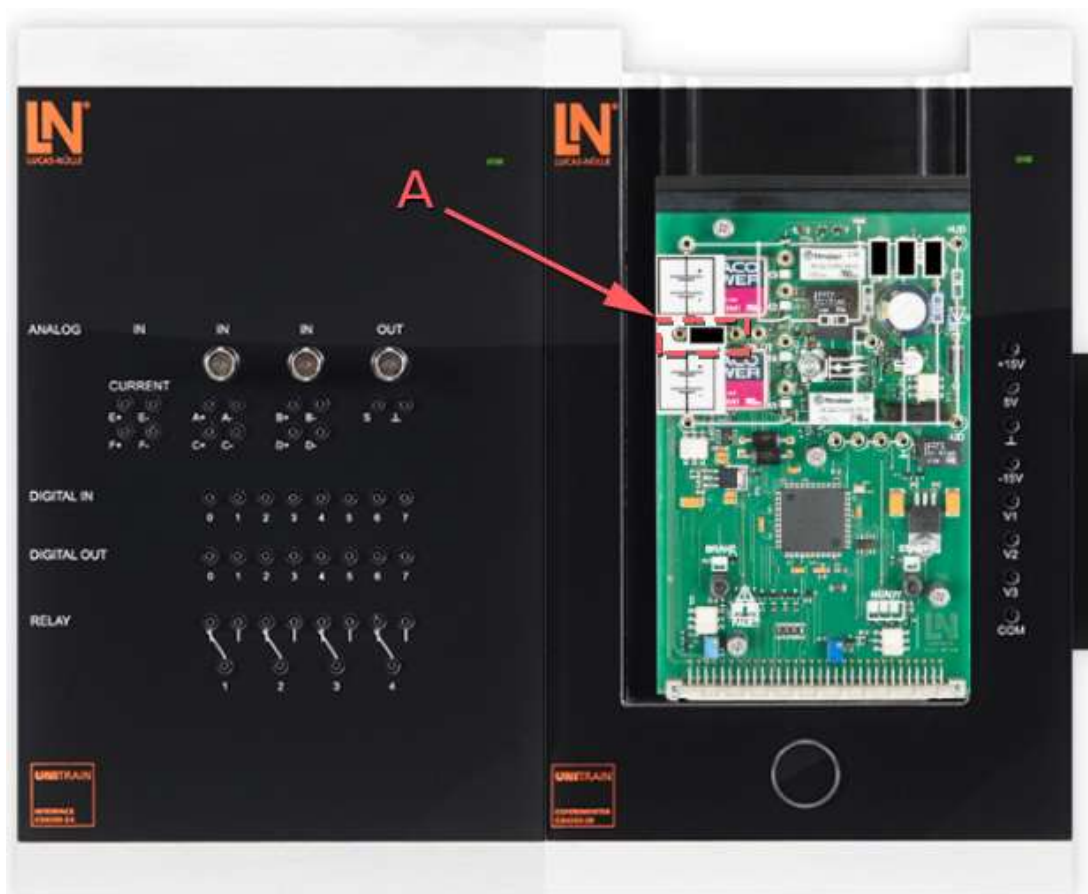


Рис. 5.29. Ізоляція/відключення напруги. Фінальна конфігурація схеми. Від'єднання з'єднувальної вставки (перемички) сервісного роз'єму (А)

Для встановлення відповідності виконаним діям реальному процесу від'єднання сервісного роз'єму (Service plug) необхідно подивитись відео в LS, що знаходиться справа від схеми з'єднання для даного експерименту. Із процесом від'єднання кришки сервісного роз'єму (Service plug) також можна ознайомитися, скориставшись Таблиця 5.9.

Процес від'єднання сервісного роз'єму може відрізнитись у залежності від фірми виробника й моделі електромобіля.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Таблиця 5.9. Процес від'єднання сервісного роз'єму електромобіля

№	Зображення	Кроки
1		Посунути ручку сервісного роз'єму (Service plug) вперед за спеціальне вушко, розблокувавши механізм
2		Підняти ручку сервісного роз'єму (Service plug) вертикально вгору
3		Повністю витягнути сервісний роз'єм (Service plug), тим самим повністю від'єднавши акумуляторну батарею

#### 4.4.2.5. Експеримент № 5. Перевірка ізоляції високовольтної акумуляторної батареї

Для проведення наступного експерименту слід прокрутити сторінку в LS нижче до розділу «**Experiment 5**».

