

ЛАБОРАТОРЕН СИМУЛАТОР НА РЕЛЕЙНА ЗАЩИТА ЗА ПОСТОЯННОТОКОВИ ТЯГОВИ МРЕЖИ

Тодор Лалев
lalev85@gmail.com

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
1574 София, ул. Гео Милев № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: Тягова електрозахранваща система, Релейна защита, Лабораторен симулатор.

Резюме: В съвременните постояннотокови тягови електрозахранващи системи (ТЕС) и в частност на тяговите изправителните станции на градския електрически транспорт, широко се използват цифрови решения за управление и защита, базирани на микропроцесорни цифрови технологии, които през последните 30 години постепенно заменят класическите аналогови системи за управление и защита. Цифровите решения за релейна защита и управление предлагат редица предимства спрямо класическите аналогови системи, но изискват специализирана подготовка на електроинженерите, свързана с програмирането и настройката на новите защитни устройства. Тази специализирана подготовка може най-добре да се реализира практически, чрез използване на лабораторен симулатор на релейна защита за постояннотокови тягови мрежи.

Докладът представя резултатите от разработването на лабораторен симулатор за изследване на релейна защита за постояннотокови тягови мрежи. Симулаторът е изграден в лаборатория на ВТУ „Тодор Каблешков“ и е предназначен за провеждане на практически занятия със студенти, с цел да се демонстрират функционалността на релейната защита и как тя реагира в ситуации при симулация на работни и аварийни режими в ТЕС. Чрез симулационни инструменти и моделиране на различни сценарии – експлоатационни и на неизправности, студентите имат възможност да разберат принципите и методите за защита на тяговите мрежи. Резултатите от различни изследвания, които могат да бъдат провеждани, се очаква да бъдат полезни за обучението и подготовката на бъдещи инженери в областта на постояннотокови тягови електрозахранващи системи.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременните постояннотокови тягови електрозахранващи системи (ТЕС) и в частност в тяговите изправителните станции (ТИС) на градския електрически транспорт, широко се използват цифрови решения за управление и защита. Тези решения са базирани на микропроцесорни цифрови технологии, които през последните 30 години постепенно заменят класическите аналогови системи за управление и защита. Използването на цифрови решения за релейна защита и управление предлага

редица предимства спрямо класическите аналогови системи. Въпреки това, предизвикателствата пред електроинженерите се увеличават, тъй като програмирането и настройката на новите цифрови решения изискват специализирани софтуерни продукти и допълнителни умения в областта на цифровите технологии.

Към настоящия момент, практическото обучение във висшите училища не успява бързо да се адаптира към новите технологии, които се внедряват в електротранспортните системи. Настоящият доклад разглежда проектирането и изграждането на лабораторен симулатор на релейна защита за постояннотокова тягова мрежа, изпълнен в рамките на разработен през 2023 г. Научен проект [1]. Лабораторния симулатор ще позволи на студентите и преподавателите да изследват процеси и режими, които реално възникват в ТЕС. По този начин бъдещите електроинженери ще бъдат подготвени за предизвикателствата, които ги очакват в практиката, свързани с поддържане на съоръженията в тяговите изправителните станции на електрическия градски транспорт.

2. ЦЕЛИ И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА

При проектирането и изграждането на лабораторния симулатор на релейна защита за постояннотокови (DC) тягови мрежи, основната цел бе да се осигури възможно най-реалистично възпроизвеждане на съоръженията, използвани в ТИС. Стендът трябва да позволява да бъдат симулирани различни сценарии и процеси, които могат реално да възникнат по време на експлоатацията на ТЕС. Също така с негова помощ студентите по време на практическите занятия, трябва да придобиват знания и умения за работа с новите цифрови технологии, които се внедряват в електротранспортните системи. Затова, разработването на такъв лабораторен симулатор представлява важна крачка в обучението и подготовката на специалисти в областта.

