

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



**ЕЛЕКТРИЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ**

Навчальний посібник

У 3 частинах

Частина 2

**СИСТЕМНІ РЕЛЕ ВИСОКОЇ НАПРУГИ АКУМУЛЯТОРНОЇ
БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ**

Навчальний посібник

Дніпро
НТУ «ДП»
2026

УДК 629.349-838:621.355:621.316.5

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. 2. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля / 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. – 124 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 629.349-838:621.355:621.316.5

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

©НТУ «Дніпровська політехніка», 2026

Зміст

Список умовних позначень	5
Передмова.....	7
Вступ.....	8
5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги аккумуляторної батареї електромобіля.....	9
5.1. ТЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	9
5.2. МЕТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	9
5.3. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	10
5.3.1. Режим готовності «Ready mode».....	10
5.3.2. Класичні головні системні реле високої напруги.....	15
5.3.3. Розумні системні реле «Smart system relays». Діаграма послідовності увімкнення	22
5.3.4. Блокування «Interlock».....	35
5.3.5. Конденсатори та контури їх розрядження	43
5.3.6. Контур активного розрядження конденсаторів.....	47
5.3.7. Контур пасивного розрядження конденсаторів.....	51
5.4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ.....	53
5.4.1. Частина № 1. Визначення послідовності увімкнення класичних системних реле	53
5.4.2. Частина № 2. Дослідження розумних системних реле «smart system relays»	59
5.4.3. Частина № 3. Дослідження випадків несправності розумних системних реле	63

5.4.4. Частина № 4. Дослідження системи блокування «Interlock»	93
5.4.5. Частина № 5. Дослідження систем активного й пасивного розряджання.....	100
5.5. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	112
5.6. ФОРМУВАННЯ ЗВІТУ	114
5.6.1. Вимоги до оформлення звіту	115
Глосарій	116
Список використаних джерел	122

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)

LiFePO₄ – 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 другою із трьох частин видання, у якому здобувачі вивчають системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля і набувають практичних навичок.

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:

- принцип роботи, будова та функції класичних і розумних системних реле високої напруги акумуляторної батареї;
- призначення та принцип роботи системи блокування Interlock;
- призначення контурів активного та пасивного розрядження силових конденсаторів електричних транспортних засобів;
- матеріал для виконання лабораторної роботи з визначення послідовності увімкнення системних реле та аналізу випадків їхньої несправності, дослідження системи блокування та контурів активного й пасивного розрядження конденсаторів.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

5.1. Тема лабораторної роботи

«Дослідження призначення системних реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля, їх будови, функцій і типових несправностей. Системи захисту електромобілів».

5.2. Мета лабораторної роботи

1. Дослідження функцій, будови та призначення головних системних реле електромобіля.
2. Виявлення відмінностей між класичними й розумними системними реле.
3. Дослідження послідовності увімкнення системних реле при переході в режим «READY».
4. Визначення несправностей, що можуть виникати в системних реле.
5. Дослідження призначення та функцій блокуатора «Interlock».
6. Дослідження призначення конденсаторів у системі, а також контурів активного й пасивного розрядження.
7. Здобуття практичних навичок із вимірювання параметрів системи та визначення порядку увімкнення системних реле на стенді LN.

5.3. Теоретична частина

5.3.1. Режим готовності «Ready mode»

Режим готовності (Ready mode) існує в кожному транспортному засобі, в якому є система високої напруги (HV). Точна назва та індикація цього режиму може відрізнятися залежно від виробника й моделі транспортного засобу. Даний режим указує водієві на те, що система високої напруги активна, а транспортний засіб готовий до руху.

Оскільки існують відмінності в системі індикації режиму готовності (Ready mode), не завжди можна чітко визначити чи готовий електричний або гібридний транспортний засіб до руху. У класичних транспортних засобах із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ або ІСО) звук роботи двигуна є явним індикатором того, що двигун запущено, а транспортний засіб уже готовий до руху. У транспортних засобах з електроприводом для цього використовується режим готовності (Ready mode). Індикація переходу в даний режим виконується за допомогою сигнальної лампочки або іншого індикатора, який інформує водія про те, що транспортний засіб готовий до руху. Індикатор може бути виконаний у вигляді слова «READY» або зображення силуету транспортного засобу зі стрілками під ним (Рис. 6.1).



Рис. 6.1. Варіанти індикації режиму «READY» у транспортних засобах, що оснащені електроприводом

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля




Незважаючи на значну відмінність між системами індикації, існує загальна ідея, на якій базується процес індикації переходу в режим готовності електричного транспортного засобу.

Для відстежування процесу переходу електричного транспортного засобу в режим готовності (Ready mode) необхідно подивитись відео в середовищі LS, перейшовши за наступним посиланням: EDCV >> Traction battery voltage >> HV relays of the battery >> Ready mode. Із даним процесом можна також покроково ознайомитися, користуючись Таблиця 6.1.

На Рис. 6.2–Рис. 6.5 можна побачити приклади реалізації зовнішнього вигляду індикації переходу в режим готовності від різних виробників автомобілів. Слово «Ready» часто асоціюється із зеленим кольором, проте слід зазначити, що місце, де з'являється цей індикатор, може бути різним. Наприклад, він може бути вбудований як покажчик потужності разом зі спідометром або реалізований як окрема індикаторна лампочка, що розташована на окремому місці.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.1. Процес переходу електромобіля в режим готовності (Ready mode)

№	Зображення етапу	Пояснення
1		<p>Момент часу перед запуском системи. Усі системи електромобіля вимкнені</p>
2		<p>Момент запуску системи за рахунок натискання кнопки «Start/Stop» (позначка «А»)</p>
3		<p>Через певний проміжок часу, після натискання кнопки, на спідометрі з'являється точкова індикація початку переходу системи в режим готовності (позначка «В»)</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.1.

<p>4</p>		<p>Точковий індикатор проходить шлях уздовж інформаційної панелі спідометра від вихідного положення за наступним алгоритмом: 1 – 2 – 3 – 2</p>
<p>5</p>		<p>Після повернення точкового індикатора в точку «2», наприкінці алгоритму, загоряється інший індикатор «HV ready» (позначка «C») та одночасно з ним живлення від акумуляторної батареї подається на двигун, що означає завершення переходу в режим готовності «READY»</p>



Рис. 6.2. Компанія «Audi»

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля



Рис. 6.3. Компанія «Volkswagen»



Рис. 6.4. Компанія «Mercedes»



Рис. 6.5. Компанія «BMW»

5.3.2. Класичні головні системні реле високої напруги

Контактні реле високої напруги, що іноді називаються головними системними реле (SMR – System main relays), здатні відключати високовольтну акумуляторну батарею електромобіля від інших частин транспортного засобу. Також даний тип реле називають «класичними системними реле» (Conventional system relays) через відсутність розумних функцій керування й моніторингу. Ці реле є нормально розімкнутими (NO – normally open), а їх контактори замикаються лише при виконанні певних умов. У даних реле існує лише два стани: відкритий (Open) і закритий (Closed). Вони тісно пов'язані із системою керування батареєю електромобіля, оскільки фактично виконують роль виконавчих механізмів цієї системи. Класичні реле системи високої напруги працюють під час процедури замикання (увімкнення) й розмикання (вимкнення) системи високої напруги. В електричних транспортних засобах (EV і HV) існує чітко визначений перелік умов для їх спрацювання (Таблиця 6.2).

Зазвичай в електричних транспортних засобах використовується 3 реле:

1. Позитивне реле (HV+). Те, що розриває коло з боку позитивного полюса акумуляторної батареї.
2. Негативне (HV-). Те, що розриває коло з боку негативного полюса акумуляторної батареї.
3. Позитивне реле попереднього заряджання (pre-charge relay).

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.2. Умови спрацювання класичних реле високої напруги

Реле розімкнене	Реле замкнене
<ol style="list-style-type: none">1. При вимкненому «запалюванні»(ignition). Система електромобіля не запущена.2. У разі нещасного випадку, у ході якого спрацювали подушки безпеки.3. При порушенні системи електричного блокатора (electrical interlock).4. У випадку виникнення певних несправностей у системі високої напруги (HV)	<ol style="list-style-type: none">1. При увімкненому «запалюванні» (ignition). Система електромобіля запущена.2. Коли в системі високої напруги відсутні несправності.3. Коли коло блокатора (interlock) замкнене

На деяких транспортних засобах негативне реле може не використовуватись, оскільки для розмикання кола живлення акумуляторної батареї достатньо використання одного реле. Реле попереднього заряджання (pre-charge relay) має у своєму складі так званий резистор попереднього заряджання (pre-charge resistor), що зустрічається в багатьох гібридних та електричних транспортних засобах і виконує наступні функції:

1. Обмеження струму під час заряджання конденсаторів.

Без реле попереднього заряджання (pre-charge relay) весь струм, що протікає із системи високої напруги, був би доступним у початковий момент часу комутації системних реле. У цей момент можуть протікати небезпечні для системи струми порядку 1000 А.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Резистор попереднього заряджання обмежує величину протікаючого струму, зменшуючи його значення.

Через дану ланку також заряджаються системні конденсатори (System capacitors), що виконують буферну функцію, зменшуючи стрибки напруги та струму в системі. Заряджання системних конденсаторів є ключовим процесом, що відбувається під час увімкнення системи високої напруги.

2. Обмеження струму в разі короткого замикання.

Якщо десь у системі високої напруги виникає коротке замикання (наприклад, через встановлення несправного компресора кондиціонера HV системи (A/C Compressor)) і система електромобіля запускається без наявності резистора попереднього заряджання, що обмежує струм, то система електромобіля може споживати стільки струму, скільки здатна видати високовольтна акумуляторна батарея до того, як плавкий запобіжник розплавиться. За наявності резистора, таке коротке замикання буде виявлено датчиками струму системи керування, і головні системні реле не буде замкнено, із метою запобігання перевантаження електропроводки та електронних схем електромобіля.

Якщо стається несправність або збій у роботі реле системи високої напруги, це становить величезний ризик для безпеки водія та оточуючих. У даному випадку транспортний засіб більше не можна буде вважати безпечним.

Для усунення даного виду несправності автомеханік повинен мати кваліфікацію не нижче 3 рівня (level 3).

Існує декілька рівнів класифікації здібностей і досвіду автомеханіків (Таблиця 6.3). Дані рівні визначаються різними

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

системами класифікації: Європейська система кваліфікацій (EQF), національні стандарти (NQF, ASEM), National Institute for Automotive Service Excellence (ASE) тощо. Перехід між рівнями відбувається за рахунок курсів підвищення кваліфікації, навчання й набуття досвіду роботи. Оскільки вихід з ладу головних системних реле автомобіля вважається надзвичайно небезпечною несправністю (harmful), до робіт із її усунення повинні допускатись найбільш кваліфіковані й досвідчені майстри.

Таблиця 6.3. Рівні класифікації здібностей і досвіду автомеханіків

Рівень кваліфікації	Опис
Level 1 (Початковий рівень)	Механік-початківець або асистент механіка. Має базові знання й навички роботи з автомобілями. Виконує прості види обслуговування та ремонтні роботи під наглядом більш досвідчених механіків
Level 2 (Середній рівень)	Механік середнього рівня. Має достатній досвід і знання для виконання більш складних ремонтів і діагностики. Може працювати самостійно на більшості завдань, але все ще може потребувати консультацій з механіками вищого рівня для вирішення складних проблем
Level 3 (Високий рівень)	Кваліфікований механік високого рівня або головний механік. Має глибокі знання й великий досвід у діагностиці та ремонті складних автомобільних систем. Здатен вирішувати найскладніші технічні проблеми та може керувати роботою інших механіків. Часто займає керівні посади або спеціалізується на конкретних системах автомобіля (наприклад, електроніка, трансмісія, гібридні та електричні автомобілі)

Для відстеження процесу запуску системи електромобіля й напрямку протікання струму в ній, необхідно подивитись відео в

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

середовищі LS, перейшовши за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV relays of the battery. Електричну принципову схему електропривода електромобіля зображено на Рис. 6.6.

Для визначення динаміки зміни напруги та струму під час запуску електромобіля слід подивитись відео, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays. Або скористатися Таблиця 6.4.

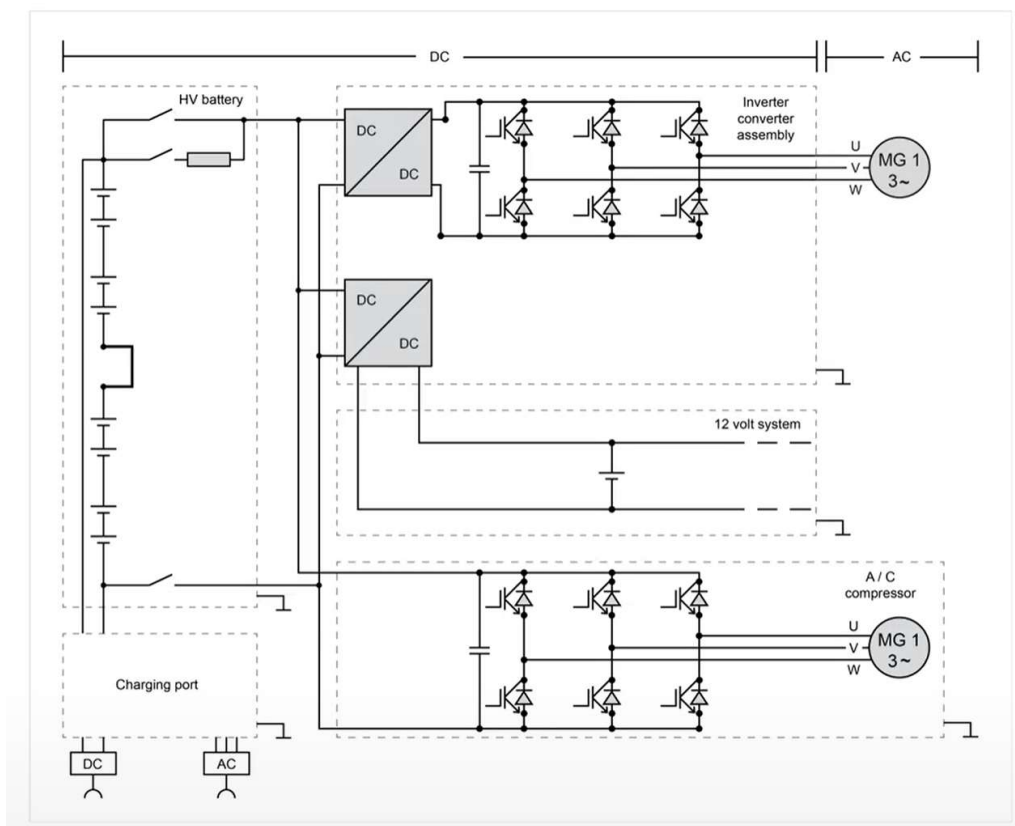


Рис. 6.6. Електрична принципова схема електропривода електромобіля: «HV battery» – високовольтна акумуляторна батарея; «Inverter convert assembly» – система інвертора; «A/C compressor» – компресор кондиціонера електромобіля; «Charging port» – порт зарядки; «12 volt system» – система 12 В акумуляторної батареї

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.4. Динаміка зміни струму й напруги під час запуску системи електромобіля

№	Схема	Пояснення
1		<p>У початковий момент часу після натискання кнопки «Start/Stop» у високовольтній системі встановлюється найвище значення струму</p>
2		<p>Поступово значення струму зменшується за рахунок його протікання через ланку з реле й резистором попереднього заряджання. Одночасно з падінням струму починає зростати напруга високовольтної системи</p>
3		<p>При досягненні мінімального значення струму й максимального значення напруги (номінального) високовольтної системи, головне системне реле HV+ шунтує ланку з резистором і реле попереднього заряджання. Індикатор «READY» вмикається, символізуючи готовність системи до роботи</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Звернувши увагу на перемикання реле під час запуску високовольтної системи, можна помітити, що існує певна чітко визначена послідовність їх увімкнення під час запуску системи. На Рис. 6.7 можна більш детально відслідкувати напрямок протікання струму під час запуску системи, а на Рис. 6.8 – протікання струму після переходу в режим «READY».

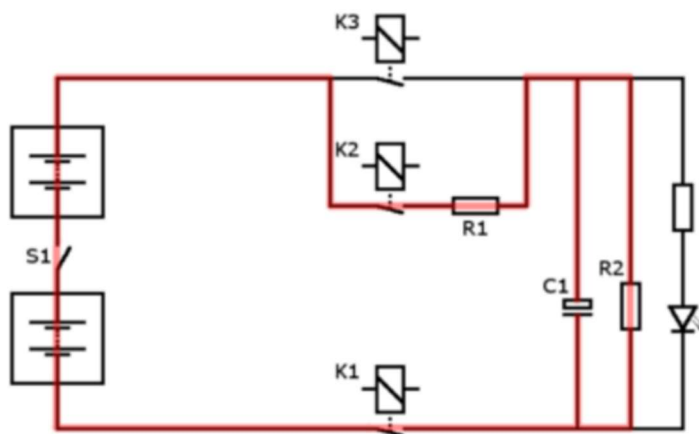


Рис. 6.7. Напрямок протікання струму в початковий момент запуску

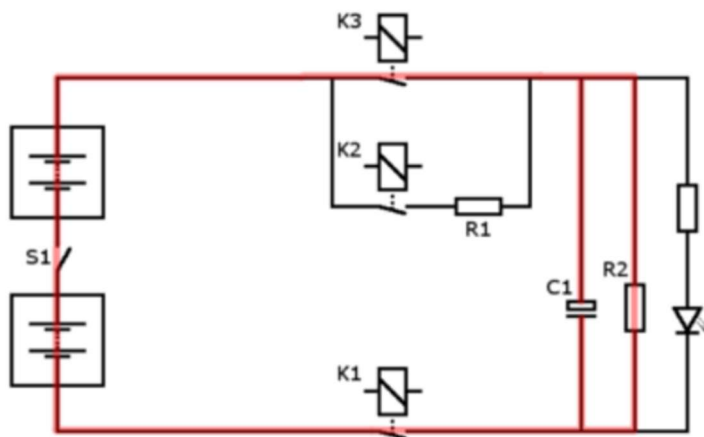


Рис. 6.8. Протікання струму після завершення запуску системи

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Реле й резистор ланки попереднього заряджання зустрічаються в системах багатьох гібридних та електричних транспортних засобів і слугують для захисту системи. Як тільки водій сідає в автомобіль і натискає кнопку запуску («Start/Stop»), команда на запуск системи надходить до контролера акумуляторної батареї (battery control unit).

На багатьох транспортних засобах сервісний роз'єм (Service plug) містить високовольтний запобіжник (high-voltage fuse), що захищає транспортний засіб, вступаючи в роботу у випадку короткого замикання в системі високої напруги.

Велика кількість електричних транспортних засобів оснащена датчиком струму (current sensor), який безперервно відстежує рівень споживання струму, що забезпечує додатковий захист транспортного засобу. У випадку перевищення граничного значення струму система керування автомобіля зможе ефективно відслідкувати цей процес і розімкнути системні реле.

Номінал резистора попереднього заряджання відрізняється практично у всіх електричних транспортних засобах залежно від виробника й моделі автомобіля. Резистор на модулі ««HV батарея із системними реле» навмисне має дуже високий номінал, порівнюючи зі справжніми транспортними засобами, що мають значно менший номінал.

5.3.3. Розумні системні реле «Smart system relays». Діаграма послідовності увімкнення

Із попередніх пунктів відомо, що класичні системні реле високої напруги відповідають як за процес увімкнення (switch-on) або активації

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

(activation) системи, так і за процес її вимкнення (switch-off) або деактивації (deactivation).

Для забезпечення безвідмовної роботи цих реле впродовж тривалого часу та посилення безпеки експлуатації все більше виробників використовують так звані розумні системні реле (smart system relays). В інтелектуальних системах керування (intelligent control systems), що оснащені такими реле, стан і функціональні можливості системних реле перевіряються ще до того, як система високої напруги буде введена в роботу. Завдяки всеполюсній конструкції (all-pole design) системних реле, що означає наявність окремого реле на кожному полюсі високовольтної системи (позитивному й негативному), існує можливість їх окремої комутації, не вводячи в роботу систему високої напруги.

У момент замикання або розмикання реле можуть спрацьовувати як окремо, так і послідовно, для визначення їхньої працездатності. Під час одночасного спостереження за рівнем високої напруги високовольтної системи можна відразу відреагувати на будь-які несправності та уникнути пошкодження обладнання.