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Не змінюючи конфігурацію з попереднього експерименту, необхідно виміряти напругу на роз'ємах +UD і -UD модуля «HV батарея із системними реле» (Рис. 5.30) за допомогою двополюсного тестера напруги LM8302. Після під'єднання тестера спостерігати за його індикацією.



Рис. 5.30. Ізоляція/відключення напруги. Перевірка ізоляції напруги між контактами +UD і -UD

#### Надайте відповідь на запитання:

1. Яке з наступних тверджень є вірним щодо ізоляції/відключення напруги?
  - а) ізоляція напруги досягнута тільки тоді, коли світиться світлодіодний індикатор напруги "12";

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

- b) ізоляція напруги досягнута тільки тоді, коли світиться світлодіодний індикатор напруги "24";
- c) ізоляція напруги досягнута тільки тоді, коли не світиться жоден світлодіодний індикатор напруги.

##### 4.4.2.6. Експеримент № 6. Контроль відсутності напруги у високовольтній батареї

Для проведення наступного експерименту слід прокрутити сторінку в LS нижче до розділу «**Experiment 6**».

Одразу після завершення вимірів з минулого розділу, для повної впевненості в їхній адекватності, слід перевірити справність вимірювального тестера напруги шляхом контрольного вимірювання напруги на точках "+15 В" і заземлення "1" експериментатора (Рис. 5.31).

У разі наявності аналогічної індикації, що була отримана у ході виконання експерименту № 1 пункту 4.4.2.1, є підстави вважати, що високовольтна система повністю вимкнена. Для позначення даного факту слід використовувати спеціальний попереджувальний знак (Рис. 5.32), що символізує можливість безпечної роботи (обслуговування) електромобіля.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї



Рис. 5.31. Ізоляція/відключення напруги. Контрольна перевірка справності двополюсного тестера напруги LM8302



Рис. 5.32. Попереджувальний знак ізольованого транспортного засобу (non-isolated vehicles)

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Після відключення високовольтної батареї необхідно заповнити форму протоколу проведення процедури відключення, що була описана в пункті 4.3.10.

Перед заповненням форми її треба відкрити, натиснувши на позначку Рис. 5.33 наприкінці поточної сторінки експерименту, після чого завантажити протокол на РС, натиснувши на відповідну позначку (Рис. 5.34) п.А у вікні, що відкрилось.



Рис. 5.33. Кнопка доступу до форми протоколу в середовищі LS



Рис. 5.34. Вікно збереження форми протоколу: А – кнопка збереження

Завантажений протокол слід відкрити в редакторі PDF документів: Adobe Acrobat, Foxit PDF Reader, PDF-XChange Editor тощо. Деякі з полів завантаженого документу мають вікна, що конфігуруються при натисканні «мишкою»: поле вводу дати «Date» і чекбокси «».

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

##### Порядок заповнення протоколу:

1. Протокол заповнюється англійською мовою.
2. У шапці документу в полі «Name» слід вказати назву поточного виду робіт – «Battery Isolation». У полі «Date» вказати дату проведення лабораторної роботи. У полі «Class» вказати тип роботи, що проводиться з електромобілем: профілактичне обслуговування (MTNC – Maintenance) або ремонт – RPR (Repair).
3. У пункті «1. Vehicle Information:» вказати довільну марку електромобіля й VIN-номер (Vehicle Identification Number), що складається з 17 символів.
4. У пункті «2. Measurement Device (if required):» вказати параметри обладнання для вимірювання, що використовувалось у ході проведення лабораторної роботи.
5. У пункті «3. Testing of Measurement Device:» ввести очікуване значення в таблицю.
6. У пункті «4. High Voltage System Deactivation» відповісти на запитання, користуючись чекбоксами «», і заповнити таблицю відповідними значеннями.
7. Після надання відповідей на всі запитання документу ввести власне ім'я в полі «Name of technician», вказати дату проведення лабораторної роботи «Date» та продублювати ім'я в полі «Signature». У полі «Signature (Instructor):» вказати ім'я викладача, який проводить лабораторну роботу, і вказати дату.
8. У полі «Feedback» дати коротку зворотню реакцію із приводу успішності проведення поточного виду робіт.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

9. Далі необхідно зберегти виконані зміни та присвоїти ім'я файлу, що складається із [Прізвища та ініціалів студента] + [номера академічної групи].
10. Після заповнення форми необхідно вставити її у звіт із лабораторної роботи окремим листом PDF або прив'язаним PDF файлом у документі (у цьому разі документ надсилається разом зі звітом в одному архіві).

