



---

## ЛАБОРАТОРЕН СИМУЛАТОР ЗА ДИГИТАЛИЗАЦИЯ НА ТЯГОВА ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАЩА СИСТЕМА

Тодор Лалев, Георги Павлов  
[lalev85@gmail.com](mailto:lalev85@gmail.com), [g\\_pavlov61@abv.bg](mailto:g_pavlov61@abv.bg)

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

*Ключови думи:* дигитализация, програмируем логически контролер, тягова електрозахранваща система.

*Резюме:* През последните години дигитализацията (цифровизацията), засегна всяка една сфера на нашият живот. На практика не съществува област, в която новите технологии и дигитализацията да не играят ключова роля в развитието ѝ. Железопътния транспорт и в частност тяговата електрозахранваща система (ТЕС) не правят изключение, като и при тях дигитализация играе ключова роля за повишаване на надеждността, разполагаемостта и гъвкавостта, и същевременно с това повишава енергийната ефективност, и улеснява тяхната поддръжка. Затова основната цел на настоящия доклад е да се предложи вариант за разработване на лаборатория за дигитализация на ТЕС във ВТУ „Тодор Каблешков“ към катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане на транспорта“. Основните цели на лабораторията ще бъдат предоставяне на съвременно обучение на студентите и повишаване на компетенциите им, необходими за справяне на различни проблеми в съвременната практика.

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Железопътната инфраструктура на страната играе ключова роля за развитието на икономиката, като осигурява ефективно транспортиране на големи количества пътници и товари, между големи икономически центрове. Затова модернизирването на ЖИ и създаването на една интелигентна, екологична и лесна за ползване система за транспорт, трябва да бъде една от приоритетните насоки в развитието ѝ.

Цифрова трансформация на железопътния транспорт играе ключово значение за неговото модерно развитие.

Дигитализацията в настоящия свят е видимо белязана от концепцията Индустрия 4.0. Индустрия 4.0 е изградена на принципа на комуникация и сътрудничество между машини, хора, продукти, оборудване и логистични системи. Всички активни елементи от системата са свързани по между си като изграждат вътрешна интернет мрежа. За да бъде дигитализацията на даден обект (елемент, машина или съоръжение) възможна, е необходимо към него да се внедрят широка гама от сензори, които да следят неговите параметри. Тези сензори осигуряват по-задълбочена и перфектна картина на текущото състояние на наблюдаваната среда.

През последните години се наблюдава тенденцията на масово навлизане на Индустрия 4.0 в ЖП транспорт или дигитализация на железопътния транспорт. Внедряват се мобилни приложения, електронни билети, цифрово управление на влакове, системи за сигнализация и управление на трафика (ETCS и GSM-R), цифрови платформи за прогнозно обслужване, SCADA за управление на ТЕС и други.

В тази връзка основната цел на настоящия доклад е да се предложи възможност за създаване на лаборатория за дигитализация ЖИ и в частност на ТЕС, във ВТУ "Тодор Каблешков".

Работата по темата на този доклад е свързана със създаване на възможности за провеждане на цялостни изследвания в тази актуална и перспективна област на техниката, свързана с подобряване на експлоатационните показатели на ТЕС.

## **2. ДИГИТАЛИЗАЦИЯТА НА ЖИ И ТЕС**

Дигитализацията е процес на преобразуване на информация в цифров формат, при който информацията е организирана в (цифри) битове. Резултатът е представянето на даден обект, изображение, звук, документ или сигнал (обикновено аналогов) чрез генериране на поредица от числа, които описват отделен набор от неговите точки или проби (дискретизация). Резултатът се нарича цифрово представяне, или по-точно цифров близък на обекта, както и цифрова форма за сигнал. [1]

Цифровият близък е виртуален модел, симулиращ физически процес, услуга или система. Чрез създаването на цифров близък на обекти и съоръжения от ТЕС, инженерите по поддръжката могат да изследват и анализират процесите и да идентифицират проблемите, без да се налага каквато и да е физическа интервенция. По този начин се намалява времето за неработоспособност на ТЕС и се повишават експлоатационните ѝ показатели.

Най-общо казано ТЕС служи за електроснабдяване и електрозахранване на електрическите подвижни състави (ЕПС). Тя е изградена от тягови подстанции (ТПС) и контактна мрежа (КМ). ТПС имат за цел да преобразуват променливото напрежение 110 kV, 50Hz в променливо с големина 25 kV(max. 29 kV), 50Hz, необходими за захранване на КМ съответно на ЕПС.