Для відстеження послідовності увімкнення розумних системних реле (smart system relays) необхідно подивитись анімацію із часовою діаграмою стану реле в нормальному режимі запуску системи, що демонструє залежність стану реле (ON/OFF) від часу (t). Для цього необхідно відкрити LS і перейти за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays.

Для відстеження ключових точок часової діаграми, в яких відбувається перемикання реле, слід скористатись Таблиця 6.5. Часова

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

діаграма має поділ на фази (Фаза № 1 – Фаза № 8), в яких відбувається перевірка функціонального стану реле та виявлення можливих помилок системи під час запуску. На Рис. 6.9 показана схема високовольтної системи із прикладом індикації увімкнення реле.

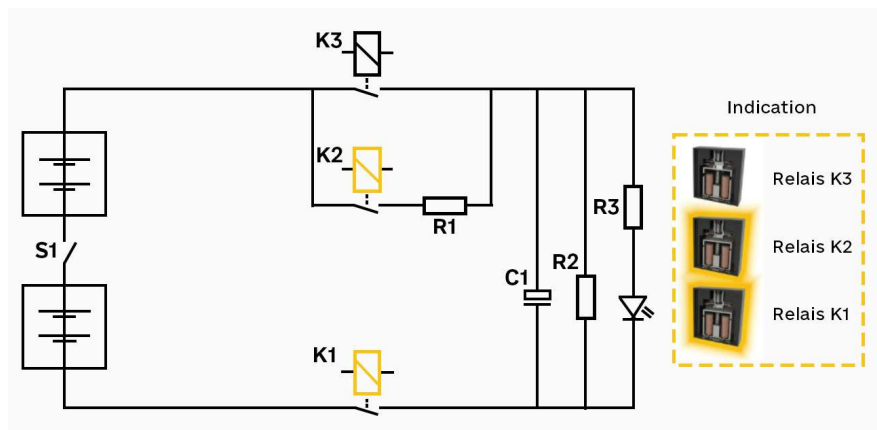
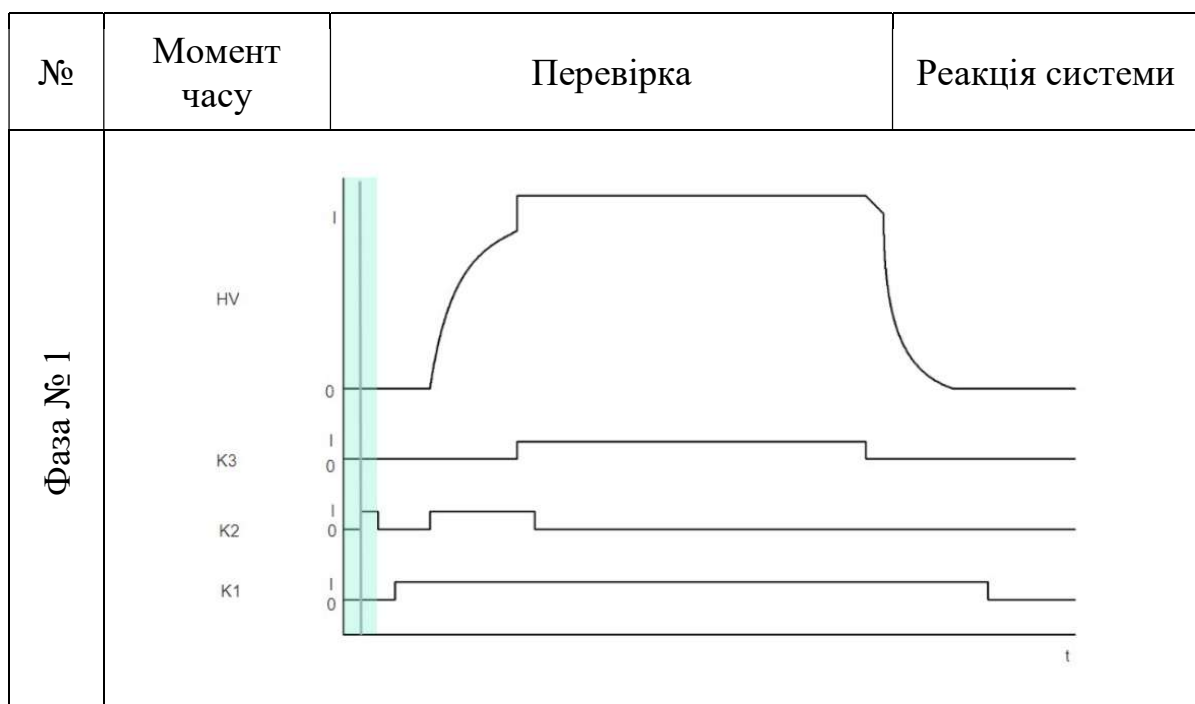


Рис. 6.9. Схема високовольтної системи із прикладом індикації увімкнення реле

Таблиця 6.5. Часова діаграма стану розумних системних реле (smart system relays)



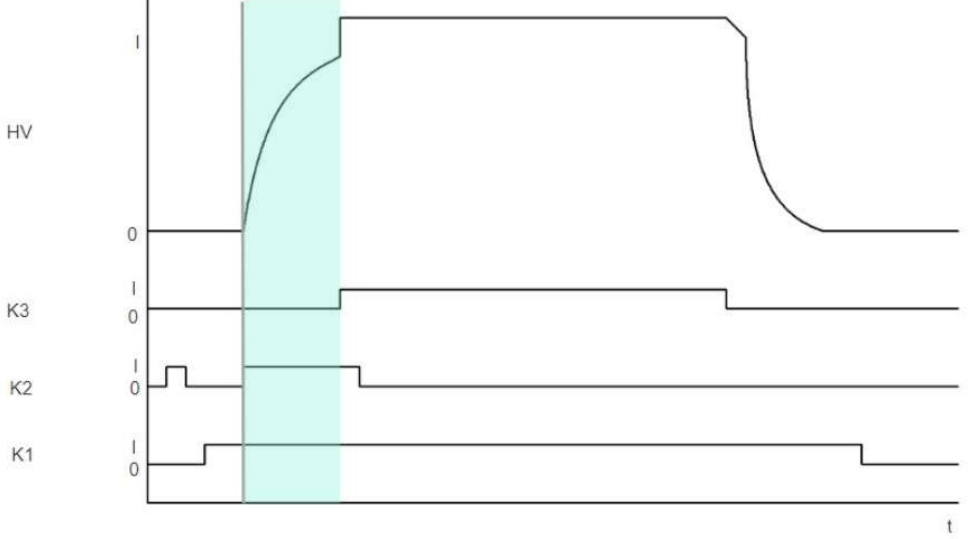
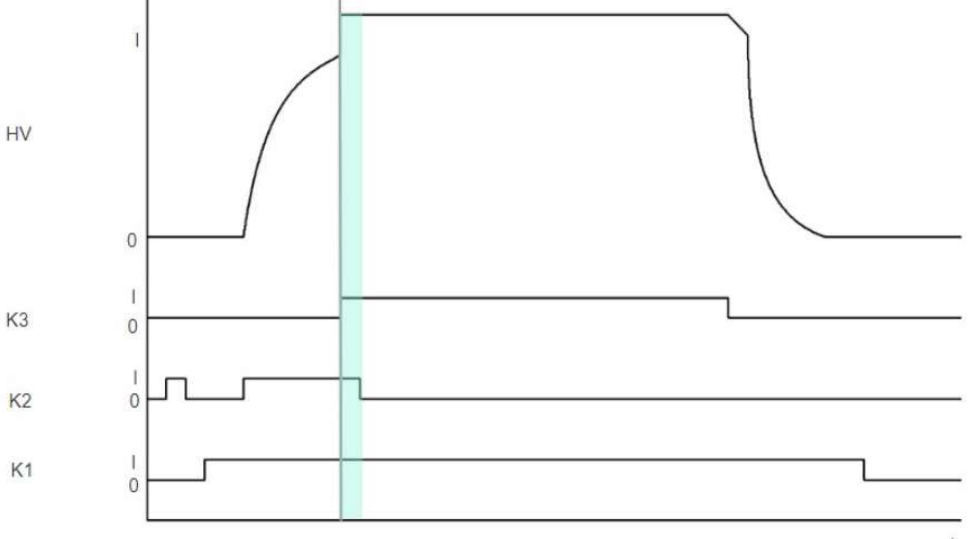
5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.5.

№	Момент часу	Перевірка	Реакція системи
Фаза № 1	Реле К2 замикається та через короткий проміжок часу знову розмикається	У цей момент часу контролюється напруга високовольтної системи (HV) та проводиться тестування реле К1. Якщо в цей момент часу висока напруга вже починає зростати, це означає, що контакти реле К1 замкнуті надто довгий період часу (closed long term) або перегоріли (burned)	У разі несправності вмикається жовта сигнальна лампочка
Фаза № 2	<p>The diagram shows four signals over time: HV, K3, K2, and K1. The HV signal starts at 0, then rises to a high level during a green shaded interval, and then falls back to 0. The K3 signal is high during the green interval and then falls. The K2 signal is high during the green interval and then falls. The K1 signal is high during the green interval and then falls.</p>		
	Реле К1 замикається	У цей момент контролюється висока напруга високовольтної системи (HV) і проводиться тестування реле К2	У разі несправності вмикається жовта сигнальна лампочка

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.5.

№	Момент часу	Перевірка	Реакція
Фаза № 3			
	<p>Реле К2 замикається. Реле К1 залишається замкнутим</p>	<p>У цей момент відбувається моніторинг напруги високовольтної системи (HV). Якщо напруга не починає зростати, це означає, що в системі є коротке замикання або контакти реле К2 не замикаються</p>	<p>У разі несправності вмикається червона сигнальна лампочка. Запуск системи переривається</p>
Фаза № 4			

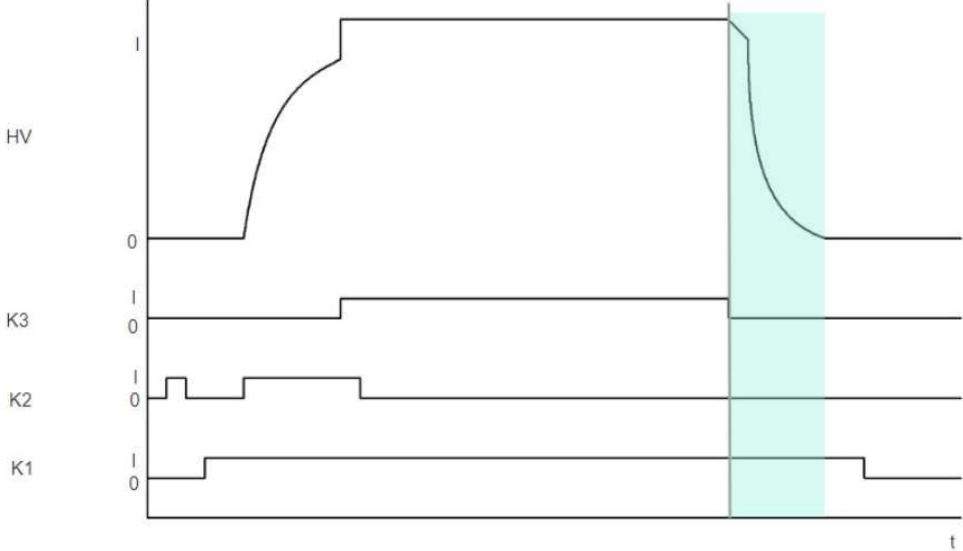
5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.5.

№	Момент часу	Перевірка	Реакція системи
Фаза №4	Реле К3 замикається. Реле К2 і К3 залишаються замкнутими	У цей момент відбувається моніторинг напруги високовольтної системи (HV). Завершення фази попереднього заряджання	Для безперервного переходу від реле К2 до реле К3 перемикання відбувається послідовно із часовою затримкою
Фаза №5			
	Реле К2 розмикається, реле К1 і К3 залишаються замкнутим	Система високої напруги переходить у режим «READY». Якщо напруга починає падати, це може означати те, що реле К3 не замкнулось	У разі несправності індикатор "READY" не вмикається, а замість нього вмикається сигнальна лампочка. Запуск скасовано (Start abort)

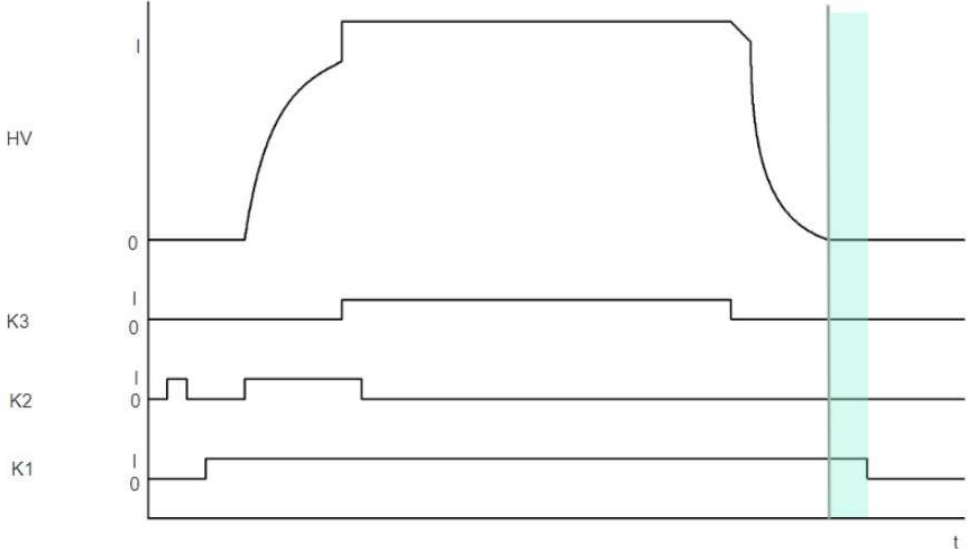
5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.5.

№	Момент часу	Перевірка	Реакція системи
Фаза № 6			
	<p>Реле К3 розмикається . Реле К1 залишається замкнутим</p>	<p>Система високої напруги вимкнена. Завершення режиму «READY». У цей момент відбувається моніторинг напруги високовольтної системи (HV). Якщо напруга не починає падати, це означає, що реле К3 вже замкнуте занадто довго або перегоріло</p>	<p>У разі несправності вмикається червона сигнальна лампочка й залишається увімкненою. Повторний запуск системи неможливий</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.5.

№	Момент часу	Перевірка	Реакція системи
Фаза № 7			
	<p>Реле К1 залишається замкнутим. Реле К1 і К2 розімкнені</p>	<p>У цей момент відбувається моніторинг напруги високовольтної системи (HV). Перевірка умови: напруга високовольтної системи менше 20 В</p>	<p>У разі несправності вмикається червона сигнальна лампочка й залишається увімкненою. Повторний запуск системи неможливий</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.5.

№	Момент часу	Перевірка	Реакція системи
Фаза № 8			
	Реле К1 розмикається	У цей момент відбувається моніторинг напруги високовольтної системи (HV). Якщо напруга починає спадати тільки у цей момент, то це означає помилку замикання реле К3	У разі несправності вмикається червона сигнальна лампочка й залишається увімкненою. Повторний запуск системи неможливий

Якщо у високовольтній системі не виявлено жодних несправностей, водій бачить індикатор «READY», що свідчить про наявність можливості здійснення керування транспортним засобом. У випадку виявлення у високовольтній системі суттєвих («harmful») несправностей, усі реле розмикаються та система вимикається. На дисплеї з'являється індикатор червоного кольору або вмикається

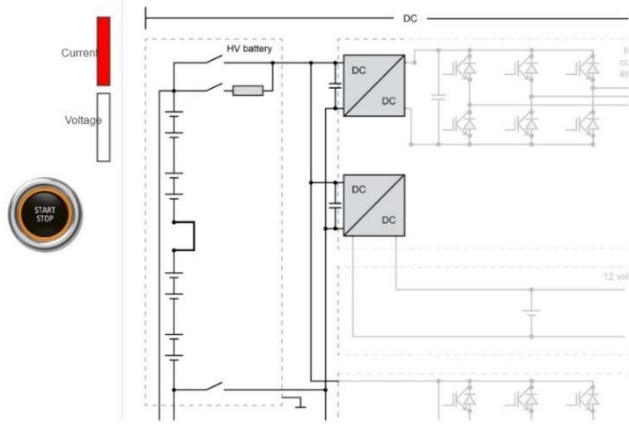
5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

індикатор несправності «HV FAULT», після чого транспортний засіб не може рухатися, використовуючи електричну енергію.

У випадку виникнення в системі короткого замикання, конденсатори системи не досягнуть напруги відключення (cut-off voltage), і струм буде протікати безперервно. Система керування високовольтною акумуляторною батареєю визначить це як несправність, що призведе до розмикання контакторів і відключення високовольтної системи.

Для відстеження процесу запуску електромобіля під час виявлення короткого замикання в системі високої напруги необхідно подивитись відео в середовищі LS, перейшовши за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Response of HV system relays in the event of a fault. Із даним процесом можна також покроково ознайомитися, користуючись Таблиця 6.6.

Таблиця 6.6. Процес запуску системи електромобіля з виявленням короткого замикання в системі високої напруги

№	Схема	Пояснення
1		Момент часу перед запуском системи електромобіля. Усі реле розімкнені

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.6.

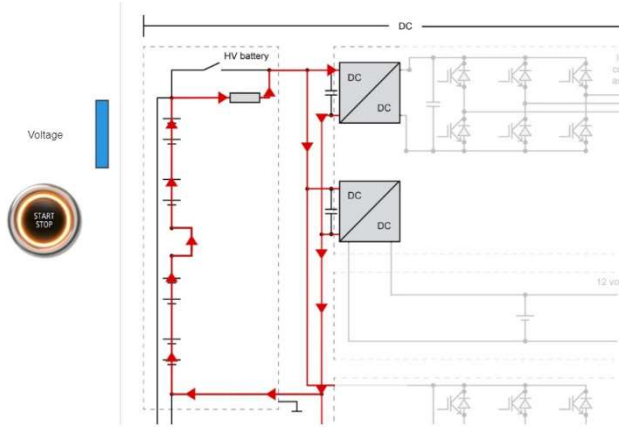
№	Схема	Пояснення
2		<p>Початковий момент часу після натискання кнопки «Start/Stop». Струм починає протікати від акумуляторної батареї через реле й резистор попереднього заряджання до DC/DC перетворювачів (фаза попереднього заряджання)</p>
3		<p>Виникнення несправності у системі, яка зумовлена низькою динамікою зниження значення струму, що може вказувати на виникнення короткого замикання в системі</p>
4		<p>Після визначення несправності відбувається розмикання всіх розумних системних реле. На табло з'являється індикатор несправності «HV FAULT»</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Джерелом виникнення несправностей можуть бути не лише внутрішні чинники, розумні реле також можуть стати їх причиною. Прикладом може бути ситуація, коли реле не розмикається у процесі вимкнення системи, що може вказувати на несправність самого реле.

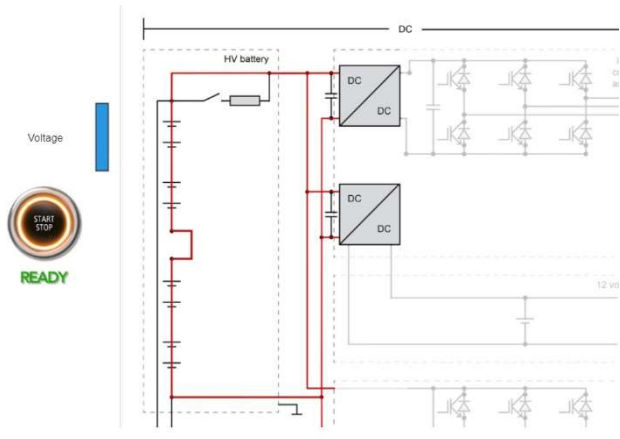
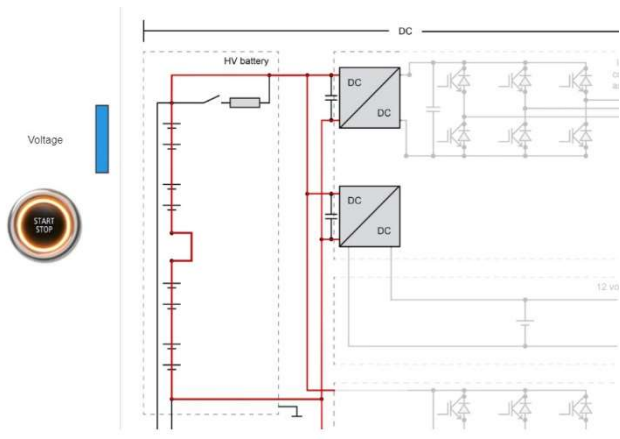
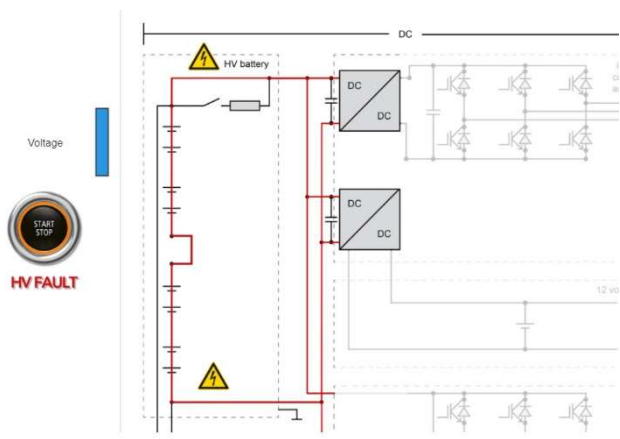
Для відстеження процесу запуску електромобіля з несправністю розумного системного реле необхідно подивитись відео в середовищі LS, перейшовши за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Response of HV system relays in the event of a fault та прокрутити відкриту сторінку вниз. Із даним процесом можна також покроково ознайомитися, користуючись Таблиця 6.7.