Для вставлення PDF сторінки в Word, що буде мати прив'язку до PDF файлу та реагуватиме на зміни в ньому, необхідно:

1. Перейти у Word на вкладку [Вставлення], обрати пункт [Текст], обрати позначку [Об'єкт].
2. У вікні, що з'явилося, обрати вкладку [Створення з файлу]. У полі вибору файлу натиснути кнопку [Огляд] й обрати PDF документ заповненої форми.
3. Для зміни типу відображення на сторінці слід обрати різні види додаткових налаштувань у вигляді чекбоксів «» у вікні [Створення з файлу].
4. Вирівняти вставлену сторінку документу або піктограму відповідно до розмірів листа звіту.

#### 4.4.3. Частина № 3. Вимірювання й механізми ізоляції високої напруги

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитись із теоретичною частиною, що викладена в пунктах 4.3.1–4.3.7. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Measurements on an HV isolation mechanism.

У даній частині лабораторної роботи проводяться вимірювання напруги модуля «HV батарея із системними реле» перед і після реле К1 та К3 (Рис. 2.3, Рис. 5.6) з метою дослідження механізмів ізоляції (відключення) акумуляторної батареї електромобіля.

##### 4.4.3.1. Експеримент № 1. Вимірювання напруги в системі до та після її запуску

Для проведення наступного експерименту слід прокрутити відкриту сторінку в LS нижче до розділу «**Experiment 1**» і сконфігурувати стенд за схемою, що показана на Рис. 5.35. Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитись на сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації стенда необхідно налаштувати віртуальні вимірювальні прилади. У цьому разі необхідно налаштувати вольтметри каналів С і D (VOLTMETER C і VOLTMETER B) відповідно до інформації в Таблиці 5.10.

Для цього експерименту необхідно використовувати подвійні вольтметри (DUAL VOLTMETER), що здатні відображати обидва канали віртуальних вольтметрів у рамках одного вікна. Відкрити віртуальні вольтметри можна за допомогою меню віртуальних приладів (Рис. 3.5, п.2) або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту LS.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

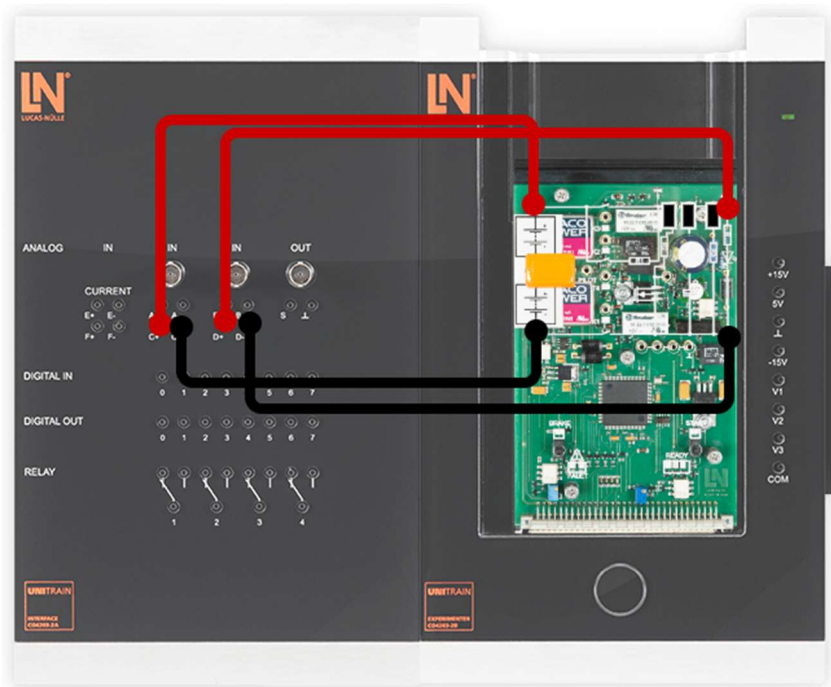


Рис. 5.35. Вимірювання та механізми ізоляції високої напруги.  
Фінальна конфігурація стенда для вимірювання напруги в системі до  
та після її запуску

Таблиця 5.10. Налаштування подвійного вольтметра (DUAL  
VOLTMETER) каналів C і D

	CHANNEL C	CHANNEL D
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RANGE: 50 V</li> <li>▪ MODE: RMS</li> <li>▪ DC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RANGE: 50 V</li> <li>▪ MODE: RMS</li> <li>▪ DC</li> </ul>