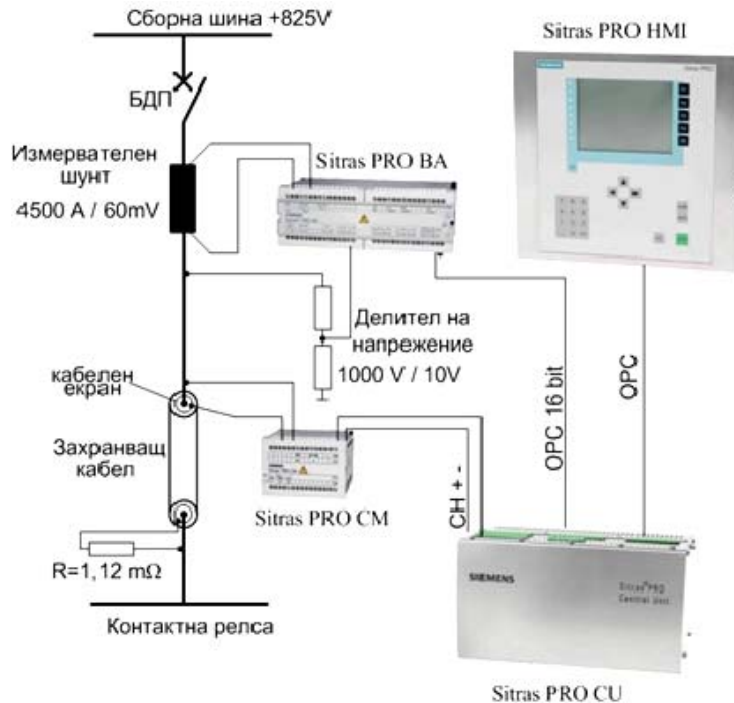
За постигане на поставените цели, е необходимо да се възпроизведе физически разпределителна уредба (РУ) за постоянно напрежение, която е типична за ТИС, като в нея се имплементират съвременни цифрови технологии и микропроцесорни системи, които да позволят реализацията на комплексни функционалности за релейна защита и управление. Стендът трябва да осигурява възможност за експериментиране и изследване на реални сценарии, както и да спомага за усвояване на необходимите умения и компетенции за работа със съвременните технологии. Така завършващите електроинженери биха били готови да се справят с предизвикателствата, които ги очакват в реалната работа със системите, които трябва да поддържат и изграждат.

3. ПРОЕКТИРАНЕ НА ЛАБОРАТОРНИЯ СИМУЛАТОР

При проектирането на лабораторния симулатор основната задача бе да се избере подходящо техническо решение, което максимално да имитира разпределителните уредби за постоянно напрежение, които се използват за хранване на тяговите мрежи на градския електрически транспорт у нас. Затова изборът на оборудване бе предприет след изчерпателен технически анализ на експлоатираните технически решения в ТЕС. За целта бяха анализирани РУ, използвани от транспортните оператори „Метрополитен“ ЕАД и „Столичен електротранспорт“ ЕАД. Този подход гарантира, че лабораторният симулатор ще бъде възможно най-подходящ за обучение и изследвания в областта на релейните защиты (РЗ) за постояннотокови тягови мрежи.

Анализът показва, че тяговата мрежа на „Столичен електротранспорт“ ЕАД се хранва от 24 токоизправителни станции, 7 от които са модернизирани с цялостно оборудване на фирма Siemens. Тяговото електрохранване на линиите на метрото се осъществява от 39 тягово-понижителните станции, от тях 26 също са изцяло с оборудване на Siemens.

Предвид посоченото до тук, за реализацията на лабораторния симулатор беше избрано цифрово защитно устройство за постояннотоккови тягови мрежи тип Sitras PRO на фирма Siemens [2], което широко се използва в ТИС на горепосочените транспортни оператори. Блокова схема на цифровата релейна защита (ЦРЗ) Sitras PRO е показана на фиг. 1.



Фиг. 1. Блокова схема на цифрово защитно устройство за постояннотоккови тягови мрежи тип Sitras PRO на Siemens

Защитното устройство Sitras PRO включва следните модули:

- **Sitras PRO CU – Централно устройство** - Това устройство представлява основен контролен център. То захранва отделните модули, осигурява интерфейс с инсталацията и изпълнява всички защитни функции, както и управляващи функции по избор. Разнообразните възможности за параметризация на централното устройство позволяват адаптирането му към индивидуалните условия на инсталацията;

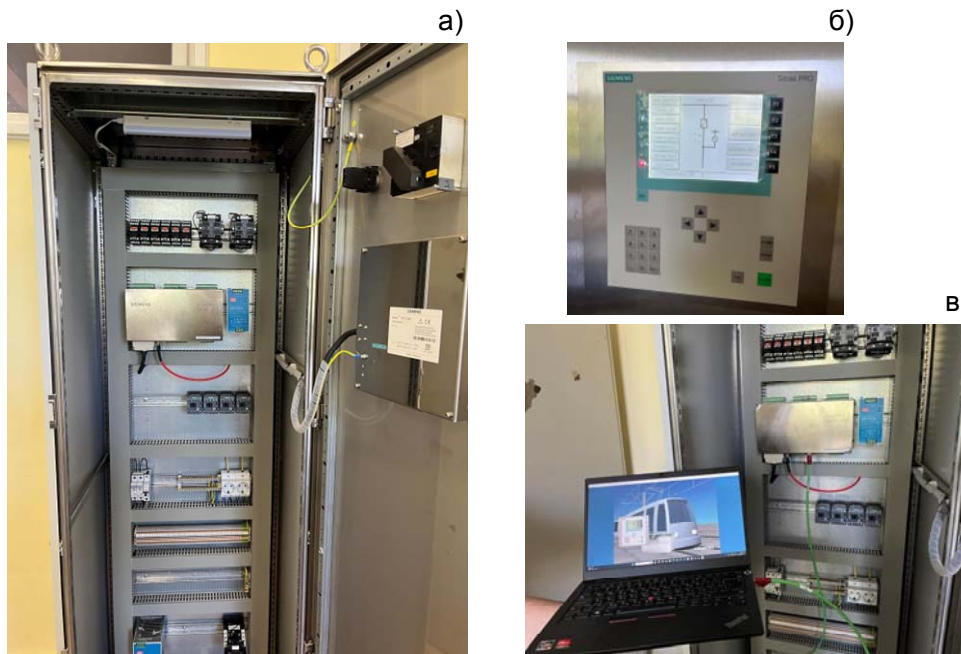
- **Sitras PRO HMI – Интерфейс „човек-машина“** - Този модул се интегрира в съответното защитно устройство и улеснява работата на оперативния персонал чрез предоставяне на информация в реално време чрез дисплея;