Таблиця 6.7. Процес запуску системи електромобіля з несправністю одного з розумних реле

№	Схема	Пояснення
1		Початковий момент часу після натискання кнопки «Start/Stop». Робота в нормальному режимі. Початок фази попереднього заряджання

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.7.

№	Схема	Пояснення
2		<p>Завершення фази попереднього заряджання. Перехід системи в режим готовності («READY»)</p>
3		<p>Момент вимкнення системи. Повторним натисканням кнопки «Start/Stop»</p>
4		<p>Виникнення несправності, реле не розімкнене. На табло з'являється індикатор несправності «HV FAULT»</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Випадок відмови системних реле, під час відключення системи, вважається суттєвою несправністю («harmful»), у результаті якої транспортний засіб втрачає статус внутрішньо безпечного ("intrinsically safe"). Даний статус означає, що роботи із діагностики та усунення несправності може проводити автомеханік із кваліфікацією не нижче 3 рівня (level 3).

5.3.4. Блокування «Interlock»

Система блокування (Interlock) являє собою електричну схему захисту, яка контролює високовольтну систему й гарантує, що у разі виникнення фізичного пошкодження, спрацювання подушок безпеки або несправності високовольтної мережі, високовольтна акумуляторна батарея буде відключена від системи за допомогою системних реле та знеструмлена (de-energized).

Умови спрацювання системних реле (замкнене/розімкнене) у разі виникнення помилки в системі блокування (Interlock) зведені до Таблиця 6.8.

На Рис. 6.10 зображена типова електрична принципова схема системи блокування (Interlock). Система блокування являє собою набір послідовно з'єднаних резисторів різного номіналу. Як тільки один із резисторів системи шунтується за рахунок обриву якоїсь із ланок (що контролюються), загальний опір ланцюга змінюється, що призводить до падіння вихідної напруги системи. У залежності від значення виміряної напруги, у ланці блокування, система керування (або блок управління «control unit») може чітко визначити джерело виникнення

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

несправності, оскільки номінал резистора кожної з ланок різний, а отже й падіння напруги буде завжди відрізнятись.

Таблиця 6.8. Умови спрацювання системних реле у разі виникнення помилки в системі блокування

Розімкнене	Замкнене
<ul style="list-style-type: none"> - коли «запалювання» (ignition) вимкнено - у разі аварії зі спрацюванням подушок безпеки - у випадку обриву ланки блокування - у разі серйозних несправностей у системі високої напруги 	<ul style="list-style-type: none"> - у режимі готовності «READY»

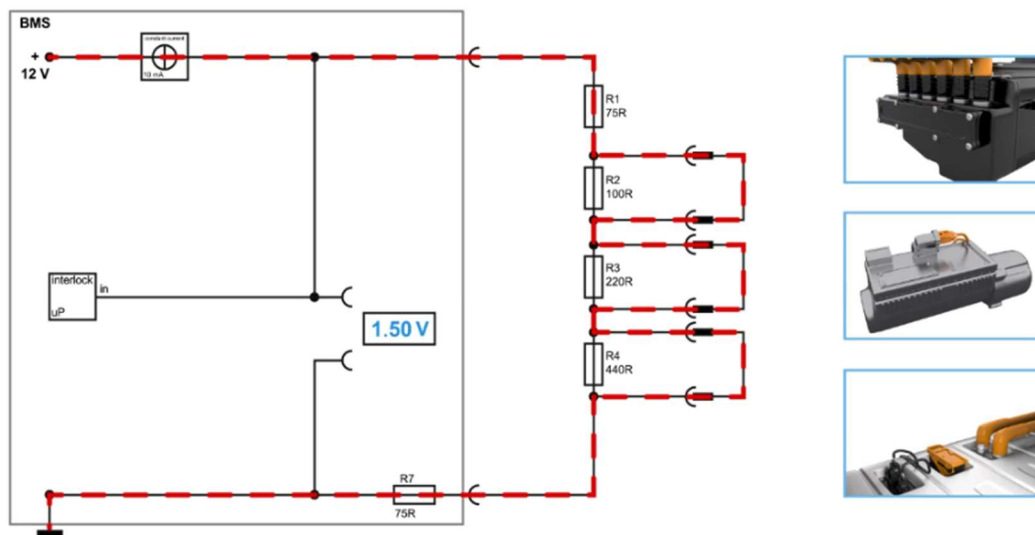


Рис. 6.10. Електрична принципова схема системи блокування (Interlock)

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Для більш детального відстеження напрямку протікання стуму в системі блокування слід подивитись анімацію в LS, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Interlocks.

У разі розмикання системи блокування система керування акумуляторною батареєю негайно вимкне високовольтну систему. Для відстеження цього процесу необхідно подивитись відео в LS, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Interlocks >> Electrical interlock diagnostics. Із цим процесом можна також ознайомитися за допомогою


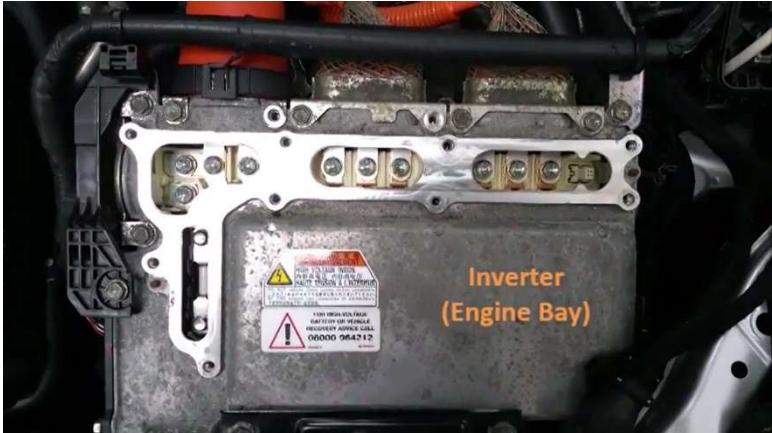

Таблиця 6.9.

Таблиця 6.9. Реакція системи електромобіля на відключення системи блокування

№	Скріншот	Пояснення
1		Зняття кришки інвертора




5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.9.

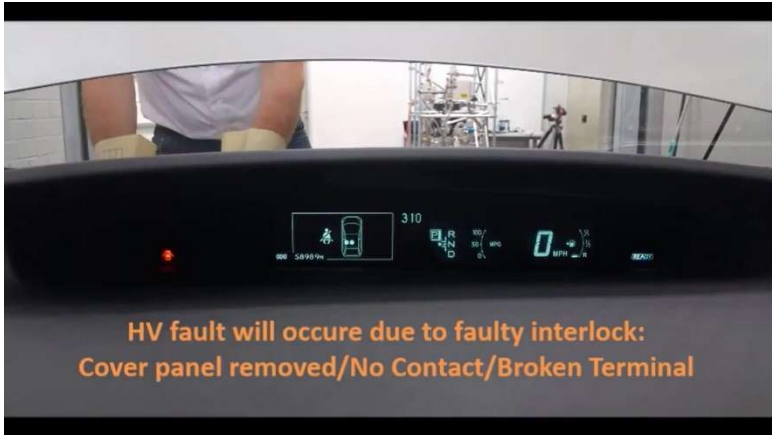

№	Скріншот	Пояснення
2		Штекер (plug) блокування (Interlock) знаходиться з нижньої сторони кришки інвертора
3		Зовнішній вигляд інвертора електричного транспортного засобу
4		Вхід живлення інвертора від високовольтної акумуляторної батареї

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.9.

№	Скріншот	Пояснення
5		<p>Вихід MG1. Вихід живлення генератора для зарядки акумуляторної батареї та допоміжний електродвигун. У випадку Toyota Prius</p>
6		<p>Вихід MG2. Вихід живлення основного тягового електродвигуна для руху автомобіля</p>
7		<p>Роз'єм (socket) блокування, що знаходиться біля виходу живлення MG2</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

8		<p>Індикація бортової панелі електричного транспортного засобу до зняття кришки інвертора з блокуванням</p>
9		<p>Індикація бортової панелі після зняття кришки інвертора. Вмикається попереджувальний індикатор жовтого кольору. Високовольтна система одразу вимикається</p>

Якщо відкрити кришку блокатора при увімкненому «запалюванні», у режимі «READY», високовольтна система відключається та встановлюється код несправності (fault code). У більшості випадків для зняття коду несправності й перезапуску автомобіля потрібен спеціальний інструмент для сканування (scan tool).

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Для захисту від зняття високовольтних кабелів під напругою в системі блокування існують різноманітні механізми захисту. На Рис. 6.11 продемонстровано захист системи блокування електромобіля BMW і3, що має додатковий механічний важіль роз'єднання.

Маленькі чорні перемички для перехресного з'єднання (interlock bridge connectors) (Рис. 6.11, п.А), що розташовані біля високовольтного кабелю, необхідно зняти перед тим як відкрити кришку рівня роз'єднання блокувального механізму (locking mechanism). Тільки після цього можна від'єднати високовольтний кабель.

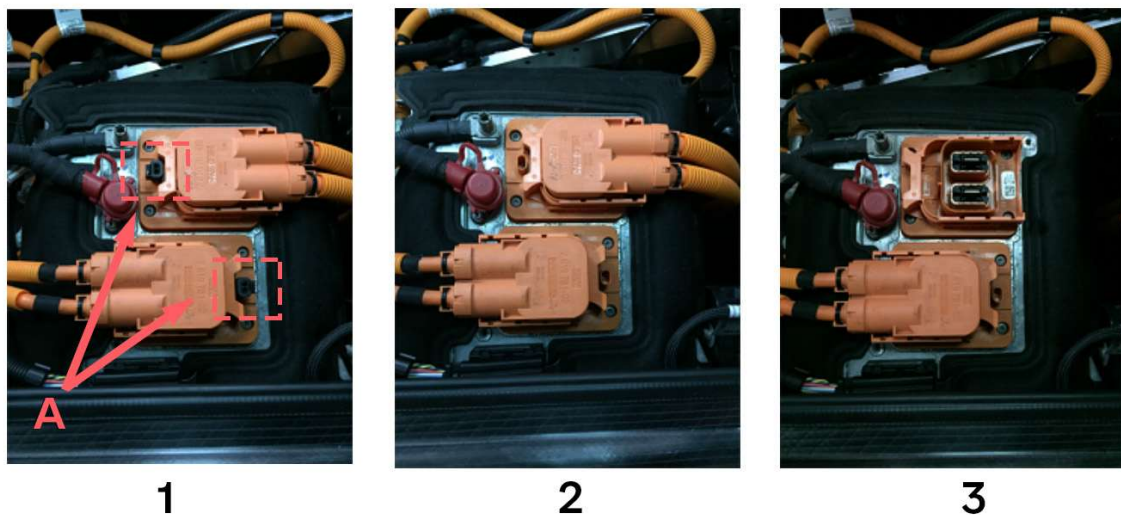


Рис. 6.11. Захист системи блокування електромобіля BMW і3: 1–3 – етапи від'єднання блокувального механізму; А – перемички для перехресного з'єднання

Для від'єднання високовольтної батареї та кабелю двигуна гібридного автомобіля VW Jetta Hybrid необхідно зняти кришку лючка (Рис. 6.12), що надає доступ до силових клем. Коли кришку знято,

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

блокувальний механізм (locking mechanism) розмикає ланцюг і високовольтна система вимикається (Рис. 6.13).

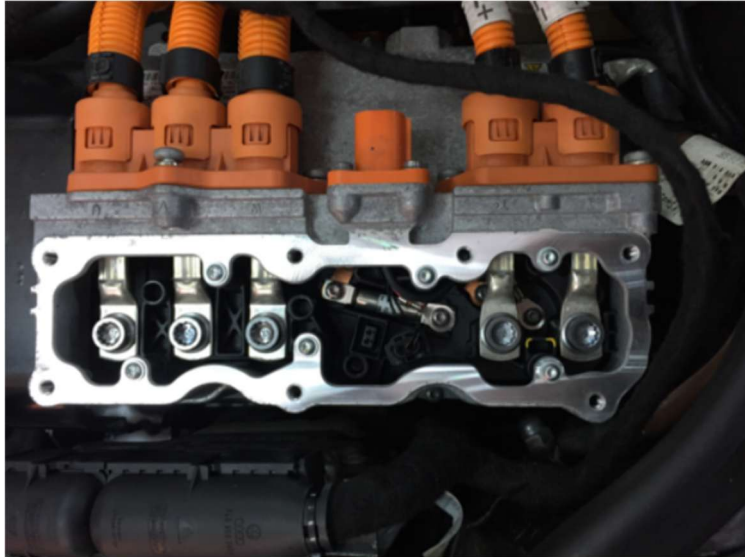


Рис. 6.12. Простір під кришкою – місця від'єднання високовольтної батареї та кабелю двигуна з роз'ємом блокувального механізму



Рис. 6.13. Кришка зі штекером блокувального механізму

5.3.5. Конденсатори та контури їх розрядження

Ємність (Capacitance) – це здатність об'єкта зберігати електричний заряд протягом певного періоду часу. У певному сенсі конденсатори можна порівняти з маленькою акумуляторною батареєю. Коли на конденсатор подається напруга, між його електродами виникає потенціал (measurable potential), і він починає заряджатися. Конденсатор припиняє заряджатися, коли досягається максимальна напруга або коли джерело напруги відключається.

Конденсатор складається із двох провідних пластин (conductive plates), які називаються електродами, що відокремлені одна від одної діелектриком. Той факт, що діелектрик є ізолятором, означає, що між двома електродами не може передаватися заряд. Типова будова електролітичного конденсатора зображена на Рис. 6.14. Для більш детального уявлення про його будову слід переглянути анімацію, перейшовши за адресою: [EDCV >> Traction battery voltage >> Capacitors](#).

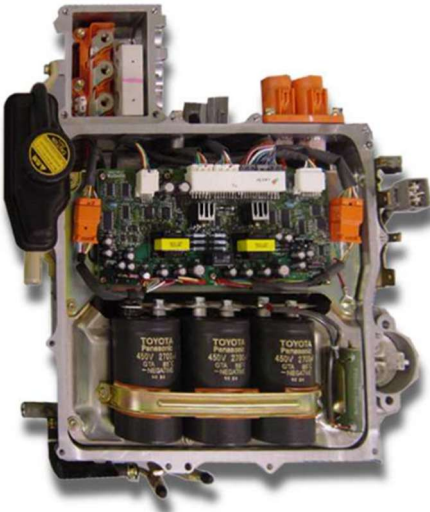


Рис. 6.14. Внутрішня будова типового електролітичного конденсатора

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля


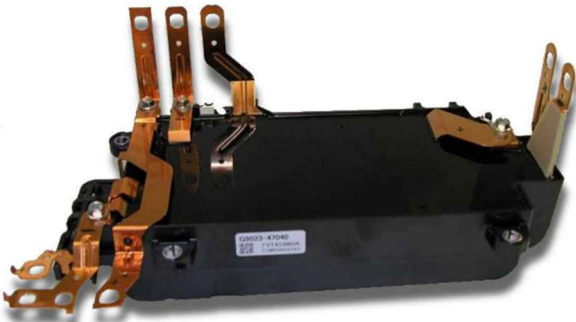
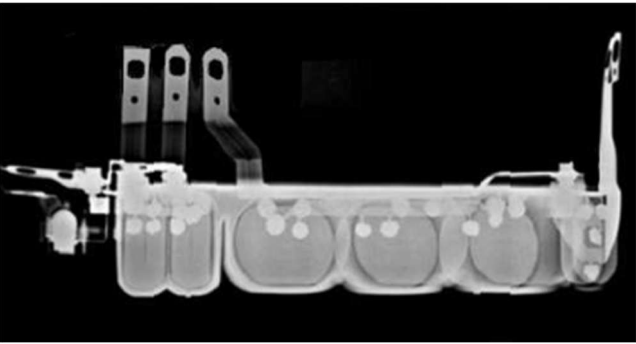
Через високу напругу, що використовується в автомобілях з електроприводом, у блоці керування двигуном (motor control units) повинні бути встановлені надійні «великі» конденсатори, з метою: захисту системи від стрибків напруги, фільтрування вхідної напруги й уникнення падіння потужності у разі необхідності (під час прискорення). Використання конденсаторів допомагає подовжити термін служби високовольної батареї. У Таблиця 6.10 наведені типові приклади конденсаторів, що встановлюються в електричні транспортні засоби.

Таблиця 6.10. Типові приклади конденсаторів, що встановлюються в електричні транспортні засоби

№	Фото	Пояснення
1		Блок інвертора зі встановленими у ньому конденсаторами

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.10.

№	Фото	Пояснення
2	 A photograph of a disassembled capacitor block. It features three large, cylindrical electrolytic capacitors mounted on a metal base. The capacitors are connected to a green terminal block and other electrical components via various wires and solder joints.	Розібраний конденсаторний блок (Capacitor rack)
3	 A photograph of a sealed capacitor unit. It is a black, rectangular component with several copper-colored metal terminals protruding from the top and sides. A small white label is visible on the front face.	Конденсатори в герметичному блоці (sealed unit) автомобіля Toyota Prius 4
4	 An X-ray image of the capacitor unit shown in the previous row. The image reveals the internal arrangement of the capacitors and their electrical connections within the sealed housing.	Рентгенівський (X-ray) знімок конденсаторів

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Під час нормальної роботи високовольтні конденсатори (HV capacitors) зазвичай залишаються зарядженими високою напругою. Коли автомобіль вимикається, реле високої напруги розмикаються та електрично ізолюють високовольтну акумуляторну батарею від інвертора. Залежно від моделі й виробника автомобіля, зазвичай використовуються два резервних контури (redundant circuits) для розрядки (discharge) конденсаторів (всередині інвертора) після вимкнення живлення автомобіля:

- контур активного розрядження (Active discharge circuit);
- контур пасивного розрядження (Passive discharge circuit).

Для проведення будь-яких робіт із високовольтною системою автомобіля необхідно дочекатися повного розряду конденсаторів. Час розрядження конденсаторів зазначається виробником у сервісній інформації OEM (Original Equipment Manufacturer procedure), що описує операційні процедури, розроблені й затверджені виробником оригінального обладнання (автомобіля) для обслуговування, ремонту або модифікації транспортного засобу чи його компонентів.

Сервісна інформація OEM передбачає, що технічний фахівець (автомеханік) повинен почекати певний час після вимкнення живлення високовольтної системи, щоб дати конденсаторам інвертора час розрядитися. У цей момент дуже важливо, щоб фахівець виміряв напругу високовольтної системи вольтметром визначеного класу точності (appropriately rated voltmeter) у відповідних контрольних точках (test points), щоб переконатися, що конденсатори розрядилися належним чином, а система не перебуває під напругою та є безпечною

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

для роботи. Процедура OEM відрізняється від моделі й виробника електромобіля.

5.3.6. Контур активного розрядження конденсаторів

Майже всі нові моделі електромобілів мають контур активного розрядження конденсаторів для розсіювання залишкового заряду, що накопичився в конденсаторах після нормального режиму роботи. У даному випадку слово «активний» означає, що конденсатори системи розряджаються за допомогою включення додаткових компонентів автомобіля в потрібний момент на певний час. Згідно зі стандартами безпеки для високовольтних систем, напруга повинна впасти нижче рівня «високовольтної» менше ніж за 1 секунду після відключення системи.