Після налаштування віртуальних приладів необхідно зробити виміри напруги до запуску системи та після нього з метою їх порівняння.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

##### Надайте відповідь на запитання:

1. Яке значення напруги було виміряно на високовольтній акумуляторній батареї (канал C) до запуску системи?
  - а) значення виміряної напруги каналу C до запуску системи становить \_\_\_ В.
2. Яке значення напруги було виміряно після реле K1 і K3 між точками +UD та -UD (канал D) до запуску системи?
  - а) у точках контакту +UD і -UD, до запуску системи, значення виміряної напруги становить \_\_\_ В.
3. Яке значення напруги було виміряно на високовольтній акумуляторній батареї (канал C) після запуску системи?
  - а) значення виміряної напруги каналу C після запуску системи становить \_\_\_ В.
4. Яке значення напруги було виміряно після реле K1 і K3 між точками +UD та -UD (канал D) після запуску системи?
  - а) у точках контакту +UD і -UD, після запуску системи, значення виміряної напруги становить \_\_\_ В.

#### 4.4.3.2. Експеримент № 2. Запуск системи без кришки сервісного роз'єму

Для проведення наступного експерименту слід прокрутити сторінку в LS нижче до розділу «**Experiment 2**».

Не змінюючи конфігурацію з попереднього експерименту, необхідно вимкнути систему й витягнути помаранчеву перемичку (Рис. 5.36), що виконує функцію кришки сервісного роз'єму (Service plug). Далі слід відкрити подвійний вольтметр (DUAL VOLTMETER)

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

каналів C і D та налаштувати його відповідно до інформації в Таблиці 5.10.

Після чого виконати запуск системи та спостерігати за її реакцією за допомогою вольтметрів і світлодіодів індикації модуля. Система не повинна запускатись.

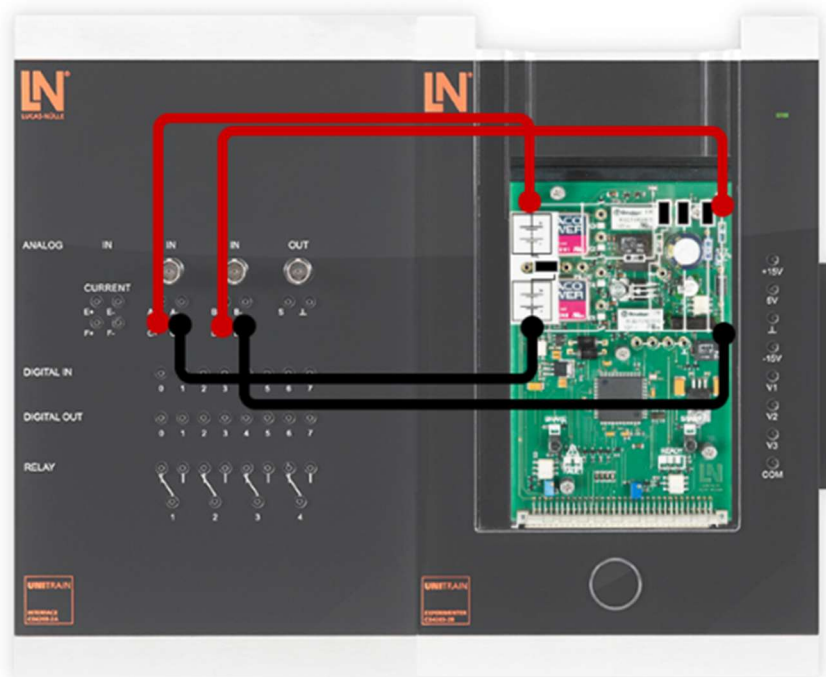


Рис. 5.36. Вимірювання напруги в системі до та після її запуску.  
Фінальна конфігурація стенда. Від'єднання помаранчевої перемички  
(кришки сервісного роз'єму)

#### Надайте відповідь на запитання:

1. Яке значення напруги було виміряно на високовольтній акумуляторній батареї, коли помаранчева перемичка була витягнута? (канал C)?

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

- а) на високовольтній акумуляторній батареї, до запуску системи, значення вимірної напруги становило \_\_\_ В.
2. Яке значення напруги було виміряно після реле К1 і К3 між точками +UD та -UD (канал D) до пуску системи, коли помаранчева перемикачка була витягнута?
- а) у точках контакту +UD і -UD, до пуску системи, значення вимірної напруги становило \_\_\_ В.
3. Яке значення напруги високовольтної акумуляторної батареї (Канал С) було виміряно в момент спроби пуску системи?
- а) значення напруги під час пуску системи (канал С) становило \_\_\_ В
4. Яке значення напруги було виміряно після реле К1 і К3 між точками +UD та -UD (канал D) після спроби пуску системи?
- а) у точках контакту +UD і -UD, у момент спроби пуску системи, значення вимірної напруги становило \_\_\_ В.