- **Sitras PRO BA – Постоянно токов буферен усилвател с интегриран делител на напрежение** - Този модул се използва за преобразуване, филтриране и усилване на сигналите от входните преобразуватели (измервателен шунт, Хол сензор или делител на напрежение). Той галванично разделя силовата от оперативната верига и предава измерените стойности към централното устройство чрез оптичен път или чрез токов или напрежен сигнал;

- **Sitras PRO CM – Модул за контрол на кабелната изолация** - Модулът е проектиран за наблюдение на изолацията на екранирани фидерни кабели в тяговата електрозахранваща система с постоянно напрежение до 1500V. Този модул извършва измерване на изолационното съпротивление на фидерните кабели и може да открие прекъсване в кабелния екран. Измерените данни се изпращат към централното устройство чрез постояннотокков буферен усилвател. Централното устройство оценява измерените данни и генерира съобщение или изключва защитното устройство.

4. ИЗРАБОТВАНЕ НА ЛАБОРАТОРНИЯ СИМУЛАТОР

Основната цел при изработването на симулатора беше, той максимално да наподобява РУ за постоянен ток, масово използвана в ТЕС, както и да е удобен за работа. Стендът е изработен като шкаф от неръждаема стомана, с габарити сродни с тези на тягова разпределителна уредба за постоянно напрежение, използвана в ТИС. Готовият стенд и негови основни елементи са показани на фиг. 2.



Фиг. 2. Изграденият лабораторен симулатор на релейна защита за DC тягови мрежи

- а) Общ вид на стенда и оборудването в него; б) Интерфейс „човек-машина“ (HMI) на Sitras PRO; в) Свързване на персонален компютър за настройване и параметризиране на ЦПЗ Sitras PRO*

За да се пресъздаде максимално точно архитектурата на РУ, в шкафа освен цифровото защитно устройство Sitras PRO, е инсталирана и релейно-контакторна апаратура, която служи за управление и блокировка на силовото оборудване в РУ (прекъсвач, разединител и други), както е показано на фиг. 2, а. Основната цел на инсталирането на апаратурата за вторична комутация е да се разработят упражнения за студентите, чрез които да се симулират различни повреди и аварии във веригите за вторична комутация на РУ. Освен това към стенда може да се включва програматор (персонален компютър с фирмен потребителски софтуер – фиг. 2, в), чрез който да се настройват основните функции на ЦПЗ, както и да се параметризират нейните входове и изходи. По този начин могат да се тренират следните рутинни операции:

➤ **Въвеждане на основни параметри на защитата** – Всички основни настройки, както и функциите за защита (напр. включване/изключване на защитна функция) се съхраняват и могат да се избират от и въвежда от студентите чрез панела на защитата или с помощта на компютър по комуникационен кабел.

➤ **Настройка на стойностите за заработване** – Студентите могат да настройват основните и допълнителните функции за заработване на защитата като например Максималнотокова защита (I_{max} , $I_{max\text{обр.}}$), Защита от рязко нарастване на тока (ΔI), Защита от скорост на нарастване на тока (di/dt), Максималнотокова защита с времезакъснение (I_{dmt} , $I_{dmt\text{обр.}}$) и др.

➤ **Провеждане на изпитания** – Чрез апаратура за симулация (калибратори), студентите могат да симулират различни аварийни режими като ток на к.с., U_{min}/U_{max} напреженова защита и респективно да наблюдават как реагира ЦПЗ на това.

➤ **Задаване на функции на бинарните и аналоговите изходи** – Конфигурация на функциите на бинарните и аналоговите изходи за оптимално управление.