Активний розряд може здійснюватися: спеціальним резистором (що вмикається за допомогою реле), обмоткою електродвигуна (winding of the electric motor) або за допомогою 12 В DC-DC перетворювача. В останньому випадку, електроенергія, що розсіюється, подається у 12 В акумуляторну батарею бортової мережі. Для більш детального ознайомлення із процесом активного розрядження засобами подачі напруги на 12 В акумуляторну батарею слід подивитись анімацію в LS, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Capacitors >> Active discharge. Із цим процесом можна також ознайомитися, скориставшись Таблиця 6.11. Прокрутивши відкриту сторінку вниз, можна подивитись відео, що демонструє приклад реалізації системи активного розрядження в автомобілі Toyota Prius, або скористатися Таблиця 6.12.

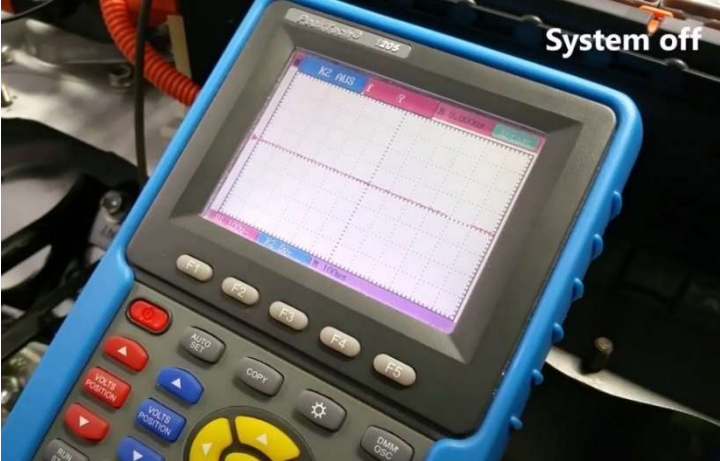
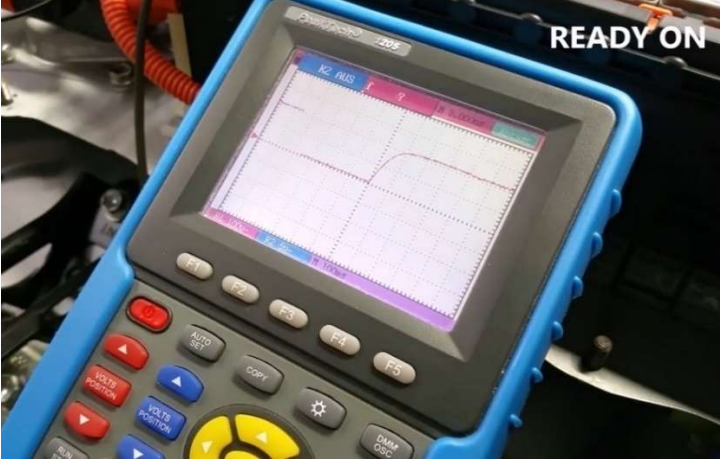
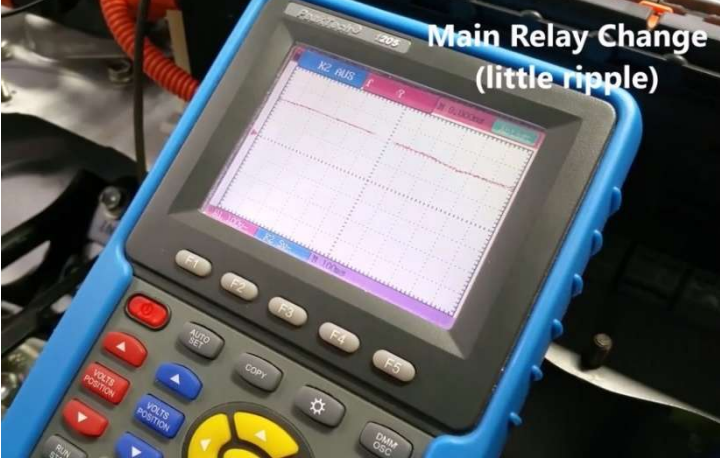
5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.11. Процес активного розрядження конденсаторів засобами подачі напруги на 12 В акумуляторну батарею

№	Схема	Пояснення
1		<p>Початок фази активного розрядження конденсаторів після відключення системи електромобіля</p>
2		<p>Упродовж даної фази спостерігається стрімке зниження напруги в конденсаторах (показчик синього кольору)</p>
3		<p>Фаза зниження напруги до рівня нижче «ВИСКОВОЛЬТНОЇ»</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.12. Приклад реалізації системи активного розрядження конденсаторів в автомобілі Toyota Prius

№	Фото з осцилографа	Пояснення
1	 <p>The image shows a blue oscilloscope displaying a flat horizontal line at 0V on its screen. The text 'System off' is overlaid in the top right corner of the image.</p>	<p>Система вимкнена, напруга у високовольтній системі відсутня</p>
2	 <p>The image shows the oscilloscope screen with a curve that starts at 0V and rises to a steady state. The text 'READY ON' is overlaid in the top right corner.</p>	<p>Момент запуску системи. Зростання напруги у високовольтній системі до номінального рівня</p>
3	 <p>The image shows the oscilloscope screen with a voltage curve that has small, periodic oscillations (ripples) superimposed on it. The text 'Main Relay Change (little ripple)' is overlaid in the top right corner.</p>	<p>Невелика пульсація (ripple) напруги, що викликана перемиканням системного реле</p>

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Продовження таблиці 6.12.

№	Фото з осцилографа	Пояснення
4		<p>Вимкнення системи. Зниження напруги від номінальної до рівня нижчого за «високовольтну», а потім до мінімального рівня</p>

У модулі «HV батарея із системними реле» стенда LN також інтегрована схема активного розряду. Згідно з вимогами виробника стенда, рівень високої напруги в системі повинен впасти нижче 1 V менше ніж за 2 секунди. На Рис. 6.15 зображена електрична принципова схема контуру активного розрядження модуля з усіма складовими компонентами, що входять до неї.

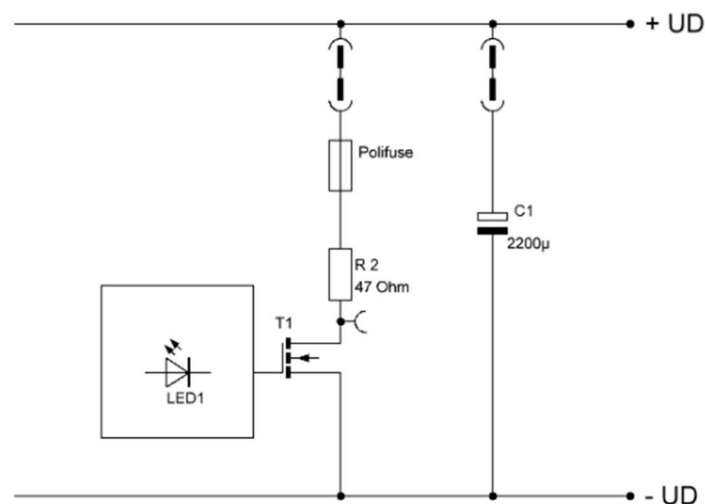


Рис. 6.15. Електрична принципова схема контуру активного розрядження модуля «HV батарея із системними реле»

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

У схемі встановлено напівпровідниковий перемикач (MOS-FET) T1, що у необхідний момент вмикає резистор контуру активного розрядження R2 паралельно конденсатора C1. Завдяки даному рішенню, у момент вмикання резистора R2 рівень енергії, що був накопичений у конденсаторі C1, починає зменшуватись якнайшвидше. Якщо до схеми конфігурації стенда включено модуль «Інвертор», то одночасно із цим відбувається й розрядження її конденсаторної зв'язки (link capacitor).

Для визначення моменту спрацювання блоку керування перемикачем на модулі існує індикатор синього кольору, що вмикається в момент включення T1. Для додаткового захисту даний ланцюг оснащений полімерним запобіжником (polifuse), що здатен самостійно відновлюватись після спрацювання. У разі необхідності вимірювання опору R2, необхідно зняти відповідну перемичку в ланцюзі, але лише після того, як високовольтна система буде повністю відключена та ізольована. Номінал резистора R2 повинен знаходитись у діапазоні 40–80 Ом, включаючи опір полімерного запобіжника.

5.3.7. Контур пасивного розрядження конденсаторів

Інвертор зазвичай має контур пасивного розрядження, що слугує резервним, на випадок, якщо контур активного розрядження працює неналежним чином після вимкнення автомобіля. Що може статися у випадку, якщо двигун або інвертор несправні або контур активного розрядження не працює.

Пасивний розряд конденсаторів виникає, у першу чергу, за рахунок їхнього природного розрядження (natural discharge). Цей

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

розряд триває до тих пір, поки не буде досягнуте значення нижче «високовольтного» рівня. Даний вид розряду займає відносно багато часу (до 15 хвилин). Наразі міжнародні правила не передбачають можливість встановлення системи розрядження виключно даного типу в нових транспортних засобах.

Ланцюг пасивного розрядження (Рис. 6.16) зазвичай складається з резистора або групи резисторів, так званих резисторів витoku або стоку (bleed or drain resistors або розрядні резистори). Вони підключаються паралельно до позитивного й негативного полюсу ланки постійного струму інвертора. Дані резистори конструюються таким чином, щоб не створювати перешкод для інших високовольтних компонентів і ланцюгів за рахунок розсіювання тепла. Дані резистори встановлюють на певній відстані від решти елементів (Рис. 6.16) на радіаторі або спеціальній підкладці, що дозволяє ефективно розсіювати утворене тепло.



Рис. 6.16. Високовольтні конденсатори з пасивним розрядним резистором, що встановлені в реальному автомобілі

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

5.4. Порядок виконання лабораторної роботи

5.4.1. Частина № 1. Визначення послідовності увімкнення класичних системних реле

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитись із теоретичною частиною, що викладена в пунктах 6.3.1–6.3.2. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Conventional system relays >> Switch-on sequence of conventional system relays.

5.4.1.1. Експеримент № 1. Визначення послідовності увімкнення класичних системних реле засобами зовнішньої індикації

Для проведення наступного експерименту слід сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.17). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитись на відкритій сторінці експерименту в LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля



Рис. 6.17. Визначення послідовності увімкнення системних реле.

Фінальна конфігурація схеми для візуального визначення послідовності увімкнення класичних системних реле

Після успішної конфігурації стенда наступним кроком іде визначення послідовності увімкнення класичних системних реле за допомогою світлодіодної індикації на модулі «HV батарея із системними реле».

Для цього необхідно:

1. Виконати запуск системи та спостерігати світлодіодну індикацію біля класичних системних реле, що вмонтовані у модуль.
2. Після завершення повного циклу запуску системи знову вимкнути її та спостерігати за індикацією.

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Яка послідовність увімкнення світлодіодної індикації класичних системних реле під час запуску системи?
 - а) К1 і К2, потім К1, К2 та К3, після чого К1 і К3;
 - б) К1 і К3, потім К1 та К2.

5.4.1.2. Експеримент № 2. Визначення послідовності увімкнення класичних системних реле та форми перехідних процесів засобами віртуального осцилографа

Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Conventional system relays >> Measurements on standard system relays.

Під час проведення Експерименту № 1 була визначена послідовність увімкнення класичних системних реле засобами зовнішньої світлодіодної індикації. У момент увімкнення реле К1 і К2 (Рис. 6.7) струм протікає через резистор попереднього заряджання R1. Водночас напруга у високовольтній системі зростає з певною затримкою. Коли вмикається реле К3 (Рис. 6.8) та одночасно вимикаються реле К1 і К2, напруга лавиноподібно зростає до максимального значення.

Для визначення форми перехідних процесів, що виникають у високовольтній системі під час її запуску, слід використовувати вбудований віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»). Перед

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

проведенням експерименту слід детально ознайомитися з його функціями та принципом дії.

Для проведення вимірювань необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.18). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на поточній сторінці експерименту в LS.

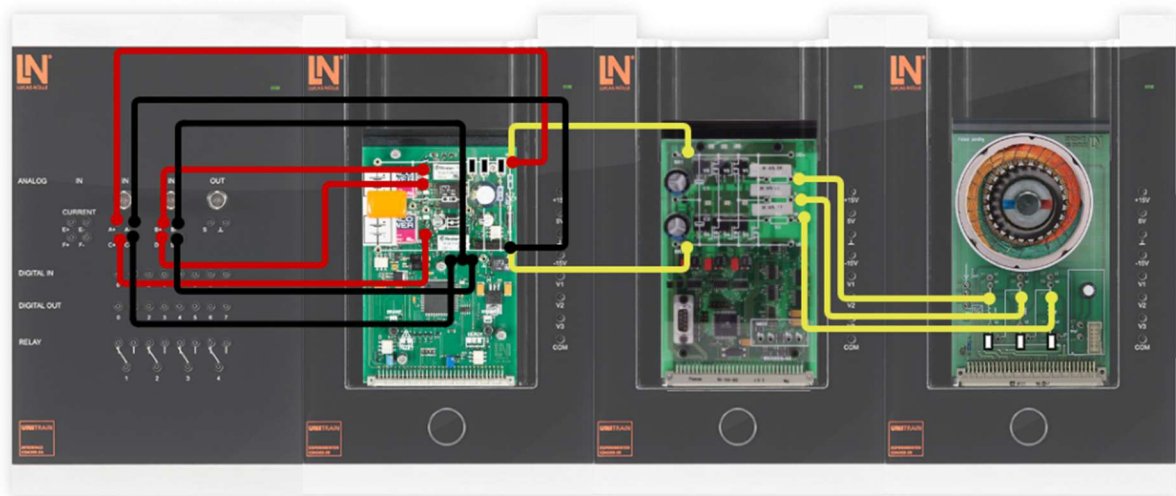


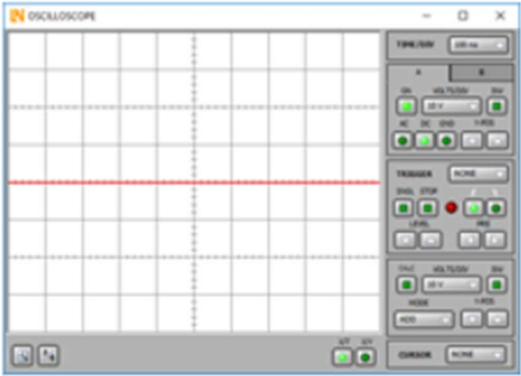
Рис. 6.18. Визначення послідовності увімкнення класичних системних реле. Фінальна конфігурація стенда для визначення послідовності увімкнення класичних системних реле та форми перехідних процесів засобами віртуального осцилографа

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.13.

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.13. Налаштування параметрів віртуального осцилографа

	<ul style="list-style-type: none">▪ Channel A: 10 V/div; DC; Y-POS: + 3V▪ Channel B: 5 V/div; DC; Y-POS: + 1 V▪ Channel C: 5 V/div; DC; Y-POS: 0 V▪ Channel D: 5 V/div; DC; Y-POS: - 1 V▪ Time: 2 s/div▪ Mode: X/T▪ Trigger: CHANNEL none;▪ LEVEL: div; PRETRIGGER: div;
---	---

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатись спрацювання системних реле K1 і K3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрана осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

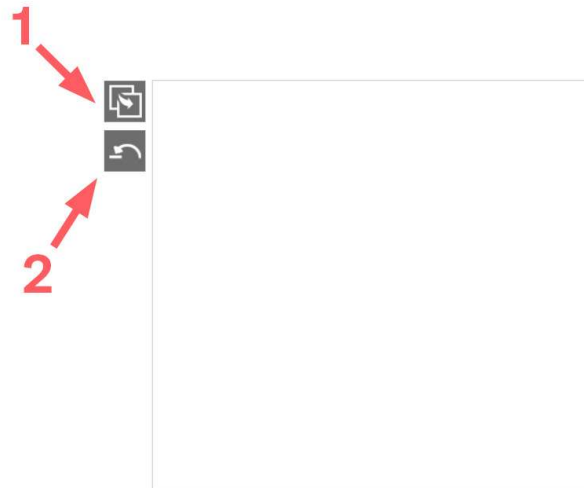


Рис. 6.19. Інструмент збереження зображення з вікна осцилографа в середовищі LS: 1 – кнопка вставити зображення з осцилографа («Paste from clipboard»), 2 – очистити вікно збереження («Restore Placeholder»)

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Наскільки високим є падіння напруги на резисторі R1 наприкінці фази попереднього заряджання?
 - а) падіння напруги становить приблизно 3 В;
 - б) падіння напруги становить приблизно 15 В;
 - с) падіння напруги становить приблизно 27 В;
 - д) падіння напруги становить приблизно 30 В.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

5.4.2. Частина № 2. Дослідження розумних системних реле «smart system relays»

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитися з теоретичною частиною, що викладена в пункті 6.3.3. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart switch-on sequence (low switching speed).

5.4.2.1. Експеримент № 1. Визначення послідовності увімкнення розумних системних реле засобами зовнішньої індикації

Для проведення наступного експерименту слід сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.20). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації стенда наступним кроком іде визначення послідовності увімкнення розумних системних реле за допомогою світлодіодної індикації на модулі «HV батарея із системними реле». Індикація навмисно відбувається із затримкою часу, відносно реальної швидкості комутації реле електромобіля, для більш зручного візуального сприйняття.

Для цього необхідно:

1. Виконати запуск системи та спостерігати світлодіодну індикацію біля розумних системних реле, що вмонтовані у модуль.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- Після завершення повного циклу запуску системи знову вимкнути її та спостерігати за індикацією.



Рис. 6.20. Дослідження розумних системних реле. Фінальна конфігурація схеми для візуального визначення порядку увімкнення розумних системних реле

Надайте відповідь на наступне запитання:

- Яка послідовність увімкнення світлодіодної індикації розумних системних реле під час запуску системи?
 - К1 і К2, потім К1, К2 та К3, а потім К1 і К3;
 - К1 і К3, потім К1 і К2;
 - К1 і К2, потім К1 і К3;
 - К2 увімкнено й вимкнено, потім К1 увімкнено, К2 увімкнено, К3 увімкнено, К2 вимкнено.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

5.4.2.2. Експеримент № 2. Визначення послідовності увімкнення розумних системних реле та форми перехідних процесів засобами віртуального осцилографа

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Measurements on smart system relays.

Для визначення форми перехідних процесів, що виникають у високовольтній системі під час її запуску, слід використовувати вбудований віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»). Перед проведенням експерименту слід детально ознайомитися з його функціями та принципом дії, перейшовши до розділу 3.2.3.

Для проведення вимірювань необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.10). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на поточній сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.13.

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатись спрацювання системних реле K1 і K3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

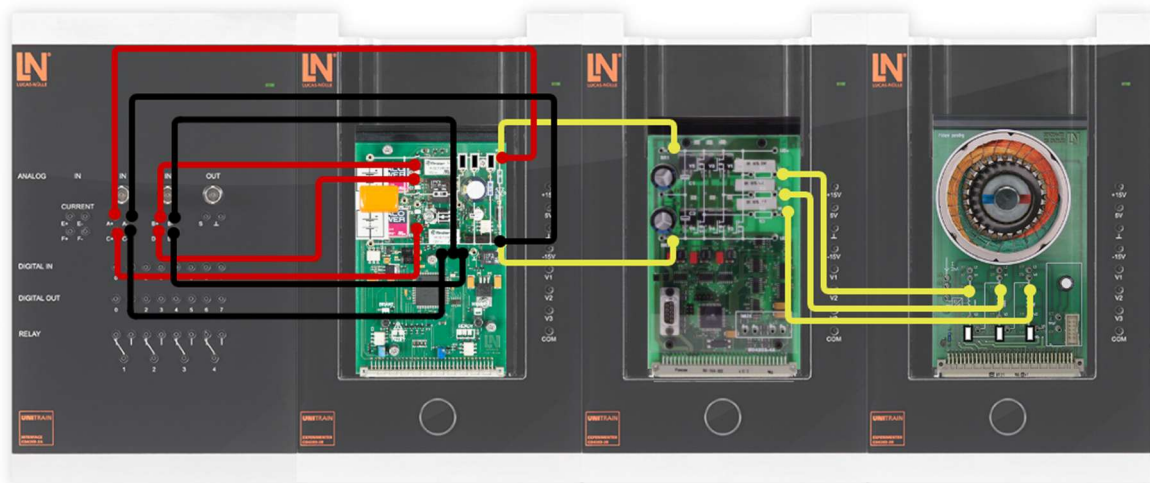


Рис. 6.21. Визначення послідовності увімкнення класичних системних реле. Фінальна конфігурація станда для визначення послідовності

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

увімкнення розумних системних реле та форми перехідних процесів засобами віртуального осцилографа

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Скільки часу минуло з моменту запуску системи до того, як загорілися світлодіоди «READY»?
 - а) приблизно 2,5 секунди;
 - б) приблизно 6 секунд;
 - с) приблизно 9 секунд.