#### 4.4.3.3. Експеримент № 3. Запуск системи без сервісного роз'єму

Для проведення наступного експерименту слід прокрутити сторінку в LS нижче до розділу «**Experiment 3**».

Не змінюючи конфігурацію з попереднього експерименту, необхідно вимкнути систему й витягнути з'єднувальну вставку (перемикачку) сервісного роз'єму (Рис. 5.37, Рис. 5.29, п.А).

Далі слід відкрити подвійний вольтметр (DUAL VOLTMETER) каналів С і D та налаштувати його згідно з інформацією в Таблиці 5.10.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

Після чого виконати запуск системи та спостерігати за її реакцією за допомогою вольтметрів і світлодіодів індикації. Система не повинна запуснитись.

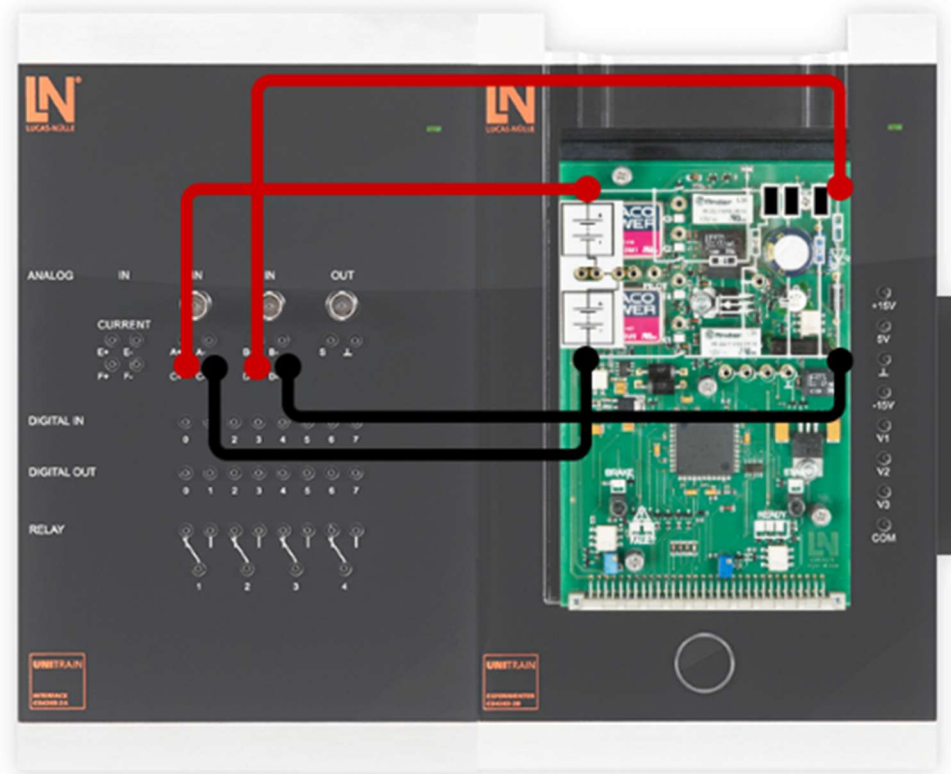


Рис. 5.37. Вимірювання напруги в системі до та після її запуску.  
Фінальна конфігурація стенда. Від'єднання перемички сервісного роз'єму

**Надайте відповідь на наступні запитання:**

1. Яке значення напруги було виміряно на високовольтній акумуляторній батареї, коли перемичка сервісного роз'єму була витягнута? (канал С)
  - а) на високовольтній акумуляторній батареї, до запуску системи, значення вимірної напруги становило \_\_\_ В.

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

2. Яке значення напруги було виміряно після реле К1 і К3 між точками контакту +UD та -UD (канал D) до запуску системи, коли перемичка сервісного роз'єму була витягнута?
  - а) у точках контакту +UD і -UD, до запуску системи, значення вимірної напруги становило \_\_\_В.