Към момента система за дигитализация на ТЕС е нейната SCADA системата. Тя служи за оперативно диспечерско управление на ТПС, секционни разединители, основните секционни постове (СП) и други от Централен диспечерски център (ЦДЦ). Общата техническа структура на системата SCADA съдържа четири йерархични нива, които са показани на фиг. 1

**Процесно ниво**, това е най-ниското ниво на системата. При него управлението на съоръженията се извършва механично, чрез ръчно управление (превключване) на съоръженията (пр. КРУ 25 kV, силови прекъсвачи 110 kV разединители и други).

**Локални устройства за управление (ЛУУ)**, чрез тях се супервизират всички електросъоръжения в мрежата ТЕС. ЛУУ са устройствата за контрол и защита (релейните защиты) и/или PLC (програмируеми логически контролери). ЛУУ са микрокомпютри, които обхващат и комуникират съоръженията на процесното ниво, чрез интерфейс човек машина, сензори и крайни устройства, а след това насочват информацията за тях към система за управление на станцията (СУС).

**СУС или Управляващо станционно ниво**, тя е предназначен да събира, обработва и предава информацията от обектите от процесно ниво чрез комуникация с ЛУУ, както и да осъществява комуникационна свързаност между тях. Също така СУС осъществява двупосочна комуникация между централния диспечерски център (ЦДЦ) и ЛУУ на обектите (съоръженията от ТЕС) по съответен протокол. Комуникацията

между ЦДЦ и обектите се осъществява по обща за участъка линия за комуникация, която е резервирана.

Диспечерско ниво или ЦДЦ – осъществява комуникация с отделните СУС, като получава на данни от отдалечени устройства от процесно ниво (комутационни апарати, елементи от КМ и др.) Диспечерското ниво осигурява възможности за цялостен контрол на ТЕС от разстояние посредством софтуерна SCADA платформа.



Фиг. 1. Иерархични нива на SCADA на ТЕС.

От казаното до тук се вижда, че една от стъпките за дигитализация на ТЕС е внедряване на ЛЛУ /PLC/ контролери в първичната ѝ система (обекти и съоръжения).

Затова работата по настоящия доклад е концентрирана в проучване на възможностите за създаване на работни станции, подходящи PLC за обучение на студентите.

Обучението трябва да има за цел да запознае студентите с принципите на проектиране и изграждане на управляващи системи за дигитализация на ТЕС. Чрез него трябва да се придобиват знания и умения относно основните принципи за програмиране на PLC, конфигуриране на комуникацията, свързване на дискретни и аналогови сензори и управление на изпълнителни периферни устройства, както и създаване на цифрови близнаци.

### 3. ИЗБОР НА PLC

Към момента на пазара се предлагат богат избор от PLC контролери и модули за различни приложения. Водещо при избора на контролер за създаване на работна станция за обучение на студентите трябва да бъде - до каква степен този тип PLC е навлязъл в ТЕС на ЖИ в Република България?! Тук основни фаворити са контролерите на фирма Siemens от фамилията Simatic S7. Затова и избора на разработка на работна станция е контролер Simatic S7 от фамилията 1200. [2]

Simatic S7 1200 включва богато портфолио от контролери S7-1211C, S7-1212C, S7-1214C, S7-1215C и S7-1217C. Сравнение на техните технически характеристики на избраните PLC е показано в таблица 1.

От техническите данните в таблица 1 се вижда, че за изработване на работната станция оптимален вариант за PLC е CPU 1214C. Този модел PLC е масово използван, при решаване на задачи свързани с управление дигитализация и телесигнализация.

**Таблица 1 Сравнение на контролери от фамилията Simatic S 7 1200. [3]**

Параметър	Контролери фамилия Simatic S 7 1200				
	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C	CPU 1217C
3 CPUs	DC/DC/DC, AC/DC/RLY, DC/DC/RLY				DC/DC/DC
Работна памет	25 KB до V3.0 30 KB от V3.0	25 KB до V3.0 50 KB от V3.0	50 KB до V3.0 75 KB от V3.0	100 KB до V3.0 125 KB от V3.0	150 KB
Зареждаща памет	1 MB	1 MB	2 MB до V3.0 4 MB от V3.0	4 MB	4 MB
Запазваща памет	2 KB до V3.0 10 KB от V3.0	2 KB до V3.0 10 KB от V3.0	2 KB до V3.0 10 KB от V3.0	10 KB	10 KB
Битова памет	4096 Bytes		8192 Bytes		
Карта памет	Опция Simatic Memory Card				
Цифрови DI/DO входове/изходи	6in/4out	8in/6out	14in/10out	14in/10out	14in/10out
Аналогови /AI/ входове/изходи	2 in		2in/2out		
Размер на обработваните данни	1024 bytes for inputs / 1024 bytes for inputs				
Сигнална платка	max 1				
Разширение за сигнален модул	не	2 max	8 max	8 max	8 max