5.4.3. Частина № 3. Дослідження випадків несправності розумних системних реле

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитися з теоретичною частиною, що викладена в пункті 6.3.3. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 1.

Опис випадку несправності розумних системних реле буде надано в рамках кожного з подальших експериментів.

5.4.3.1. Експеримент № 1. Випадок несправності розумного системного реле № 1

Нормальний режим роботи розумних системних реле (smart system relays), а також часова діаграма їх стану була розглянута в

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

пункті 6.3.3. У рамках даного експерименту буде розглянутий один із випадків несправності, що може виникнути в розумних системних реле під час роботи високовольтної системи. Для чіткого відстеження моменту часу, в який виникає несправність, необхідно скористатися плеєром часової діаграми в середовищі LS на сторінці експерименту, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 1.

На Рис. 6.22 можна побачити момент виникнення несправності у високовольтній системі, про що свідчить наявність індикатора жовтого кольору.

Можна звернути увагу, що під час пуску електромобіля виникають відмінності від стандартної форми напруги високовольтної системи. Вони стають помітними одразу після короткої активації реле К2. Стрімке збільшення напруги після активації реле К2 свідчить про те, що ланцюг живлення високовольтної системи замикається на стороні мінуса ("HV-Neg") раніше моменту увімкнення реле К1, що перебачений часовою діаграмою пізніше. Оскільки така форма напруги можлива лише при увімкненні реле К1, можна зробити висновок про те, що воно було замкнене із самого початку запуску системи. Оскільки зберігається можливість керування системою на стороні плюса за допомогою реле К3 ("HV pos"), система керування автомобіля класифікує цю несправність як «Нешкідливу» ("harmless" fault) та дозволяє перейти в режим готовності «READY» (Рис. 6.23). У даному випадку автомобіль все ще придатний до керування, але індикатор жовтого кольору постійно світиться.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Реакцію системи можна порівняти із заявленою, що була описана в розділі 6.3.3 і наведена у Таблиця 6.5 «Фаза № 1».

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 1 >> Measurements on smart system relays in fault case 1. Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.24). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

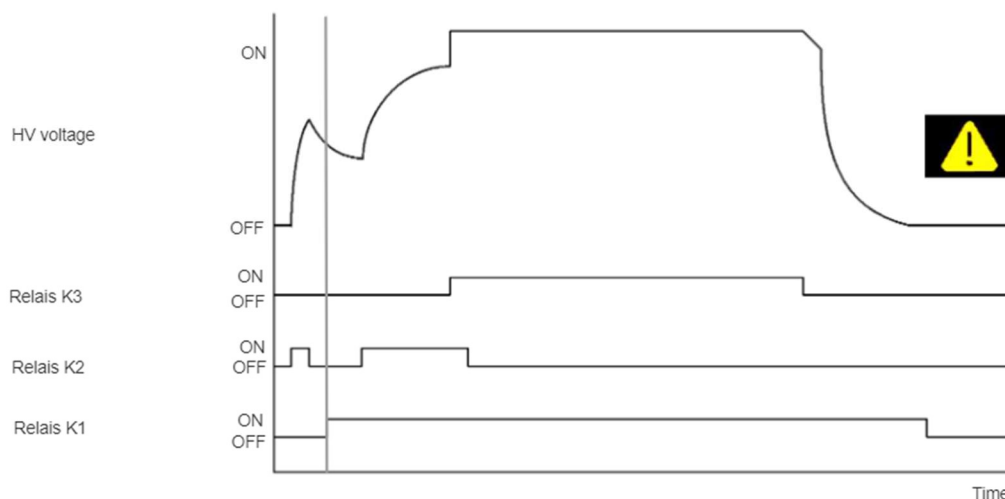


Рис. 6.22. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент виникнення несправності № 1

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

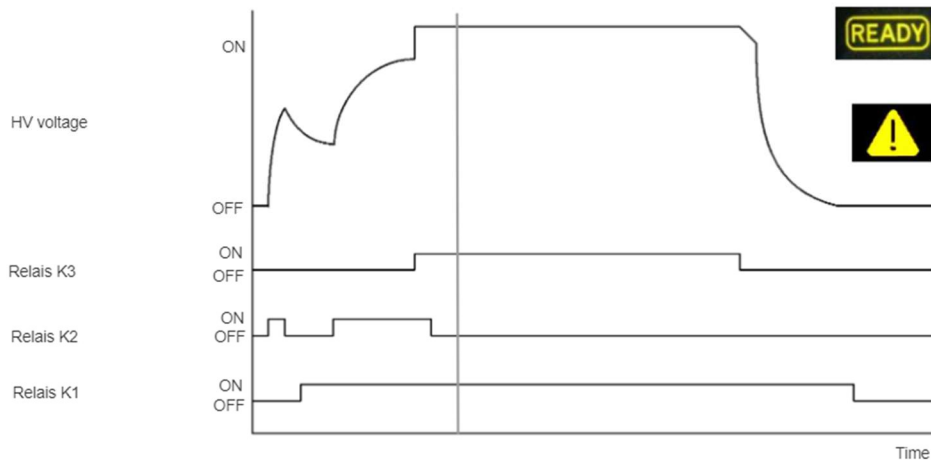


Рис. 6.23. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент переходу в режим готовності «READY» під час несправності № 1

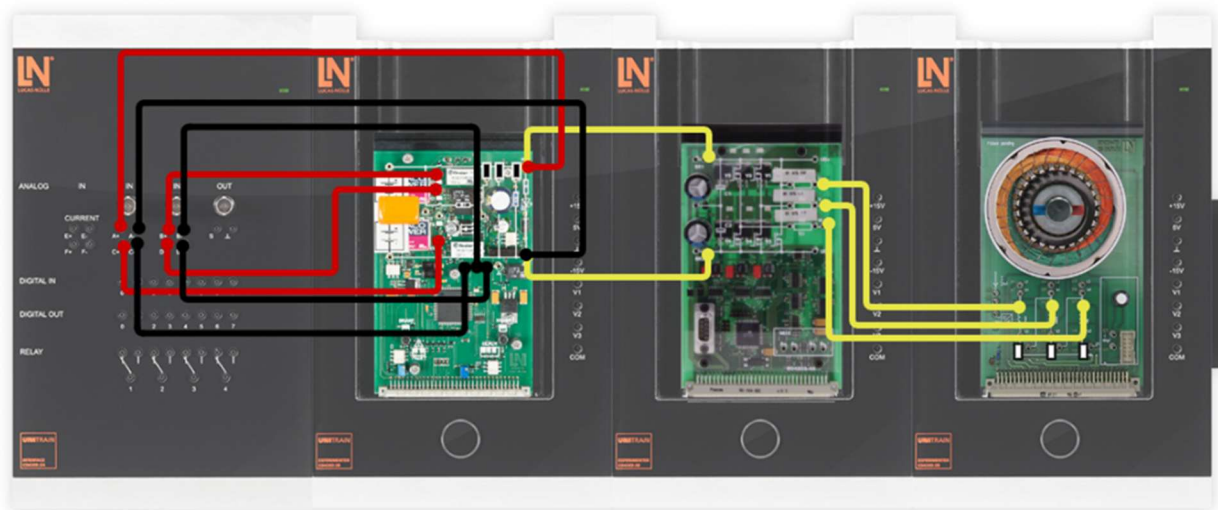


Рис. 6.24. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Фінальна конфігурація стенда для дослідження випадку несправності № 1 розумного системного реле

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.14.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля


Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

Після налаштування віртуального осцилографа на виконання експерименту слід здійснити наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.14. Налаштування параметрів віртуального осцилографа

	<ul style="list-style-type: none">▪ Channel A: 10 V/div; DC; Y-POS: + 3V▪ Channel B: 5 V/div; DC; Y-POS: + 1 V▪ Channel C: 5 V/div; DC; Y-POS: 0 V▪ Channel D: 5 V/div; DC; Y-POS: - 1 V▪ Time: 2 s/div▪ Mode: X/T▪ Trigger: CHANNEL none;▪ LEVEL: div; PRETRIGGER: div;
---	---

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Які причини несправності можна виявити після виконання вимірювань:
 - а) відмова блокатора (Interlock fault), сервісний роз'єм (service plug) системи високої напруги відкритий (витягнутий);
 - б) активне розрядження системи не працює;
 - в) негативне реле високовольтної системи ("HV-Neg") K1 не працює;
 - г) реле попереднього заряджання ("Pre-charge") K2 не працює;
 - д) позитивне реле ("HV pos") K3 не працює;
 - і) відмова блокатора (Interlock fault), обрив лінії;
 - к) обрив (interrupt) контакту реле "HV-Neg" K1;
 - л) спрацьовування реле "Pre-charge" K2 перервано;
 - м) коротке замикання на реле "Pre-charge" K2, перегоріло (burned through);

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- н) обрив (interrupt) ланки активного розрядного резистора;
- о) коротке замикання на реле "HV-Neg" K1, перегоріло (burned through);
- п) обрив (interrupt) контакту реле "HV-Pos" K3;
- р) коротке замикання на реле "HV-Pos" K3, перегоріло (burned through);
- с) несправностей не виявлено.

5.4.3.2. Експеримент № 2. Випадок несправності розумного системного реле № 2

У рамках даного експерименту буде розглянуто інший випадок несправності, що виникає в роботі розумних системних реле (smart system relays).

Для чіткого відстеження моменту часу, в який виникає несправність, необхідно скористатися плеєром часової діаграми в середовищі LS на сторінці експерименту, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 2.

У даному випадку запуск системи відбувається в нормальному режимі, із переходом у режим готовності «READY», і коректним відпрацюванням послідовності увімкнення реле (Рис. 6.25). Очікувана несправність може виникнути під час руху або в момент вимкнення системи. На Рис. 6.26 зображено момент часу, в який виникає несправність, яку можна ідентифікувати за формою напруги високовольтної системи. У нормальному режимі реле K3 і K1 розмикаються не одночасно, а послідовно, одне за одним, зі певною

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

витримкою часу. При розмиканні реле К3 (HV+relay або HV pos) напруга високовольтної системи повинна миттєво впасти. У нашому випадку цього не відбувається, і тому вмикається індикатор червоного кольору (Рис. 6.26).

Незважаючи на несправність, висока напруга в системі все ще може бути вимкнена із затримкою за допомогою реле К1 (HV – Neg). Із моменту виникнення несправності, система керування автомобіля визначає, що реле К3 перегоріло, тому транспортний засіб вважається некерованим, а отже високовольтна система не може бути запущена повторно.

Реакцію системи можна порівняти із заявленою, що була описана в розділі 6.3.3 і наведена у Таблиця 6.5 «Фаза № 6».

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 2 >> Measurements on smart system relays in fault case 2. Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.27). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

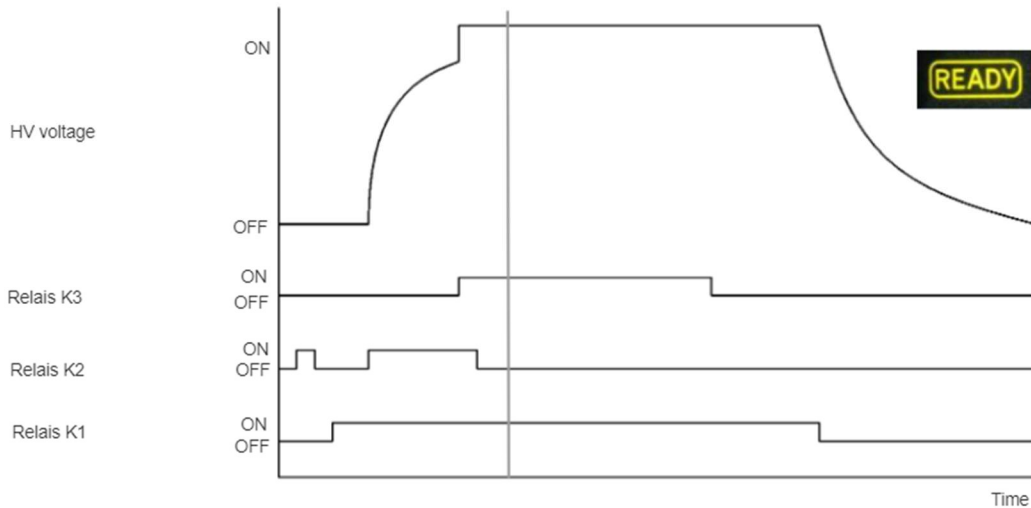


Рис. 6.25. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент переходу системи в режим «READY» (Несправність № 2)

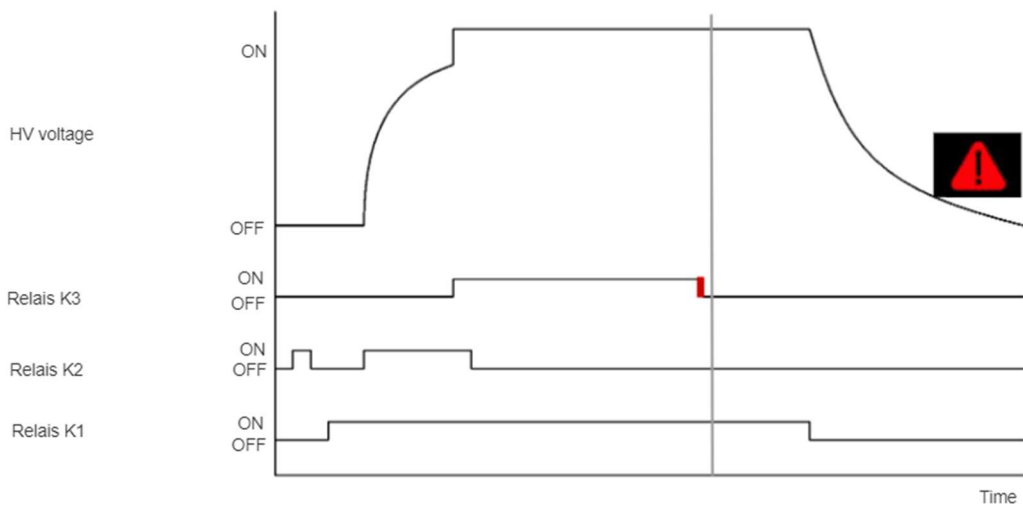


Рис. 6.26. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент виникнення несправності № 2

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

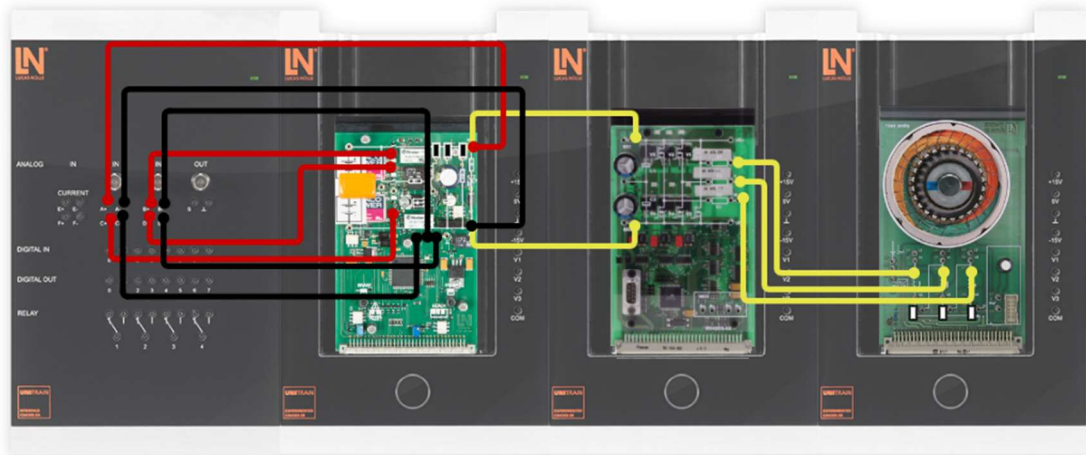


Рис. 6.27. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Фінальна конфігурація стенда для дослідження випадку несправності № 2 розумного системного реле

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками з Таблиця 6.14.

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа. Необхідно забезпечити видимість

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

обох процесів перемикання реле на початку запуску та наприкінці.

4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

Надайте відповіді на наступне запитання:

1. Які причини несправності можна виявити після виконання вимірювань (нумерація відповідей з екрану):
 - a. відмова блокатора (Interlock fault), сервісний роз'єм (service plug) системи високої напруги відкритий (витягнутий);
 - b. активне розрядження системи не працює;
 - c. негативне реле високовольтної системи ("HV-Neg") K1 не працює;
 - d. реле попереднього заряджання ("Pre-charge") K2 не працює;
 - e. позитивне реле ("HV pos") K3 не працює;
 - f. відмова блокатора (Interlock fault), обрив лінії;
 - g. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Neg" K1;
 - h. спрацьовування реле "Pre-charge" K2 перервано;
 - i. коротке замикання на реле "Pre-charge" K2, перегоріло (burned through);
 - j. обрив (interrupt) ланки активного розрядного резистора;
 - k. коротке замикання на реле "HV-Neg" K1, перегоріло (burned through);

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- l. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Pos" К3;
- m. коротке замикання на реле "HV-Pos" К3, перегоріло (burned through);
- n. несправності не виявлені.

5.4.3.3. Експеримент № 3. Випадок несправності розумного системного реле № 3

У рамках даного експерименту буде розглянуто інший випадок несправності, що виникає в роботі розумних системних реле (smart system relays).

Для чіткого відстеження моменту часу, в який виникає несправність, необхідно скористатися плеєром часової діаграми в середовищі LS на сторінці експерименту, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 3.

Під час запуску системи замість нормальної послідовності ввімкнення реле замикається лише реле К1 (Рис. 6.28). Даний випадок несправності можна оцінити за допомогою напруги високовольтної системи, що починає зростати пізніше, одразу після замикання реле К1. Це може означати, що ланцюг високовольтної системи замикається також на стороні плюса (HV+relay або HV pos), без спрацювання реле К2, яке б було необхідне для цього. Незважаючи на несправність, висока напруга в системі була ввімкнена за допомогою реле К1 (HV – Neg), і тому система перейшла в режим «READY», проте з індикацією несправності жовтого кольору (Рис. 6.29).