#### 4.5. Контрольні питання

1. Який режим роботи електричної машини може забезпечити повернення частини енергії назад в акумуляторну батарею під час руху?
2. Які знаки візуальної ідентифікації електромобілів найбільш розповсюджені в Україні?
3. Які існують методи збереження змінного струму в акумуляторній батареї?
4. Яким чином відбувається зарядка акумуляторної батареї класичного гібридного автомобіля? У чому їх відмінність від Plug-in гібридів?
5. Яка технологія виготовлення акумуляторної батареї електромобіля на сьогодні є найбільш популярною? Які переваги й недоліки вона має?
6. Чи дорівнює напруга, що подається на тяговий двигун (Traction motor), напрузі акумуляторної батареї електричного транспортного засобу?
7. Як називається блок, що складається з кількох комірок акумуляторної батареї електромобіля?

#### 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

8. Яким чином можна досягти збільшення ємності збірки акумуляторних комірок з одночасним збільшенням її напруги?
9. За допомогою якого механізму виконується повне від'єднання акумуляторної батареї електромобіля на період проведення ремонтних або діагностичних робіт?
10. Який діапазон постійної та змінної напруги вважається умовно безпечним для роботи?
11. Який клас захисту захисних рукавичок, згідно зі стандартом ІЕС, необхідно застосовувати під час роботи з напругою 750 В?
12. Яким чином проводиться контроль відсутності напруги у високовольтній системі електромобіля?
13. Який прилад використовується для перевірки відсутності напруги в рамках лабораторної роботи?
14. Аналогом якого реального приладу електромобіля є помаранчева перемичка модуля «HV батарея із системними реле»?
15. Аналогом якого реального приладу електромобіля є перемичка, що знаходиться під помаранчевою перемичкою модуля «HV батарея із системними реле»?
16. Яка реакція системи електромобіля має бути на від'єднання кришки сервісного роз'єму електромобіля?
17. Яким чином відбувається попередження співробітників СТО про стан ізоляції акумуляторної батареї електромобіля?

## 4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї

### 4.6. Формування звіту

Кожен здобувач повинен отримати допуск до захисту роботи шляхом особистого або групового виконання лабораторної роботи № 2 за стендом Lucas-Nuelle та формування звіту.

#### 4.6.1. Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи формується з використанням універсального інтерактивного шаблону у форматі PDF, що надається викладачем.

Шаблон містить текстові поля та поля для вставлення зображень, що забезпечує послідовне структурування звіту за результатами проведених експериментів, а також для надання відповідей на контрольні запитання.

Зміст і структура звіту визначаються формою наданого PDF-шаблону. Під час виконання лабораторної роботи здобувач вищої освіти повинен фіксувати процес виконання на фото для подальшого додавання відповідних матеріалів до звіту.

Звіт подається викладачу у друкованому або електронному вигляді (способи подання є рівноцінними). Надсилати електронний звіт здобувач повинен виключно із власної корпоративної пошти Outlook на корпоративну пошту викладача, який проводить курс лабораторних робіт. Формуючи лист, здобувач повинен обов'язково вказати тему листа, що має наступні складові: «Лабораторна робота № 1, «Назва дисципліни (аббревіатура)», «Прізвище та ініціали здобувача», «номер академічної групи». Лист повинен бути складений в офіційно-діловому стилі й містити чіткий опис суті звернення.

#### **4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання параметрів високовольтної батареї**

Зокрема, це може бути: звіт для перевірки, питання щодо виконання лабораторної роботи (із детальним описом питання), повторна подача звіту, технічне питання тощо.

## Глосарій

**Plug-in (штекерний)** – тип електричного з'єднання, що дозволяє легко підключати й відключати різні електронні компоненти або модулі до друкованої плати (PCB) без потреби в пайці.

**Connectable (Під'єднуваний)** – термін, що використовується для опису окремого елемента або компонента, який може бути підключений до системи або пристрою ззовні без необхідності постійного з'єднання.

**Powertrain (Силова частина електромобіля)** – сукупність компонентів електромобіля, що забезпечують його рух. Включає електродвигун, акумуляторну батарею, інвертор, систему передачі та інші допоміжні системи, що відповідають за генерування, передачу й управління енергією для руху транспортного засобу.

**Знижуючий (buck) конвертер** – тип DC/DC конвертера, що знижує вхідну постійну напругу до нижчого рівня на виході.

**Підвищуючий (boost) конвертер** – тип DC/DC конвертера, що підвищує вхідну постійну напругу до вищого рівня на виході.

**Main relay (Головне реле)** – електромеханічний компонент, що управляє підключенням і відключенням високовольтної частини системи електромобіля, включаючи акумуляторну батарею й інші критично важливі елементи.