**2 Общ вид на CPU 1214C**

От техническите данните в таблица 1 се вижда, че за изработване на работната станция оптимален вариант за контролер е CPU 1214C. Този модел PLC е масово използван при решаване на задачи свързани с управление дигитализация и телесигнализация на ТЕС. Общ вид на контролера CPU 1214C е даден на фигура 2. Този контролер се произвежда в три варианта по отношение на електрозахранването - DC/DC/DC, AC/DC/RLY, DC/DC/RLY. Първия индекс от обозначението показва захранването на PLC, като то може да бъде променливо AC=120-240V или постоянно DC=24V напрежение. Втория индекс показва напрежението на цифровите входове DC=24V и третия индекс показва вариантите на цифровите изходи DC=24V или RLY до 30 V DC или 250 V AC. Цифровите входове (DI) на PLC работят с работно напрежение 24 V DC, като състоянието на входните сигнали се показва посредством светодиоди на лицевия панел на контролера. Цифровите изходи DO се предлагат в електронен вид (24 V DC и 0,5 A изходен ток с товар 5 W) и като релейни изходи (до 30 V DC и 2 A изходен ток с товар от 30 W или до 250 V AC и 2 A изходен ток за товар от 200 W). [2, 3]

CPU 1214C разполага и с два аналогови входни канала AI за напрежение от 0 до 10, V входен сигнал. Разделителната способност е 10 бита. Аналоговата стойност може да бъде обработена в потребителската програма в числовия диапазон от 0 до 27 648.

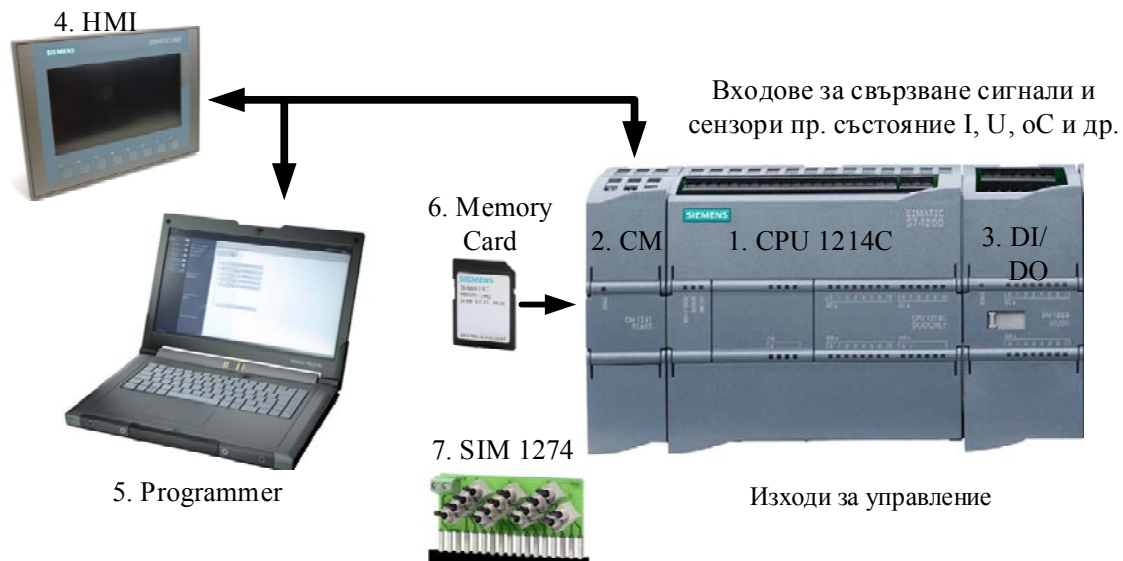
Клемните блокове за входовете и изходите могат да бъдат премахнати (прекъснати), без да се налага да се изключва окабеляването. Това прави контролера изключително практичен и удобен за обучаване на студенти.