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

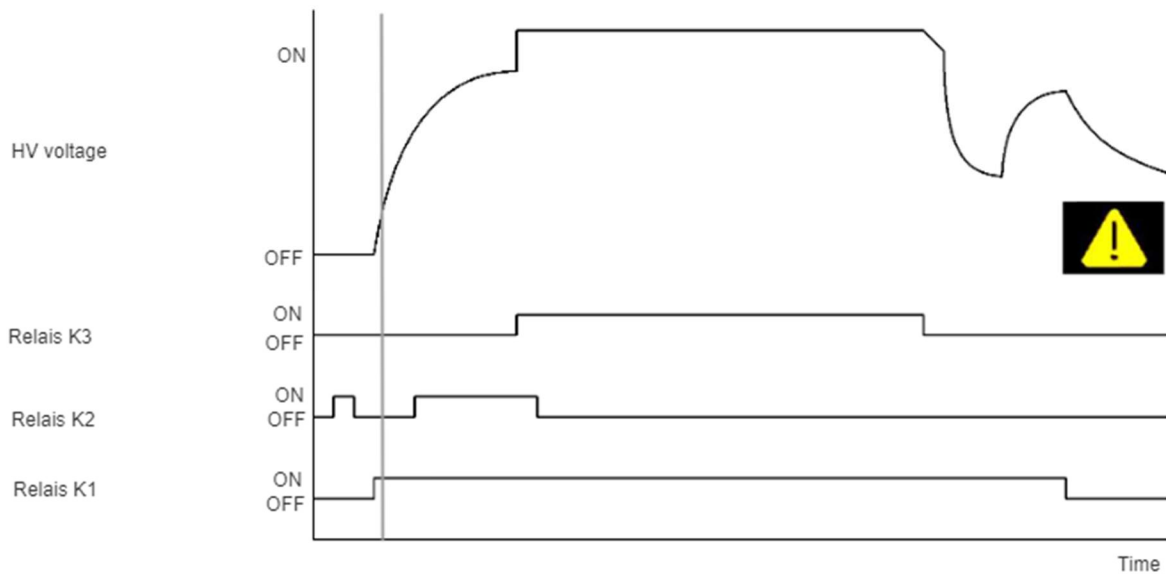


Рис. 6.28. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент виникнення першого випадку несправності системи № 3

3

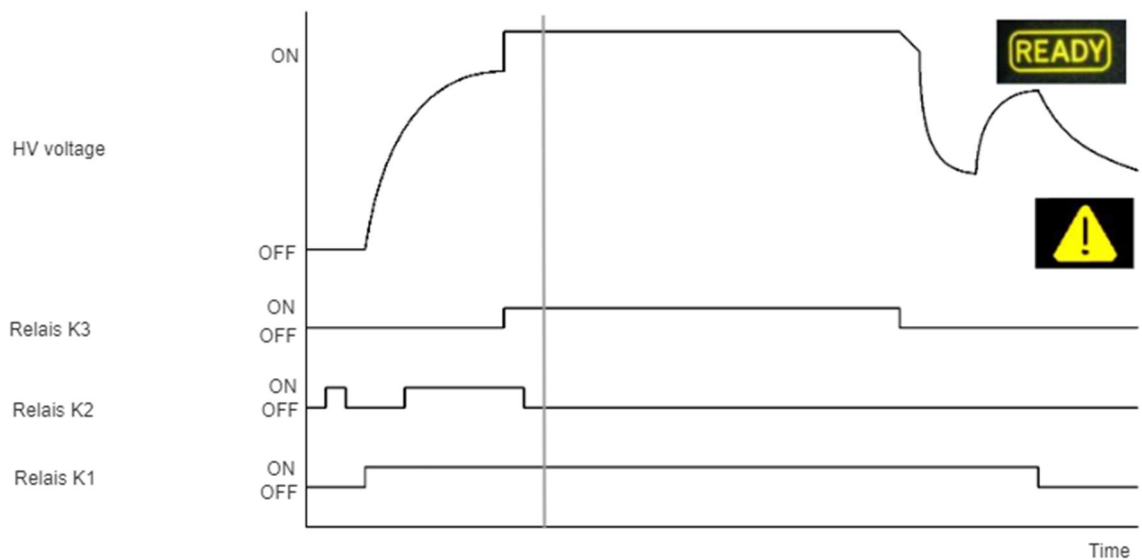


Рис. 6.29. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент переходу в режим «READY» у випадку несправності системи № 3

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

У момент вимкнення системи виникає проблема в ланці активного розрядження (active discharge), оскільки в системі залишається з'єднання з позитивним полюсом через резистор попереднього зарядження. Напруга високовольтної системи спочатку падає, але може знову зрости (Рис. 6.30) завдяки обмеженню струму в ланцюзі розряду (discharge circuit). Повне від'єднання високовольтної системи відбувається тільки під час розмикання реле К1. Після цього напруга в системі буде поступово падати завдяки ланцюгу пасивного розрядження (passive discharge circuit).

Оскільки система високої напруги залишається керованою засобами реле К1, система керування електромобіля класифікує дану несправність як «нешкідливу» ("harmless"). Автомобіль залишається придатним для керування, але індикатор жовтого кольору продовжує постійно світитись.

Реакцію системи можна порівняти із заявленою, що була описана в розділі 6.3.3 та наведена у Таблиця 6.5 «Фаза № 2».

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS та перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 3 >> Measurements on smart system relays in fault case 3. Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.31). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.14.

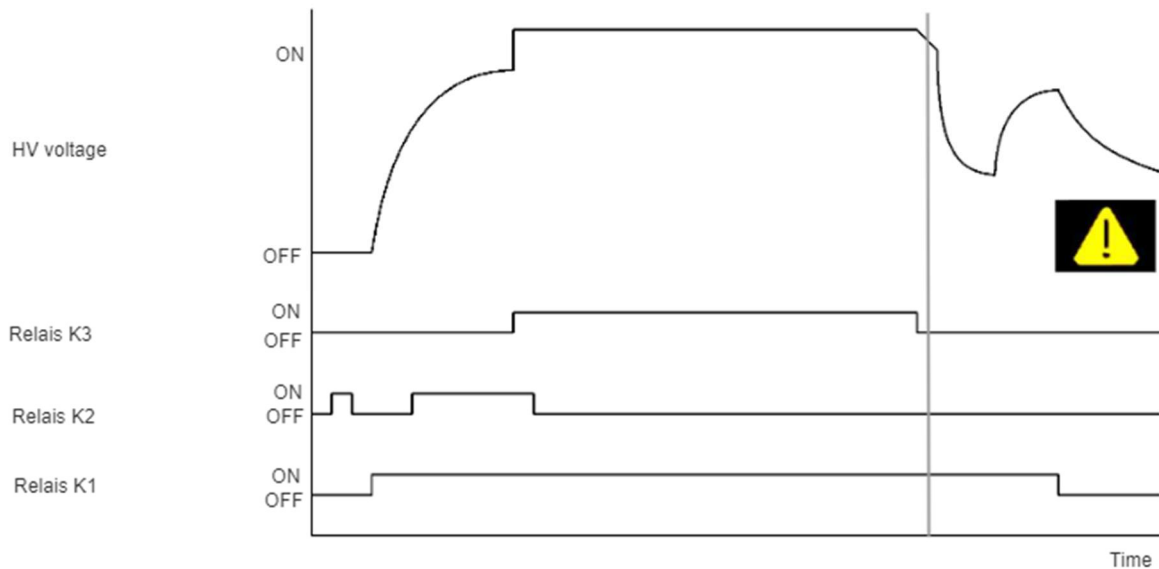


Рис. 6.30. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент виникнення другого випадку несправності системи № 3

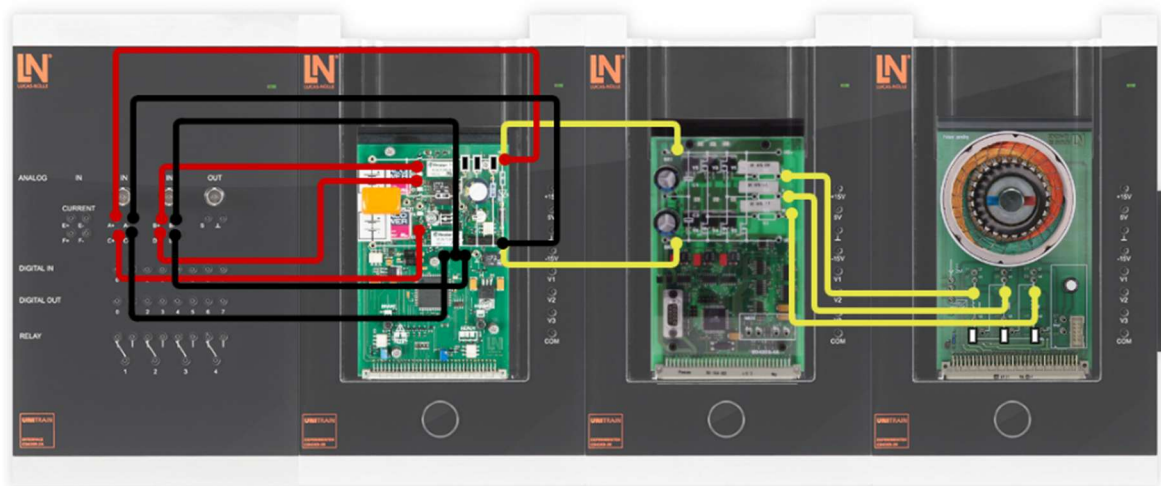


Рис. 6.31. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Фінальна конфігурація станда для дослідження випадку несправності № 3 розумного системного реле

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле K1 і K3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Які причини несправності можна виявити після виконання вимірювань:
 - a. відмова блокатора (Interlock fault), сервісний роз'єм (service plug) системи високої напруги відкритий (витягнутий);
 - b. активне розрядження системи не працює;
 - c. негативне реле високовольтної системи ("HV-Neg") K1 не працює;
 - d. реле попереднього заряджання ("Pre-charge") K2 не працює;

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- e. позитивне реле ("HV pos") К3 не працює;
- f. відмова блокатора (Interlock fault), обрив лінії;
- g. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Neg" К1;
- h. спрацьовування реле "Pre-charge" К2 перервано;
- i. коротке замикання на реле "Pre-charge" К2, перегоріло (burned through);
- j. обрив (interrupt) ланки активного розрядного резистора;
- k. коротке замикання на реле "HV-Neg" К1, перегоріло (burned through);
- l. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Pos" К3;
- m. коротке замикання на реле "HV-Pos" К3, перегоріло (burned through);
- n. несправності не виявлені.

5.4.3.4. Експеримент № 4. Випадок несправності розумного системного реле № 4

У рамках даного експерименту буде розглянуто інший випадок несправності, що виникає в роботі розумних системних реле (smart system relays).

Для чіткого відстежування моменту часу, в який виникає несправність, необхідно скористатися плеєром часової діаграми в середовищі LS на сторінці експерименту, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 4.

Під час запуску системи послідовність увімкнення системних реле відбувається в нормальному режимі до моменту переходу в режим

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

«READY». У цій фазі процес попереднього заряджання (pre-charge або preload process) щойно закінчився і позитивне реле К3 ("HV pos") повинно замкнутись, тим самим шунтуючи ланку попереднього заряджання та пропускаючи через себе основний потік енергії. Очікувана невправність проявляється саме у цей момент шляхом поступового падіння напруги високовольтної системи до вихідного значення (Рис. 6.32). Оскільки напруга не досягає максимального (номінального) значення, процес переходу в режим «READY» неможливий. Після виявлення системою керування помилки вмикається індикатор червоного кольору. Висока напруга в системі все ще може бути вимкнена засобами реле К1 із затримкою часу. Але, оскільки перехід у режим «READY» неможливий, транспортний засіб вважається не придатним для керування, а отже система не може бути повторно запущена.

Реакцію системи можна порівняти із заявленою, що була описана в розділі 6.3.3 та наведена у Таблиця 6.5 «Фаза № 5».

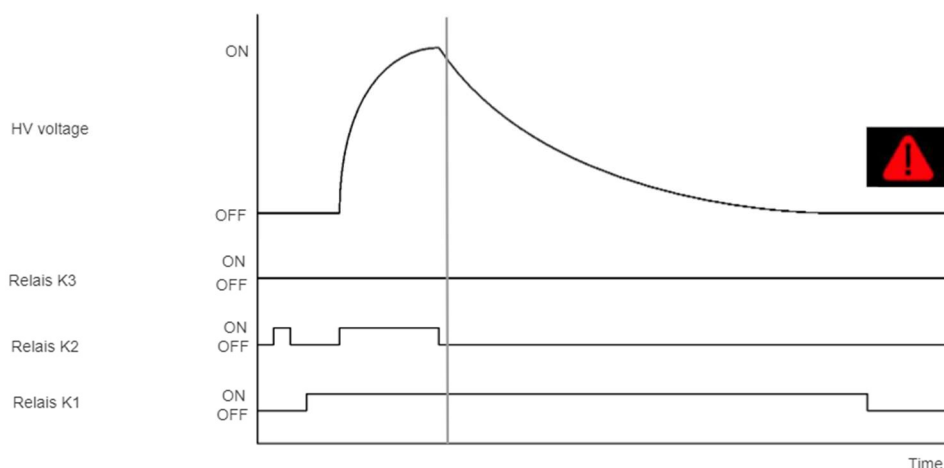


Рис. 6.32. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент виникнення несправності системи № 4

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 4 >> Measurements on smart system relays in fault case 4. Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.33). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.14.

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

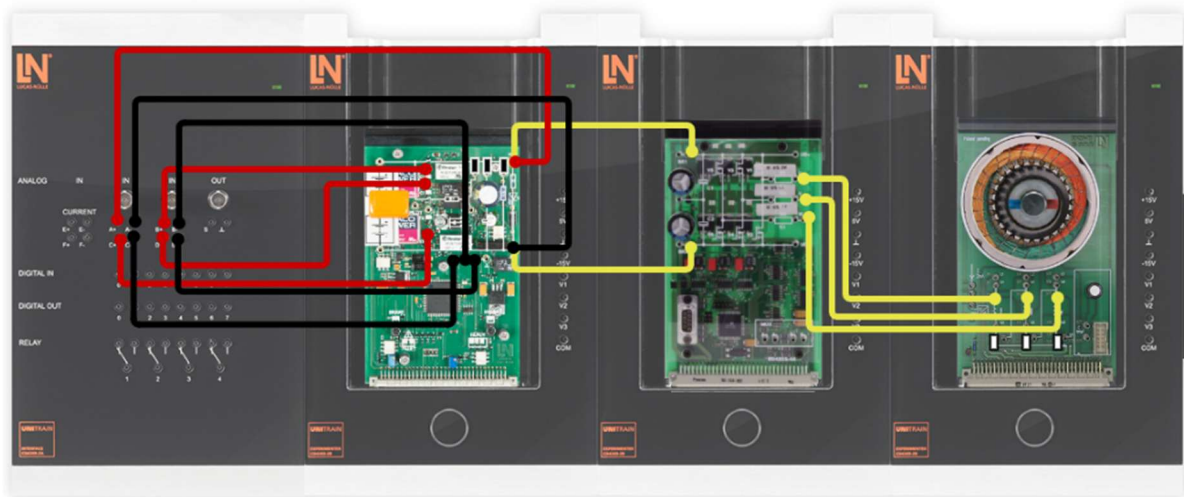


Рис. 6.33. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Фінальна конфігурація стенда для дослідження випадку несправності № 4 розумного системного реле

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Які причини несправності можна виявити після виконання вимірювань:
 - a. відмова блокатора (Interlock fault), сервісний роз'єм (service plug) системи високої напруги відкритий (витягнутий);
 - b. активне розрядження системи не працює;
 - c. негативне реле високовольтної системи ("HV-Neg") К1 не працює;
 - d. реле попереднього заряджання ("Pre-charge") К2 не працює;
 - e. позитивне реле ("HV pos") К3 не працює;
 - f. відмова блокатора (Interlock fault), обрив лінії;
 - g. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Neg" К1;

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- h. спрацьовування реле "Pre-charge" K2 перервано;
- i. коротке замикання на реле "Pre-charge" K2, перегоріло (burned through);
- j. обрив (interrupt) ланки активного розрядного резистора;
- k. коротке замикання на реле "HV-Neg" K1, перегоріло (burned through);
- l. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Pos" K3;
- m. коротке замикання на реле "HV-Pos" K3, перегоріло (burned through);
- n. несправності не виявлені.

5.4.3.5. Експеримент № 5. Випадок несправності розумного системного реле № 5

У рамках даного експерименту буде розглянуто інший випадок несправності, що виникає в роботі розумних системних реле (smart system relays).

Для чіткого відстежування моменту часу, в який виникає несправність, необхідно скористатися плеєром часової діаграми в середовищі LS на сторінці експерименту, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 5.

Під час запуску системи послідовність увімкнення системних реле відбувається в нормальному режимі із Фази № 1 до Фази № 3. На початку Фази № 4, коли після увімкнення реле K1 спрацьовує реле попереднього заряджання реле K2, висока напруга повинна зростати з початком фази попереднього заряджання. У даному випадку (Рис. 6.34)

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

цього не відбувається, оскільки реле K1 не спрацьовує (замикаючи ланцюг), а отже напруга високовольтної системи не зростає. Через відсутність можливості переходу в режим «READY» транспортний засіб вважається непридатним для руху, тому вмикається індикатор червоного кольору, а система не може бути повторно запущена.

Реакцію системи можна порівняти із заявленою, що була описана в розділі 6.3.3 (с. 22) та наведена у Таблиця 6.5 «Фаза № 4».

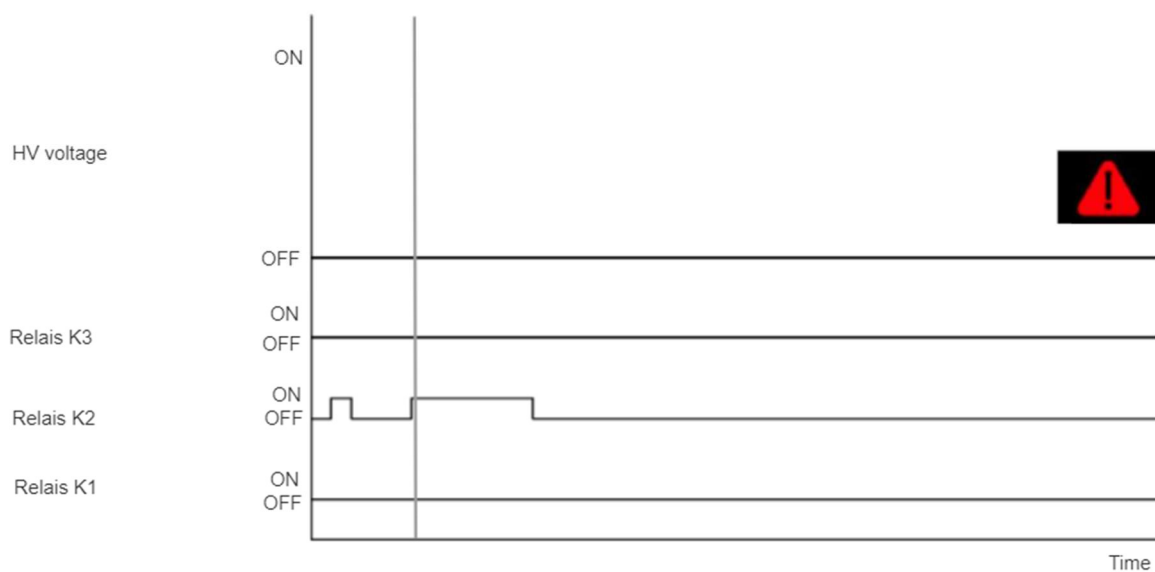


Рис. 6.34. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент виникнення несправності системи № 5

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 5 >> Measurements on smart system relays in fault case 5. Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.35). Із

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.14.

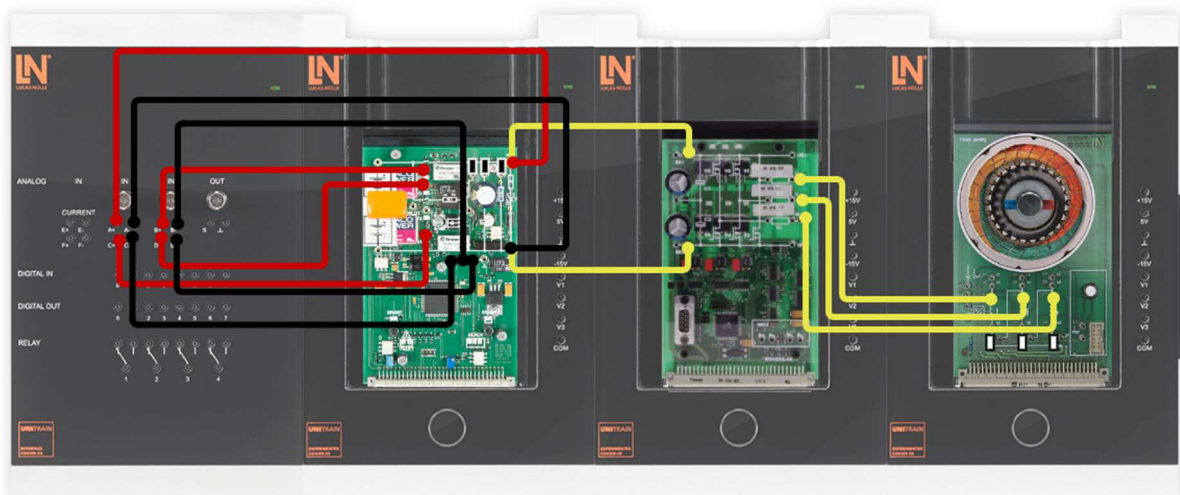


Рис. 6.35. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Фінальна конфігурація стенда для дослідження випадку несправності № 5 розумного системного реле

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Які причини несправності можна виявити після виконання вимірювань:
 - a. відмова блокатора (Interlock fault), сервісний роз'єм (service plug) системи високої напруги відкритий (витягнутий);
 - b. активне розрядження системи не працює;
 - c. негативне реле високовольтної системи ("HV-Neg") K1 не працює;
 - d. реле попереднього заряджання ("Pre-charge") K2 не працює;
 - e. позитивне реле ("HV pos") K3 не працює;
 - f. відмова блокатора (Interlock fault), обрив лінії;
 - g. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Neg" K1;
 - h. спрацьовування реле "Pre-charge" K2 перервано;
 - i. коротке замикання на реле "Pre-charge" K2, перегоріло (burned through);
 - j. обрив (interrupt) ланки активного розрядного резистора;
 - k. коротке замикання на реле "HV-Neg" K1, перегоріло (burned through);

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- l. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Pos" К3;
- m. коротке замикання на реле "HV-Pos" К3, перегоріло (burned through);
- n. несправності не виявлені.