**Pre-charge (Попереднє зарядження)** – процес попереднього зарядження конденсаторів у системі електромобіля перед увімкненням головного реле.

**Positive relay** (Позитивне реле) – реле, яке управляє підключенням або відключенням позитивної (плюсової) сторони електричного кола.

**Negative relay** (Негативне реле) – реле, яке управляє підключенням або відключенням негативної (мінусової) сторони електричного кола.

**Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor** (MOS-FET транзистор) – тип польового транзистора, що використовує електричне поле для контролю струму через напівпровідниковий матеріал.

**Drive motor** (Тяговий двигун) – електричний двигун, що забезпечує рух транспортного засобу, перетворюючи електричну енергію в механічну.

**Traction batteries** (Тягові акумулятори) – акумулятори, призначені для забезпечення енергії, необхідної для руху електричних транспортних засобів, таких як: електровелосипеди (e-bikes), електричні скутери, мопеди та інше. Діапазон напруги зазвичай знаходиться в межах 24–96 В постійного струму (DC). Вони характеризуються високою енергоємністю та здатністю витримувати великі цикли заряд-розряд.

**HV batteries** (Високовольтні акумулятори) – акумулятори, які працюють за напруги, що значно перевищує стандартні значення для низьковольтних систем, зазвичай понад 60 В (DC). Використовуються в електромобілях і гібридних транспортних засобах для живлення як основних, так і допоміжних систем, забезпечуючи ефективну передачу енергії.

**Discharge rate** (Струмовіддача) – здатність акумулятора віддавати електричний струм за певний проміжок часу. Вимірюється в амперах (A) або як частка від ємності акумулятора (наприклад,  $1C$ , де  $C$  – ємність акумулятора в ампер-годинах). Визначає, з якою швидкістю акумулятор може віддавати енергію без шкоди для своєї продуктивності й терміну служби.

**Thermal runaway** (Термічний розгін) – неконтрольоване самозігрівання літій-іонного акумулятора, яке виникає внаслідок внутрішніх хімічних реакцій, що призводять до швидкого підвищення температури. Цей процес може спричинити плавлення або займання матеріалів акумулятора, вивільнення горючих газів, а в найгірших випадках – вибух або пожежу.

**EMVs** (Electric Motor Vehicles) – транспортні засоби, що використовують електродвигун як основне або допоміжне джерело руху. Це можуть бути як повністю електричні транспортні засоби (electric vehicles, EVs), так і гібридні транспортні засоби (hybrid vehicles), що поєднують електродвигун із двигуном внутрішнього згорання.

**Cells** (Елементи або комірки) – базові складові акумуляторної батареї, кожен з яких являє собою окрему електрохімічну комірку, що може зберігати й віддавати електричну енергію. Кілька з'єднаних між собою елементів утворюють акумуляторну батарею, що забезпечує необхідну напругу та ємність для роботи електронних пристроїв або транспортних засобів. Елементи можуть бути з'єднані послідовно або паралельно для досягнення потрібних електричних характеристик.

**Interlock/pilot** (Блокування/керування) – система безпеки та управління, що використовується в електромобілях для забезпечення правильного й безпечного підключення та відключення компонентів високовольтної системи. Лінія блокування (interlock) запобігає випадковому включенню або відключенню системи під час технічного обслуговування або зарядки, а лінія керування (pilot) здійснює контроль за процесом зарядки та з'єднання. В електромобілях компанії Toyota ця лінія вбудована в перемикач сервісного роз'єму, забезпечуючи додатковий рівень безпеки й ефективності.

**Active discharge** (Активне розрядження) – процес цілеспрямованого зниження залишкової напруги у високовольтній системі електромобіля після вимкнення або під час обслуговування. Цей процес здійснюється за допомогою спеціального резистора активного розрядження (active discharge resistor), що швидко й безпечно розряджає акумулятор або конденсатори, знижуючи напругу до безпечного рівня для запобігання ураження електричним струмом та інших небезпек.

**Passive (constant) discharge circuit** (Пасивне (стабільне) розрядження) – це електрична схема, що використовує пасивні компоненти, такі як резистори, для поступового зниження напруги в системі. Використовується для безпечного розрядження конденсаторів або інших енергозберігаючих компонентів, коли немає необхідності у швидкому зниженні напруги.

**OEM procedure** (Original Equipment Manufacturer (Процедура виробника оригінального обладнання)) – стандартні операційні процедури, розроблені й затверджені виробником оригінального

обладнання для обслуговування, ремонту або модифікації транспортного засобу чи його компонентів. Ці процедури забезпечують відповідність усім технічним вимогам і стандартам якості, установленим виробником.