CPU 1214C може да бъде свързан към Ethernet мрежа през интерфейс за комуникация PROFINET. Връзката (портът) става чрез куплунг тип RJ45. Протоколите

за предаване са контролен протокол (TCP) в съответствие с RFC 793, ISO транспорт през TCP (ISO-on-TCP) в съответствие с RFC 1006 и User Datagram Protocol (UDP) в съответствие с RFC 768. Връзката за комуникация автоматично може да разпознае скоростта за предаване на данни от 10 или 100 MBit / s. или стандартен Ethernet кабел или кабел кръстосани двойки. PLC може да бъде свързан програматор PG, интерфейс човек- машина или други устройства или SIMATIC станции през връзката PROFINET

#### 4. МОДЕЛ ЗА РАБОТНА СТАНЦИЯ ЗА ДИГИТАЛИЗАЦИЯ

На фигура 3 е показан примерен вариант на работна станция на базата на CPU 1214C.



Фиг. 3 Елементи на работна станция за обучение на студенти.

##### Работната станция включва:

1. PLC тип CPU 1214C;
2. Комуникационен модул (CM) – спомага PLC при решаване на комуникационни задачи. CM установяват физическата връзка с комуникационен партньор (пр. друго PLC, програматор и т.н.), осигурява комутационната свързаност и преноса на данни. CM се включва към PLC отляво, гледано отпред. Възможно е разширение с до три CM;
3. Допълнителен цифров входо/изходен DI/DO –осигуряват допълнителни DI/DO за следене на състояния и величини и управление на обекти;
4. HMI – Интерфейс човек – машина;
5. Programmer – програматор осигуряващ възможност на студента да работи със софтуера за програмиране Siemes TIA Steep 7. Siemes TIA Steep 7 предоставя на разположение всички функции и инструменти, необходими за съответния набор от задачи, които трябва да бъдат решени за дигитализиране на даден обект от ТЕС.
6. Карта памет - SIMATIC Memory Card се използва като карта, в която може да се съхранява програмата или за прехвърляне на данни като ъпдейт на firmware и т.н.
7. Модул за симулиране SIM 1274 – използва се за отстраняване на грешки в потребителската програма. Той се свързва към клемния блок на PLC вместо входните сигнали от дадено съоръжение или обект.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е представена примерна работна станция за изследване и анализ на възможностите за дигитализация на ТЕС чрез използването на PLC контролери. На базата на примерния модел може да се изгради съвременна лаборатория на територията на ВТУ “Тодор Каблешков”.

Задачите, които студентите могат да решават може да се конкретизират по следният начин:

- Избрани обекти от ТЕС могат да бъдат следени и управлявани дистанционно в реално време от безопасно разстояние;
- Могат да се изпращат подробни съобщения за неизправности (откази) на различни обекти на ТЕС на диспечерската система, като по този начин се улесняват възстановяването на работните функции на следения обект в най-кратки срокове;
- Може да се извършва операторски контрол и визуализация на текущото състояние на елементите от ТЕС (комутационните устройства, трансформатори, токоизправители, елементи от контактната мрежа и т.н.);
- Може да се извършва диагностика на повреди и да се анализират записи от релейните защиты в реално време;
- Може да се създават цифрови близнаци които, може да сигнализира за вероятни откази и да препоръчва превантивни проверки.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Jana Pieriegud, DIGITAL TRANSFORMATION OF RAILWAYS, 2018 ISBN 978-83-950826-0-3
- [2] Hans Berger, Automating with SIMATIC S7-1200, 2013 ISBN: 978-3-89578-385-2
- [3] <https://mall.industry.siemens.com/>

# STUDY OF THE POSSIBILITIES FOR INCREASING THE OPERATIONAL INDICATORS OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM BY DIGITALIZATION

Todor Lalev, Georgi Pavlov

[lalev85@gmail.com](mailto:lalev85@gmail.com), [g\\_pavlov61@abv.bg](mailto:g_pavlov61@abv.bg)

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

**Key words:** digitalization, program logic controller, traction power supply system.

**Abstract:** In the last ten years, digitalization has affected every area of our lives. In practice, there is no area in which new technologies and digitalization do not play a key role in its development. Digitalization also plays crucial role in the Railway transport and particular the traction power supply system (TPP). Digitalization of TPP lead to increasing of reliability, availability and flexibility of TPP. Also, with digitalization of TPP can be increase its energy efficiency and facilitating their maintenance.

Therefore, the main purpose of this study is to propose a plan for the development of a laboratory for digitalization of TPP at University of transport "Todor Kableshkov". The main aims of the laboratory will be to provide modern training to students and increase their competencies needed to deal with various problems in modern practice.