5.4.3.6. Експеримент № 6. Випадок несправності розумного системного реле № 6

У рамках даного експерименту буде розглянуто інший випадок несправності, що виникає в роботі розумних системних реле (smart system relays).

Для чіткого відстежування моменту часу, в який виникає несправність, необхідно скористатися плеєром часової діаграми, у середовищі LS, на сторінці експерименту, перейшовши за адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 6.

Під час запуску системи, у даному випадку несправності, спостерігається лише активація реле К1 (Рис. 6.36). Оскільки реле попереднього заряджання К2 жодного разу не спрацьовує, то напруга високовольтної системи не зможе збільшитися до номінального значення. Несправність, у даному випадку, може бути викликана виключно в реле К2. Оскільки запуск системи без фази попереднього заряджання є неможливий через значну небезпеку для решти систем електромобіля, вмикається індикатор червоного кольору, а транспортний засіб вважається не готовим до руху.

Реакцію системи можна порівняти із заявленою, що була описана в розділі 6.3.3 та наведена у Таблиця 6.5 «Фаза № 4».

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

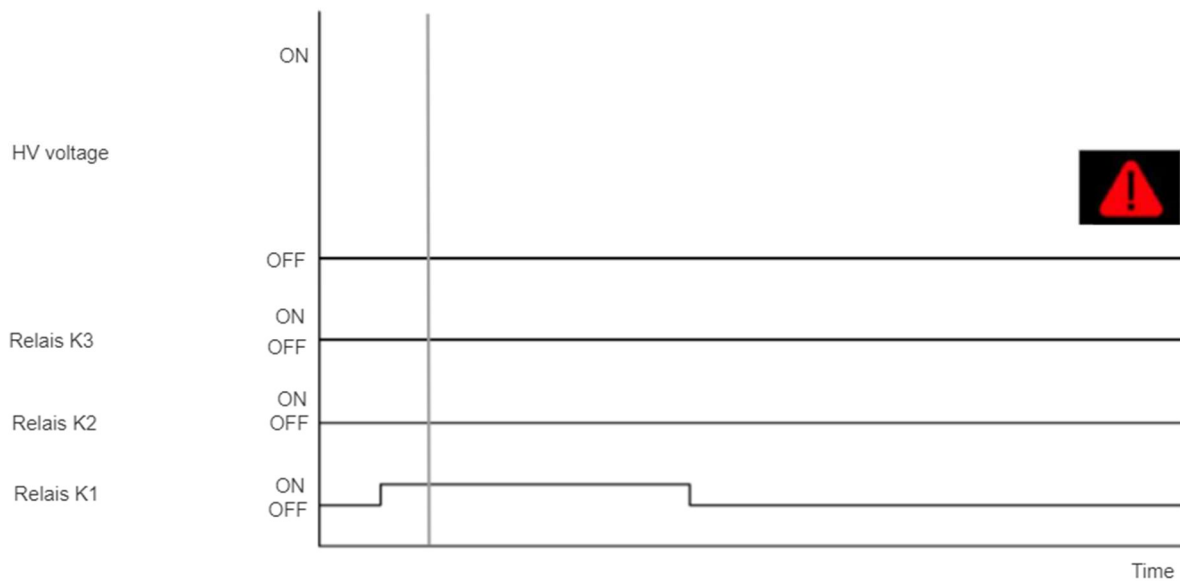


Рис. 6.36. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Момент виникнення несправності системи № 6

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> HV system relays >> Smart system relays >> Smart system relays in fault case 6 >> Measurements on smart system relays in fault case 6. Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.37). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками зі Таблиця 6.14.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

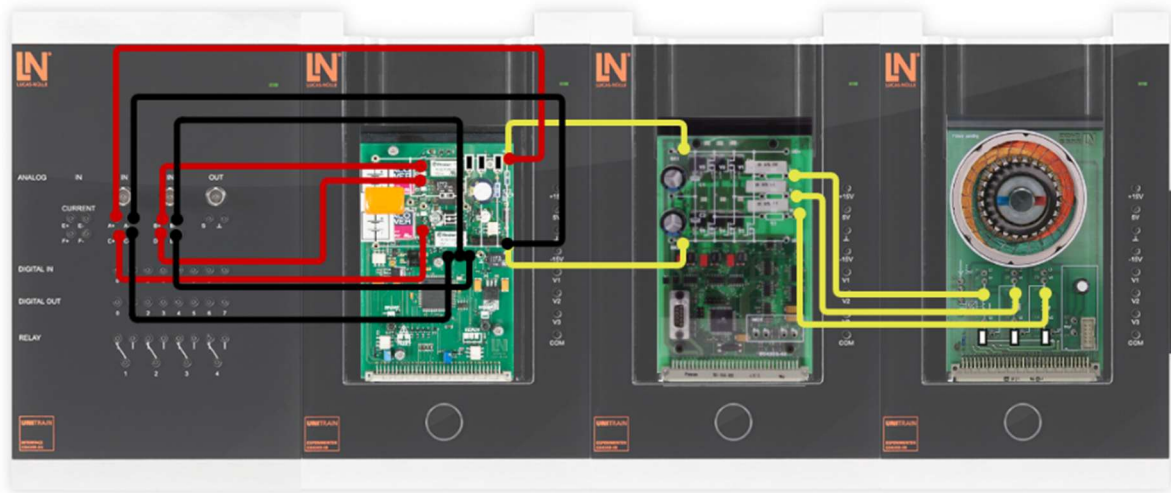


Рис. 6.37. Дослідження випадків несправності розумних системних реле. Фінальна конфігурація станда для дослідження випадку несправності № 6 розумного системного реле

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Які причини несправності можна виявити після виконання вимірювань:
 - a. відмова блокатора (Interlock fault), сервісний роз'єм (service plug) системи високої напруги відкритий (витягнутий);
 - b. активне розрядження системи не працює;
 - c. негативне реле високовольтної системи ("HV-Neg") K1 не працює;
 - d. реле попереднього заряджання ("Pre-charge") K2 не працює;
 - e. позитивне реле ("HV pos") K3 не працює;
 - f. відмова блокатора (Interlock fault), обрив лінії;
 - g. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Neg" K1;
 - h. спрацьовування реле "Pre-charge" K2 перервано;
 - i. коротке замикання на реле "Pre-charge" K2, перегоріло (burned through);
 - j. обрив (interrupt) ланки активного розрядного резистора;
 - k. коротке замикання на реле "HV-Neg" K1, перегоріло (burned through);
 - l. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Pos" K3;
 - m. коротке замикання на реле "HV-Pos" K3, перегоріло (burned through);
 - n. несправності не виявлені.

5.4.3.7. Тест № 1. Принципи роботи головних системних реле електричних транспортних засобів

Надайте відповідь на наступні запитання:

1. Оберіть правильну послідовність увімкнення класичних системних реле
 - a. реле попереднього заряджання (pre-charge або pre-load) вмикається останнім;
 - b. висока напруга подається до системи лише із затримкою;
 - c. першими вмикаються (замикаються) реле попереднього заряджання та реле HV-;
 - d. реле попереднього заряджання та реле HV- умикаються першими;
 - e. реле HV+ умикається лише тоді, коли є впевненість у відсутності несправностей у системі високої напруги.
2. Які твердження справедливі для розумних системних реле?
 - a. реле не потрібно тестувати перед уведенням системи високої напруги в експлуатацію;
 - b. реле інтелектуальної системи вже протестовані перед уведенням системи високої напруги в експлуатацію;
 - c. усі реле системи завжди спрацьовують одночасно.
3. У якій послідовності зазвичай вмикаються (замикаються) та вимикаються (розмикаються) розумні реле?
 - a. K1 і K2, потім K1, K2 та K3, потім K1 і K3;
 - b. K1 і K3, потім K1 та K2;
 - c. K1 і K2, потім K1 та K3;

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- d. K2 увімкнено й вимкнено, потім K1 увімкнено, K2 увімкнено, K3 увімкнено, K2 вимкнено.
4. Існує багато потенційних несправностей, що можуть вплинути на систему. Які із перерахованих нижче несправностей можуть виникнути безпосередньо в ремонтній майстерні під час ремонту? (обрати всі правильні варіанти)
- a. помилка блокатора (interlock), сервісний роз'єм витягнуто;
 - b. система активного розрядження не працює;
 - c. не працює реле K1 "HV-Neg";
 - d. не працює реле «Попереднього зарядження» K2;
 - e. не працює реле K3 "HV pos";
 - f. помилка блокатора, обрив лінії;
 - g. обрив контакту реле "HV-Neg" K1;
 - h. спрацьовування реле "Pre-Charge" від переривання K2;
 - i. контакт реле "Pre-Charge" K2 замкнений, перегорів;
 - j. переривання активного розрядного резистора;
 - k. коротке замикання реле "HV-Neg" K1, прогоріло (burned through);
 - l. обрив контакту реле "HV-Pos" K3;
 - m. коротке замикання реле "HV-Pos" K3, прогоріло (burned through);
 - n. усі перераховані варіанти.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

5.4.4. Частина № 4. Дослідження системи блокування «Interlock»

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитись із теоретичною частиною, що викладена в пункті 6.3.4. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Interlocks >> Experiment: Evaluation of interlock/pilot line.

5.4.4.1. Експеримент № 1. Визначення напруги в системі блокування до виникнення несправності

Для виконання даного експерименту необхідно на відкритій сторінці LS перейти до розділу «**Experiment 1**». Після чого сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.38). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Для визначення типу несправності в системі необхідно знати рівень напруги в системі блокування (Interlock) до її виникнення (у нормальному режимі).

Після успішного виконання підключення слід налаштувати віртуальні вимірювальні прилади. Для цього експерименту необхідно налаштувати віртуальний вольтметр каналу А (VOLTMETER A), скориставшись указівками із Таблиця 6.15.

Відкрити віртуальний вольтметр можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Після налаштування віртуального вольтметра необхідно виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи й дочекатись її повної активації. Переходу в режим «READY».
2. Спостерігати результат вимірювань на екрані вольтметра.

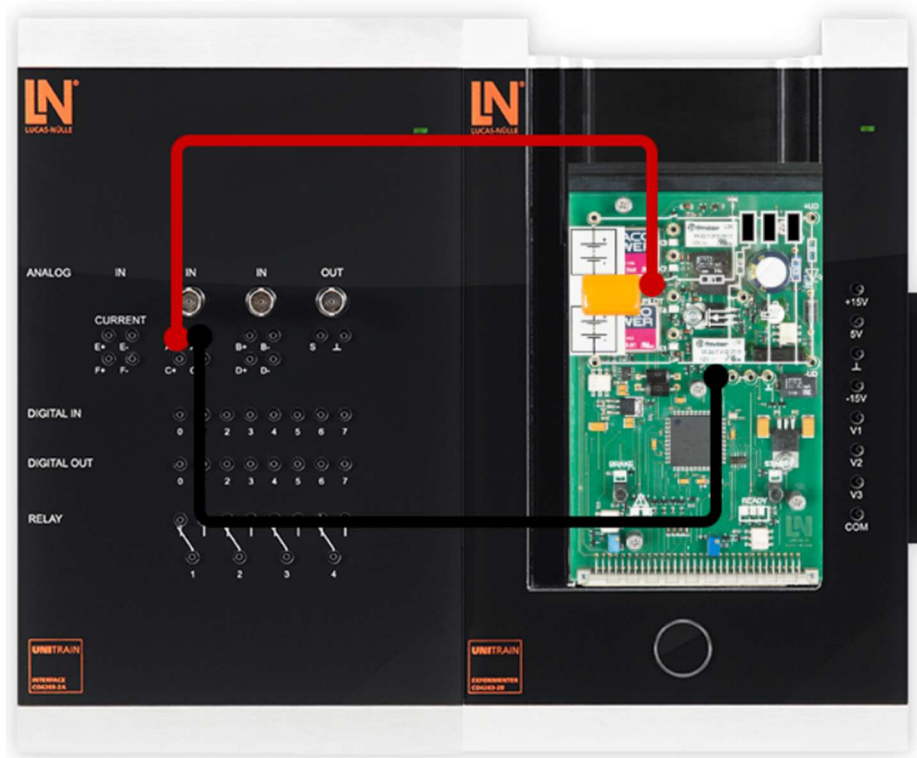



Рис. 6.38. Дослідження системи блокування «Interlock». Фінальна конфігурація схеми для вимірювання рівня напруги в системі блокування в нормальному режимі

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.15. Налаштування віртуального вольтметра канал А

	<p>Встановіть наступні параметри для вольтметра каналу А:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ RANGE: 20V▪ MODE: AV▪ DC
---	--

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Яке значення напруги встановилось під час підключення блокатора в нормальному режимі?
 - а. напруга блокатора становить ____.

5.4.4.2. Експеримент № 2. Визначення напруги в системі блокування після виникнення несправності

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

Не змінюючи конфігурацію із попереднього експерименту, необхідно вимкнути систему й витягнути помаранчеву перемичку (Рис. 6.7), що виконує функцію кришки сервісного роз'єму (Service plug). Після чого налаштувати віртуальний вольтметр каналу А (VOLTMETER A), скориставшись указівками із Таблиця 6.15.

Після налаштування віртуального вольтметра необхідно виконати наступний порядок дій:

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

1. Виконати запуск системи та спостерігати за її реакцією за допомогою віртуального вольтметра й світлодіодної індикації реле.
2. Спостерігати результати вимірювання на екрані вольтметра.

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Яке значення напруги встановилось під час підключення блокуатора в стані помилки?
 - а. напруга блокуатора становить ___ В.

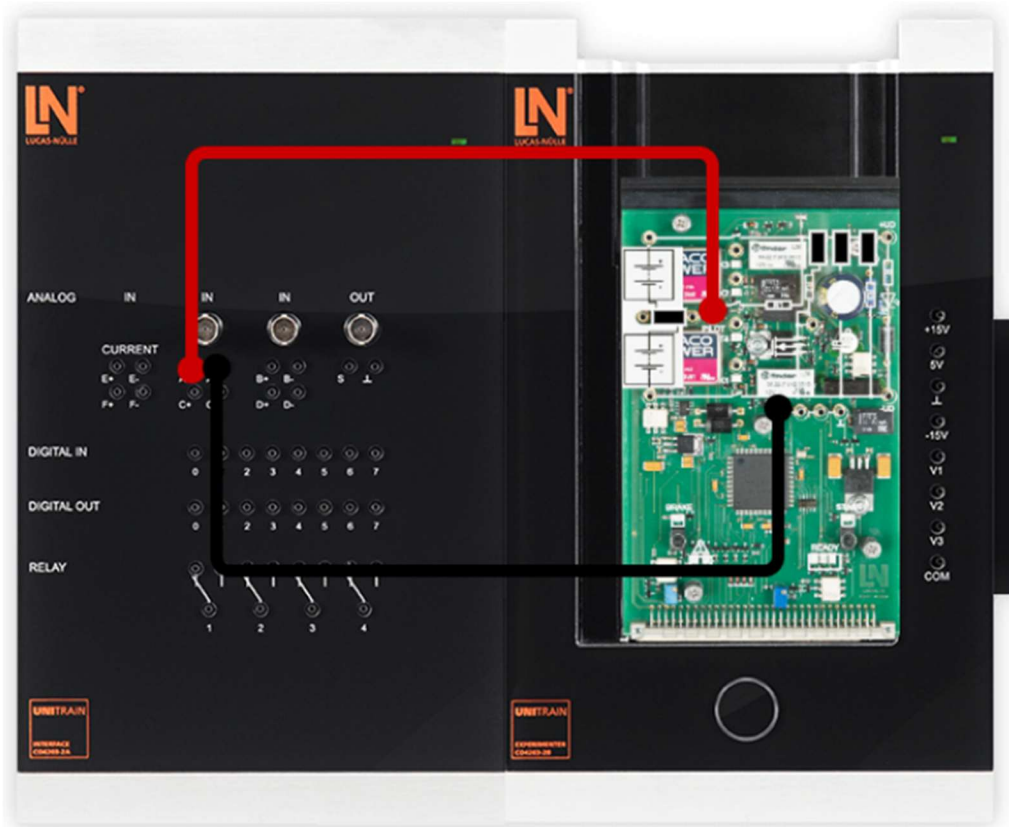


Рис. 6.39. Дослідження системи блокування «Interlock». Фінальна конфігурація схеми для вимірювання рівня напруги в системі блокування під час несправності

5.4.4.3. Тест № 1. Принцип роботи блокатора «Interlock»

Надайте відповідь на наступні запитання:

1. Як вплине на систему раптове переривання ланки блокатора?
 - a. жодних змін у системі не помітно;
 - b. усі реле системи одночасно вимикаються;
 - c. усі реле системи вмикаються одночасно;
 - d. Реле системи спрацьовують послідовно.
2. У чому перевага такої реакції системних реле на раптове відключення?
 - a. функція підвищує безпеку системи;
 - b. функція є абсолютно зайвою;
 - c. функція створює додаткові ризики для людей.
3. Що таке блокатор «Interlock»
 - a. система безпеки;
 - b. частина високовольтної батареї;
 - c. джерело напруги;
 - d. пристрій для відведення струму несправності (fault-current drain).
4. З якою метою в електричному транспортному засобі встановлюється блокатора/пілотна(interlock/pilot) лінія?
 - a. задля збільшення потужності;
 - b. задля підвищення безпеки автомобіля;
 - c. щоб перевірити, чи правильно інтегровані високовольтні компоненти у високовольтну систему;
 - d. задля покращення простоти збирання;
 - e. задля полегшення монтажу високовольтних ліній.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

5. До якого рівня напруги (voltage system) належить лінія блокатора/пілотна лінія?
- a. високовольтна система;
 - b. система високого струму;
 - c. низьковольтна система.

5.4.5. Частина № 5. Дослідження систем активного й пасивного розрядження

Перед виконанням даної частини лабораторної роботи необхідно ознайомитись із теоретичною частиною, що викладена в пункті 6.3.6. Для безпосереднього виконання лабораторної роботи на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку виконання експерименту за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Capacitors >> HV Capacitors in inverters >> Measurement of "active discharge".