5. ИЗВОДИ

Изграденият лабораторен симулатор на релейна защита за DC тягови мрежи позволява на студентите и преподавателите да решават множество задачи, по-важните от които са следните:

- Програмиране, настройване на основни функции и параметризиране на входовете и изходите на ЦРЗ;
- Извършване операторски контрол и визуализация на текущото състояние на елементите от РУ (комутационни апарати, датчици, ЦРЗ и др.)
- Извършване на операторски контрол на текущото състояние на елементи от тяговата захранваща мрежа (захранващи кабели и проводници на контактната мрежа);
- Изследване поведението на елементи на ТЕС, чрез симулиране на разнообразни процеси и режими на работа;
- Диагностика на повреди и анализиране на записи от релейната защита;
- Дистанционно следене и управляване в реално време симулирани обекти от РУ;
- Създаване на цифрови близнаци, които може да сигнализират за вероятни откази и да препоръчват превантивни проверки.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За подобряване на практическата подготовка на студентите, обучаващи се по електротехнически специалности, съществена роля играе лабораторната база на висшите училища. Във времето на масово използване в обучението на виртуално моделиране на технологични процеси и симулиране на явления протичащи в тях, все по-рядко се реализират лабораторни стендове, представляващи физически модели на съоръжения и системи [4]. Основна причина за това е твърде високата им стойност.

Предимствата за учебния процес на изградения лабораторен симулатор на релейна защита за DC тягови мрежи, могат да бъдат обобщени по следния начин:

- Студентите могат да се запознаят с реалната архитектура на цифровата релейна защита Sitras PRO;
- Провеждане на експериментални изследвания в лабораторни условия, с цел изучаване поведението на обекти от ТЕС при различни процеси и режими на работа;
- Усвояване от студентите на умения за извършване на контрол на режимни параметри и текущото състояние на комутационни апарати в РУ чрез HMI интерфейса;
- Усвояване от студентите на умения за диагностика на повреди и анализиране на записи от релейната защита;
- Усвояване от студентите на практически умения за работа със специализиран софтуер за програмиране, настройване на основни функции и параметризиране на входовете и изходите на ЦРЗ.
- Усвояване от студентите на практически умения за обработка и анализ на получените експериментални данни.

В заключение следва да се отбележи, че изграденият във ВТУ „Тодор Каблешков” лабораторен симулатор на релейна защита за постоянно-токови тягови мрежи представлява важна крачка в повишаване качеството на обучението и практическата подготовка на специалисти в областта на тяговите електроенергетични системи.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Отчет на Научен проект по Наредба на МОН от 18.09.2016 г. на тема „Лабораторен симулатор на вторична комутация на разпределително устройство за тягова електрозахранваща система за постоянен ток”. ВТУ „Тодор Каблешков”, 2023 г.
- [2] Лалев Т., Г. Павлов. Проектиране и изграждане на лаборатория за автоматизация и дигитализация на тягова електрозахранваща система. Научно списание „Механика, Транспорт, Комуникации”, том 20, брой 3/2, 2022 г., статия № 2269. ISSN: 1312-3823 (print), ISSN: 2367-6620 (online)
- [3] Sitras PRO DC Protective Unit and Controller for DC Traction Power Supply - Operating instructions, Version 1.3.0. Mobility Division, Siemens AG, 2009
- [4] Димитров Г., Г. Павлов. Специализиран модулен измервателен стенд за изследване на електроенергийното потребление и енергийната ефективност в транспорта. Научно списание „Механика, Транспорт, Комуникации”, том 9, брой 3, 2011 г., статия № 0597. ISSN: 1312-3823

LABORATORY SIMULATOR OF RELAY PROTECTION FOR DC TRACTION NETWORKS

Todor Lalev

lalev85@gmail.com

*Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

Key words: *DC traction power supply system, Relay protection, Laboratory simulator.*

Abstract: *In modern DC traction power supply systems (TPSS), particularly in traction rectifier stations of urban electric transport, digital control and protection solutions based on microprocessor digital technologies are widely used, which over the past 30 years have gradually replaced classic analog control and protection systems. Digital solutions for relay protection and control offer a number of advantages over classic analog systems, but require specialized training of electrical engineers related to the programming and adjustment of the new protection devices. This specialized training can best be realized practically by using a laboratory simulator of relay protection for DC traction networks.*

The report presents the results of developing a laboratory simulator for studying relay protection for DC traction networks. The simulator is built in the laboratory of Todor Kableshkov University of Transport and is intended for conducting practical classes with students, to demonstrate the functionality of the relay protection and how it reacts in situations during the simulation of working and emergency modes in traction electrical power supply systems. Through simulation tools and modelling of various scenarios of operation and faults, students can understand the principles and methods of protecting traction networks. The results of various studies that can be conducted are expected to be useful for the education and training of future engineers in the field of DC traction power supply systems.