**Меандр** – форма сигналу або графіка, що має серію прямокутних або схожих хвильоподібних піків і спадів. У контексті електроніки та сигналів, меандр використовується для позначення сигналу із чітко визначеними рівнями напруги, які змінюються на постійні відрізки часу, що забезпечує його використання в різних цифрових і аналогових системах.

**ABS** (Anti-lock Braking System) – система, що запобігає блокуванню коліс під час гальмування, дозволяючи підтримувати керованість автомобіля та скорочувати гальмівний шлях на слизьких поверхнях. ABS автоматично регулює гальмівний тиск на кожному колесі, щоб запобігти їх блокуванню.

**ESP** (Electronic Stability Program) – система електронної стабілізації, що допомагає зберігати стійкість і керованість автомобіля під час критичних маневрів, таких як раптове ухилення або поворот. ESP здійснює контроль над кожним колесом індивідуально, коригуючи гальмівний тиск і крутний момент двигуна для запобігання заносу чи ковзанню автомобіля.

**SoC** (State of Charge) – відсотковий показник, що визначає рівень заряду акумуляторної батареї в електромобілі або іншому пристрої з акумуляторним живленням. SoC відображає співвідношення між фактичною кількістю енергії, що зберігається в батареї, та її максимальною ємністю.

**SoH** (State of Health) – показник, що визначає загальний стан і продуктивність акумуляторної батареї в порівнянні з її початковим станом. SoH оцінює, наскільки ефективно батарея може зберігати й віддавати енергію, відображає ступінь деградації батареї із часом і використанням.

## Список використаних джерел

1. Bongartz B., Brown D., Klingler C., Schulz S. UniTrain course “Electric drive in cars, commercial vehicles and two-wheelers”. Kerpen (Sindorf), Germany : Lucas-Nülle GmbH, 2021. Course CO4204-6N.
2. Lucas Nülle — UniTrain Interface with virtual instruments. URL:<https://www.lucas-nuelle.us/2776/pid/32482/apg/17354/UniTrain-Interface-with-virtual-instruments-basic-VI-.htm> (дата звернення: 10.07.2024).
3. Lucas Nülle — UniTrain Experimenter. URL: <https://www.lucas-nuelle.us/2776/pid/33250/apg/17850/UniTrain-Experimenter.htm> (дата звернення: 10.07.2024).
4. Lucas Nülle — Course: HV Battery with Smart Relays. URL: <https://www.lucas-nuelle.us/2769/pid/35267/apg/18891/Course:-HV-Battery-with-Smart-Relays.htm> (дата звернення: 10.07.2024).
5. Lucas Nülle — UniTrain measurement accessories, shunts and connection cables. URL: <https://www.lucas-nuelle.us/2776/pid/32483/apg/17354/UniTrain-measurement-accessories,-shunts-and-connection-cables.htm> (дата звернення: 10.07.2024).
6. Lucas Nülle — Composite Insulating Gloves, Class 0. URL: <https://www.lucas-nuelle.us/2769/pid/31793/apg/16537/Composite-Insulating-Gloves,-Class-0.htm> (дата звернення: 10.07.2024).
7. Lucas Nülle — Two-pole voltage tester, 12–690 V AC/DC CAT III 690 V, CAT IV 600 V. URL: <https://www.lucas-nuelle.us/2769/pid/33182/apg/17780/Two-pole-voltage-tester,-12-690V-AC-DC-CAT-III-690V,-CAT-IV-600V.htm> (дата звернення: 10.07.2024).

## Список використаних джерел

8. Lucas Nülle — Multi13S digital multimeter. URL: <https://www.lucas-nuelle.us/2769/pid/1703/apg/1161/Multi13S-digital-multimeter.htm> (дата звернення: 10.07.2024).
9. Electrical Tester | Fluke T110 Voltage and Continuity Tester. URL: <https://www.fluke.com/en-gb/product/electrical-testing/basic-testers/fluke-t110> (дата звернення: 23.07.2024).

Навчальне видання

**Бешта** Олександр Степанович  
**Бешта** Олександр Олександрович  
**Худолій** Сергій Сергійович  
**Халаїмов** Тарас Олександрович

**ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ  
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

У 3 частинах

Частина 1

**ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИСОКОВОЛЬТНОЇ БАТАРЕЇ**

Видано в авторській редакції

Відповідальний за випуск Т.О. Халаїмов

м. Дніпро