5.4.5.1. Експеримент № 1. Вимірювання в системі активного розрядження

Для виконання даного експерименту необхідно на відкритій сторінці LS перейти до розділу «**Experiment 1**». Після чого сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.40). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.16.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

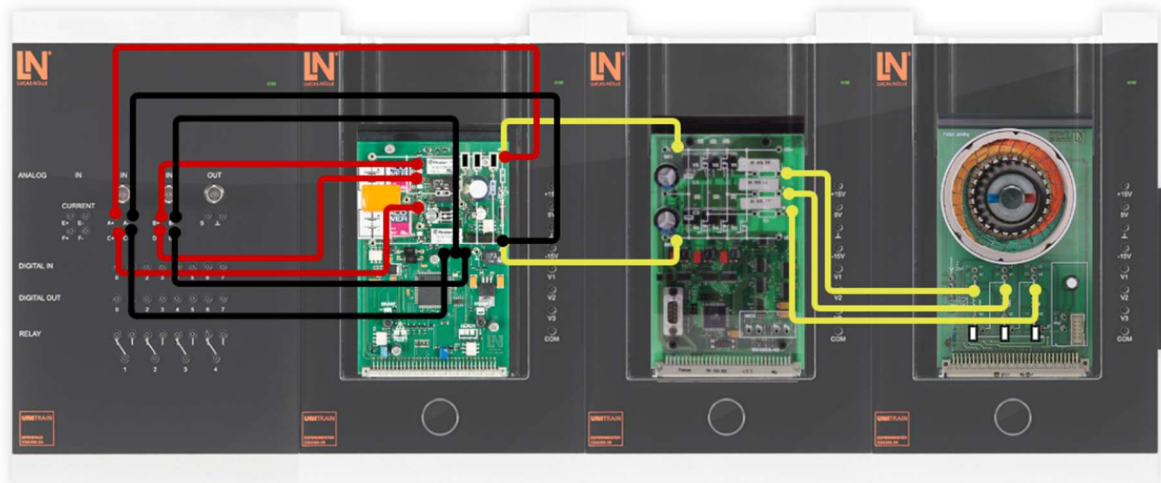
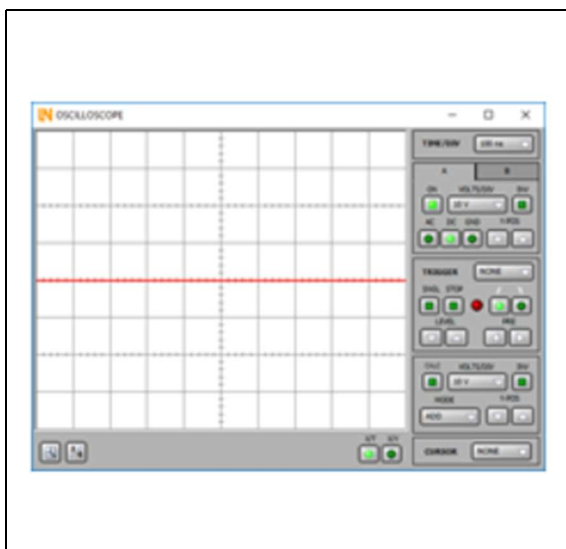


Рис. 6.40. Дослідження систем активного й пасивного розрядження. Фінальна конфігурація схеми для вимірювання в системі активного розрядження експерименту № 1

Таблиця 6.16. Налаштування віртуального осцилографа



- Channel A: 10 V/div; DC; Y-POS: + 3V
- Channel B: 5 V/div; DC; Y-POS: + 1 V
- Channel C: 5 V/div; DC; Y-POS: 0 V
- Channel D: 5 V/div; DC; Y-POS: - 1 V
- Time: 2 s/div
- Mode: X/T
- Trigger: CHANNEL none; LEVEL: div; PRETRIGGER: div

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему приблизно через 10 секунд.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент, коли напруга високовольтної системи впаде нижче 1 В.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Скільки часу триває фаза активного розрядження з моменту відключення системи до моменту, коли напруга стане нижчою за 1 В.
 - a. приблизно 5 секунд;
 - b. приблизно 3 секунди;
 - c. приблизно 1 секунда.

5.4.5.2. Експеримент № 2. Вимірювання струму конденсатора в системі пасивного розрядження

Для безпосереднього виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Capacitors >> Currents in the capacitor: Passive discharge.

Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.41). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.17.

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

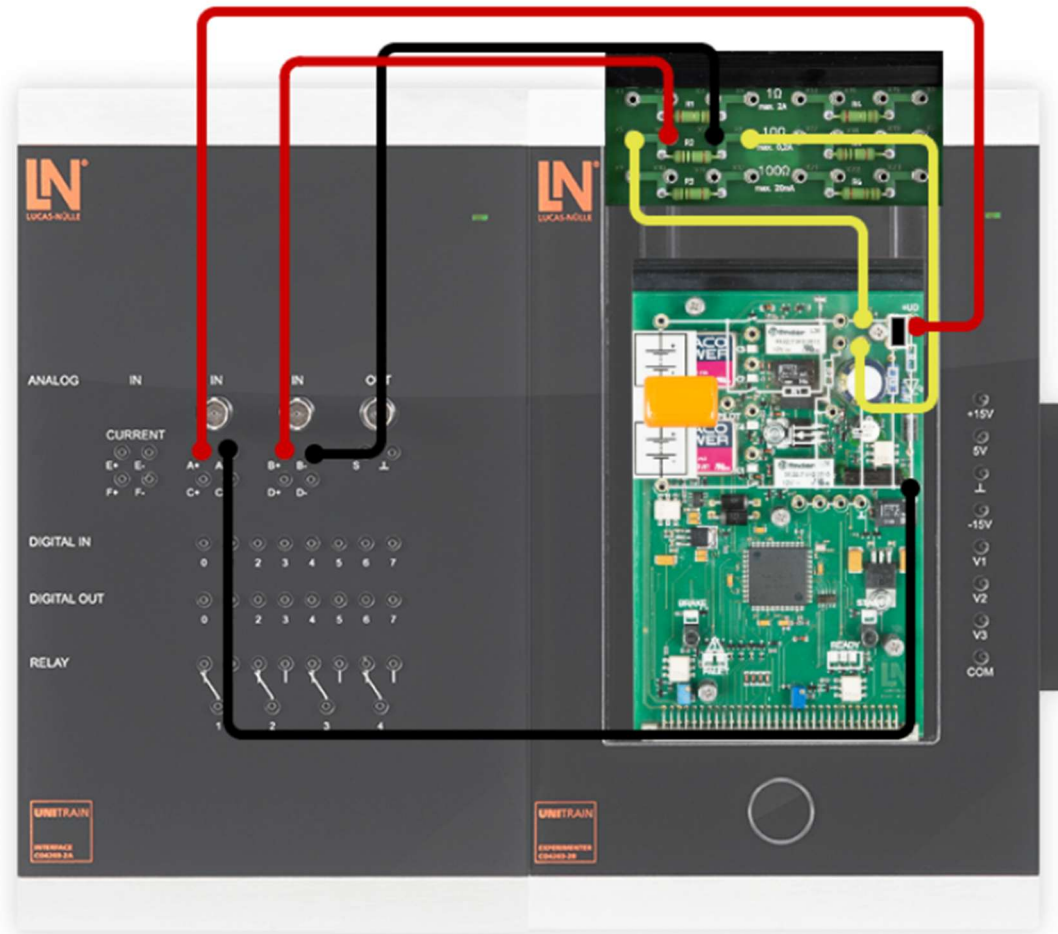



Рис. 6.41. Дослідження систем активного й пасивного розрядження.
Фінальна конфігурація схеми для вимірювання струму конденсатора в системі пасивного розрядження експерименту № 2

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.17. Налаштування віртуального осцилографа

	<ul style="list-style-type: none">▪ Channel A: 10 V/div; DC; Y-POS: + 3V▪ Channel B: 5 V/div; DC; Y-POS: + 1 V▪ Time: 500 ms/div▪ Mode: X/T▪ Trigger: CHANNEL none;▪ LEVEL: div; PRETRIGGER: div
---	---

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

Для відображення часової діаграми в експерименті використовуйте вимірювання напруги з каналу А (Channel A) в якості орієнтиру.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Для визначення струму, що протікає через конденсатор, за допомогою шунта (шунтуючого резистора) необхідно виміряти падіння напруги на каналі В (Channel В).

Надайте відповідь на наступні запитання:

1. Яка максимальна напруга вимірюється на каналі шунтуючого резистора для системи пасивного розрядження?
 - a. у системі пасивного розрядження максимальна виміряна напруга становить ___ В.
2. Чому дорівнює струм, що протікає через конденсатор при пасивному розрядженні, у момент вимикання системи?
 - a. у системі пасивного розрядження максимальний вимірний струм становить ___ мА.

5.4.5.3. Експеримент № 3. Вимірювання струму конденсатора в системі активного розрядження

Для виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Capacitors >> Currents in the capacitor: Active discharge.

Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.42). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.17.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

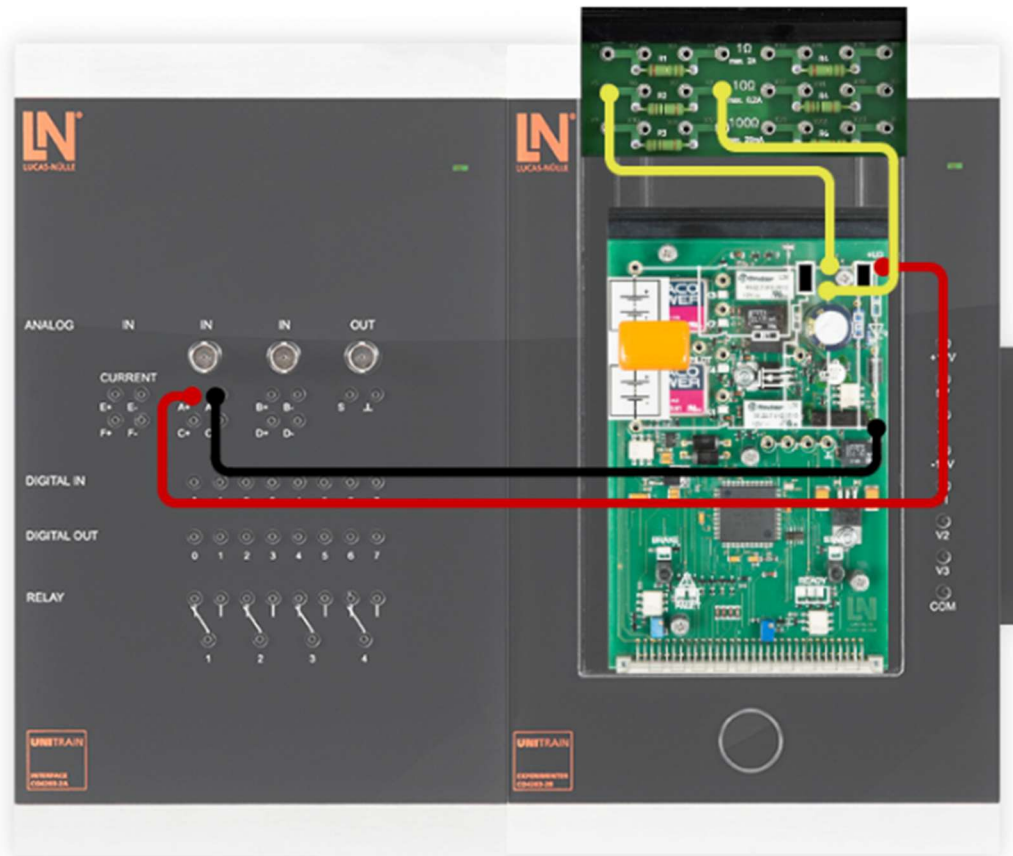


Рис. 6.42. Дослідження систем активного й пасивного розрядження. Фінальна конфігурація схеми для вимірювання струму конденсатора в системі активного розрядження експерименту № 3

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент часу, що підходить для повного відображення перехідного процесу в рамках екрану осцилографа.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

Для відображення часової діаграми в експерименті використовуйте вимірювання напруги з каналу А (Channel A) в якості орієнтиру.

Для визначення струму, що протікає через конденсатор, за допомогою шунта (шунтуючого резистора) необхідно виміряти падіння напругу на каналі В (Channel B).

Надайте відповідь на наступні запитання:

1. Яка максимальна напруга вимірюється на шунтуючому резисторі Channel у системи активного розрядження?
 - a. у системі активного розрядження максимальна виміряна напруга становить ___ В.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

2. Чому дорівнює струм, що протікає через конденсатор при активному розряджанні, у момент вимикання системи?

- а. у системі активного розрядження максимальний вимірний струм становить ___ мА.

5.4.5.4. Експеримент № 4. Виникнення несправності в системі активного розрядження

Для виконання даного експерименту на стенді LN необхідно відкрити LS і перейти на сторінку його виконання за наступною адресою: EDCV >> Traction battery voltage >> Capacitors >> Malfunctions in active discharge.

Далі необхідно сконфігурувати стенд за наведеною нижче схемою (Рис. 6.43). Із процесом покрокової конфігурації стенда можна ознайомитися на відкритій сторінці експерименту в LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

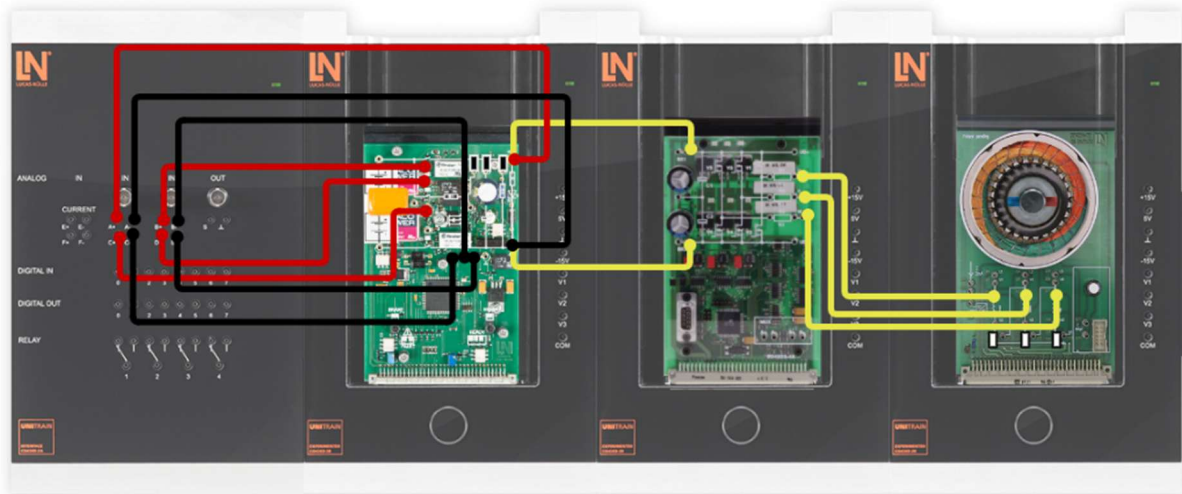


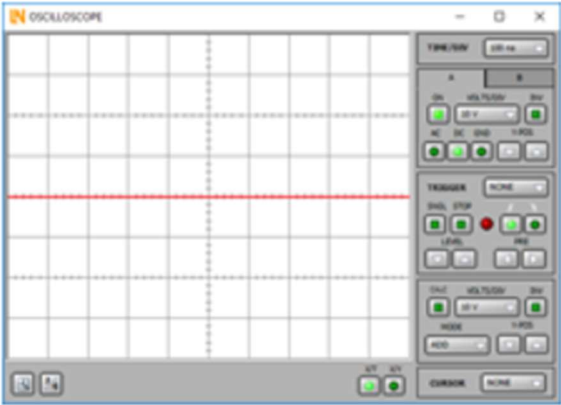
Рис. 6.43. Дослідження систем активного й пасивного розрядження. Фінальна конфігурація схеми у випадку виникнення несправності в системі активного розрядження експерименту № 3

Після успішної конфігурації системи слід налаштувати віртуальний осцилограф («OSCILLOSCOPE»), скориставшись указівками із Таблиця 6.18.

Відкрити віртуальний осцилограф можна за допомогою меню віртуальних приладів або натиснувши на його зображення в таблиці з конфігурацією на панелі експерименту в LS.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Таблиця 6.18. Налаштування віртуального осцилографа

	<ul style="list-style-type: none">▪ Channel A: 10 V/div; DC; Y-POS: + 3V▪ Channel B: 5 V/div; DC; Y-POS: + 1 V▪ Channel C: 5 V/div; DC; Y-POS: 0 V▪ Channel D: 5 V/div; DC; Y-POS: - 1 V▪ Time: 2 s/div▪ Mode: X/T▪ Trigger: CHANNEL none;▪ LEVEL: div;▪ PRETRIGGER: div
---	--

Після налаштування віртуального осцилографа для виконання експерименту слід виконати наступний порядок дій:

1. Виконати запуск системи, зберігаючи вікно осцилографа відкритим.
2. Дочекатися спрацювання системних реле К1 і К3 та вимкнути систему приблизно через 10 секунд.
3. Натиснути кнопку «Stop» на осцилографі в момент, коли напруга високовольтної системи впаде нижче 1 В.
4. Зафіксувати показники осцилографа, створивши скріншот або скориставшись спеціальним вікном у LS, на сторінці поточного експерименту, натиснувши кнопку «Paste from clipboard» (Рис. 6.19, п.1).

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

Надайте відповідь на наступне запитання:

1. Які причини несправності можна виявити після виконання вимірювань:
 - a. відмова блокатора (Interlock fault), сервісний роз'єм (service plug) системи високої напруги відкритий (витягнутий);
 - b. активне розрядження системи не працює;
 - c. негативне реле високовольтної системи ("HV-Neg") K1 не працює;
 - d. реле попереднього зарядження ("Pre-charge") K2 не працює;
 - e. позитивне реле ("HV pos") K3 не працює;
 - f. відмова блокатора (Interlock fault), обрив лінії;
 - g. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Neg" K1;
 - h. спрацьовування реле "Pre-charge" K2 перервано;
 - i. коротке замикання на реле "Pre-charge" K2, перегоріло (burned through);
 - j. обрив (interrupt) ланки активного розрядного резистора;
 - k. коротке замикання на реле "HV-Neg" K1, перегоріло (burned through);
 - l. обрив (interrupt) контакту реле "HV-Pos" K3;
 - m. коротке замикання на реле "HV-Pos" K3, перегоріло (burned through);
 - n. несправності не виявлені.

5.4.5.5. Тест № 1. Конденсатори та контури їх розрядження

Надайте відповідь на наступні запитання:

1. Яке призначення «великих» конденсаторів, інтегрованих у систему інвертора електромобіля?
 - a. щоб уникнути великих падінь струму при прискоренні;
 - b. фільтруючи вхідну напругу, вони захищають систему від стрибків напруги;
 - c. щоб автомобіль міг продовжувати рух, навіть коли батарея розряджена;
 - d. варіант a та b;
 - e. усі варіанти вірні.
2. Яка номінальна напруга в конденсаторах інвертора під час роботи?
 - a. напруга може досягати максимум 12 В;
 - b. напруга досягає значення напруги ланки постійного струму.
3. Яким чином розряджаються «великі» конденсатори?
 - a. через резистор або групу резисторів;
 - b. через транзистори;
 - c. через вольтметр.
4. Схема активного розрядження
 - a. відводить заряд конденсатора в обмотку статора двигуна-генератора;
 - b. відводить заряд конденсатора на резистор, коли автомобіль зупиняється;

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

- c. роз'єднує захисне вимикання автомобіля й розряджає інвертор;
- d. відводить заряд конденсатора в акумуляторну батарею автомобіля.

5. Схема пасивного розрядження інвертора

- a. відводить заряд конденсатора в обмотку статора двигуна-генератора;
- b. відводить заряд конденсатора на резистор, коли автомобіль зупиняється;
- c. роз'єднує захисне вимикання автомобіля й розряджає інвертор;
- d. відводить заряд конденсатора в акумуляторну батарею автомобіля.

5.5. Контрольні питання

1. Які існують варіанти індикації переходу в режим готовності електромобіля?
2. Чи подається напруга на електропривод електромобіля одразу після натискання кнопки пуск? Поясніть відповідь.
3. У чому різниця між класичними й розумними системними реле?
4. Яку кількість станів мають системні реле та який із них є вихідним?
5. Чи може працювати система електромобіля коректно, використовуючи лише одне системне реле в колі високовольтної системи?

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

6. Яке призначення й складові частини системи попереднього заряджання?
7. Яка послідовність увімкнення розумних системних реле при пуску системи в нормальних умовах?
8. У чому переваги використання всеполюсної конструкції реле?
9. Яку класифікацію має несправність, що пов'язана з відмовою системних реле, і спеціаліст якого рівня підготовки може бути допущений до її усунення?
10. Яким чином можна чітко визначити причину несправності в ланці блокатора?
11. Як реагує система керування електромобіля на несподіване від'єднання роз'єму блокатора?
12. З якою метою в системі інвертора використовуються конденсатори?
13. Чи можна розміщувати впритул складові частини системи пасивного розряджання?
14. Який обов'язковий перелік дій слід виконати для отримання впевненості у відсутності напруги високовольтної системи електромобіля й яке обладнання для цього потрібно?
15. Який мінімальний час, згідно із чинними нормами, повинен пройти від моменту вимкнення електромобіля натисканням кнопки «Start/Stop» до зменшення напруги у високовольтній системі до рівня нижче «високовольтної»?
16. Яке додаткове обладнання використовується в системі активного розряджання?

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

17. Які складові частини контуру активного розрядження є в навчальному стенді?
18. Скільки може тривати процес пасивного розрядження в системі електромобіля?
19. Яким чином можна виміряти струм за допомогою шунта?
20. Яка буде реакція системи на відмову реле К1 під час пуску системи?

5.6. 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.

5.6.1. 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.

5. Лабораторна робота № 3. Системні реле високої напруги акумуляторної батареї електромобіля

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. 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 згоряння.

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

Глосарій

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.

Глосарій

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 2
**СИСТЕМНІ РЕЛЕ ВИСОКОЇ НАПРУГИ АКУМУЛЯТОРНОЇ
БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ**

Видано в авторській редакції

Відповідальний за випуск Т.О. Халаїмов

м. Дніпро