

## Конвертор протокола за серијску комуникацију између дигиталних регулатора исправљача и управљачког рачунарског система електране

Владимир Ђ. Вукић<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Универзитет у Београду, Електротехнички институт “Никола Тесла”, Београд, Србија

[vladimir.vukic@ieent.org](mailto:vladimir.vukic@ieent.org)

**Кратак садржај:** У раду је описан конвертор протокола INT-485-MBRTU, развијен за серијску комуникацију између тиристорских исправљача (примењен је наменски протокол “INT-CPD-05”, стандарда RS-485) и SCADA система Блока 1 термоелектране “Никола Тесла Б” (протокол “Modbus RTU”, са истим стандардом). Наведени су основни подаци о индустријским протоколима комуникације и комуникационим чвориштима. Описане су основне техничке карактеристике програмабилних логичких контролера “Omron”-ове серије CJ, као и самог уређаја INT-485-MBRTU. Описано је испитивање протокола конвертора са две верзије комуникационог софтвера, које су се разликовале само у једној контролној речи, намењеној за принудно сукцесивно смењивање комуникационих секвенци уместо аутоматског смењивања. Уређај INT-485-MBRTU са програмом за принудно сукцесивно смењивање комуникационих секвенци демонстрирао је поузданост преноса података од 100 %, на узорку од око 480 порука. На приближно истом узорку, исти конвертор протокола, са верзијом програма без идентификатора типа поруке, пренео је мање од 60 % планираних података. Приликом вишеструких шездесеточасовних испитивања, забележена је поузданост преноса података од најмање 99,9979 % у 100 % случајева, на узорку од око 96000 долазних и одлазних порука. Анализирани су добијени резултати и процењене су додатне могућности примене конвертора протокола INT-485-MBRTU.

**Кључне речи:** серијска комуникација, конвертор протокола, комуникационо чвориште, протокол комуникације, RS-485, Modbus, програмабилни логички контролер (ПЛЦ), исправљач

## 1. Увод

У данашњим индустријским системима и интелигентним електричним мрежама уобичајен је надзор рада готово свих значајнијих уређаја у постројењу помоћу управљачких рачунарских система [1]-[5]. Ранијих година је надзор (укључујући и исправљаче [6]) обављан првенствено коришћењем мерних претварача (за мерене величине напона, струје, температуре, итд.) или помоћних безнапонских контаката (стања прекидача, контактора, осигурача, и сл.). Међутим, последњих година приметан је тренд повезивања значајнијих уређаја у локалну комуникациону мрежу индустријског објекта (“умрежавање”). Предност наведеног приступа је располагање неупоредиво већим бројем података о стању уређаја [1] (мерене вредности свих електричних и неелектричних величина, стања заштитних функција, сигнализација различитих кварова, итд.) и већа отпорност на електромагнетне сметње [3], уз коришћење много мањег броја сигналних проводника [1]. Обично се до комуникационог чворишта доводи само по један рачунарски кабл, а на једно чвориште може да се повеже и по неколико десетина основних уређаја. Са друге стране, недостатак серијске комуникације је ризик од потпуног губитка свих података у случају квара комуникационог уређаја, што може негативно да утиче на праћење рада великог броја прикључених основних уређаја [6].

Корисници, по правилу, теже да остваре комуникацију између појединих уређаја према неком од стандардних индустријских комуникационих протокола (енг. “*fieldbus*”) [1]. Међутим, то није увек могуће. Често у постројењима постоје дигитални уређаји који су испоручени много пре планираног “умрежавања”, код којих су за комуникацију предвиђени посебни протоколи, наменски направљени за комуникацију са тим уређајима (енг. “*proprietary protocol*”). Хардвер оваквих уређаја обично нема могућности за остваривање комуникације у складу са неким од стандардних индустријских комуникационих протокола. Са друге стране, велики светски произвођачи мерне и регулационе опреме развијају сопствене протоколе комуникације, који често нису компатибилни са опремом других произвођача [1].

Наведени проблеми указују на потребу за применом великог броја комуникационих протокола приликом развоја нових мерних и регулационих уређаја, али и потребу за развојем посебних комуникационих чворишта (енг. “*communication gateway*”, “*network gateway*”) за повезивање постојећих дигиталних уређаја у постројењу. Често је најпрактичнији начин за брз развој специфичних комуникационих уређаја употреба постојећих програмабилних логичких контролера (ПЛЦ). Код ових система индустријске аутоматизације постоји могућност модуларне монтаже великог броја периферијских јединица, пројектованих за различите протоколе рачунарске комуникације, што даје могућност њихове употребе као комуникационих чворишта.

Иако данас постоји велики број стандардних индустријских комуникационих протокола ("Ethernet" [5], "PROFIBUS DP" [2], "Modbus" [1], итд.), различите варијанте "Modbus" протокола су убедљиво најзаступљеније у свету [4]. Још 2004. године је процењивано да широм света постоји око 800 милиона комуникационих чворишта код којих су примењене различите варијанте "Modbus" протокола [4] (упоредити, на пример, са 14 милиона инсталираних чворишта са протоколом "PROFIBUS DP" у 2006. години [2]). Основни разлози широке заступљености овог протокола су отвореност, прилагодљивост и једноставност "Modbus" протокола комуникације [4], првенствено у варијанти "Modbus RTU". Ипак, корисници често на својим процесним рачунарима користе различите протоколе комуникације, па је потребно направити флексибилне комуникационе уређаје, који лако могу да се прилагоде специфичностима појединих индустријских објеката.

У раду је описан конвертор протокола (*енг.* "protocol converter") INT-485-MBRTU, развијен на хардверској основи ПЛЦ-а "Omron" серије CJ. Уређај је намењен за повезивање, са једне стране, до 17 постојећих дигиталних регулатора тиристорских исправљача типа "ДПИ 05" (са сопственим протоколом комуникације "INT-CPD-05", према стандарду RS-485), и, са друге стране, централног рачунарског (SCADA) система компаније "Siemens", инсталираног у термоелектрани "Никола Тесла Б" код Обреновца.

## 2. Комуникационе могућности ПЛЦ-а "Omron" CJ

Основу комуникационог система INT-485-MBRTU представља програмабилни логички контролер "Omron" серије CJ [7]. Процесорска јединица је модул "Omron" CJ1M-CPU11, који представља основну варијанту "Omron"-ових микропроцесорских јединица серије CJ [7]. Остале компоненте од којих је састављен програмабилни логички контролер уређаја INT-485-MBRTU су: модул за напајање "Omron" CJ1W-PA202 ( $V_{in} = 85 - 264 \text{ V AC}$ ,  $f = 47 - 63 \text{ Hz}$ ;  $P = 14 \text{ W}$  [7]) и две комуникационе јединице "Omron" CJ1W-SCU41-V1 (по један порт за стандарде комуникације RS-232 и RS-485). Поред наведених модула за серијску комуникацију, могућа је уградња "Omron"-ових модула серије CJ за индустријске комуникационе протоколе "PROFIBUS-DP", "PROFINET-IO", "CAN", "Ethernet", "EtherNet/IP" "CompoBus/S", "DeviceNet", "Controller Link" и "CompoNet" [7],[8].

Комуникациони програм процесорске јединице ПЛЦ-а написан је у форми лествичастог дијаграма (*енг.* "ladder-diagram"), у програмском пакету "CX Programmer" [9]. Основна команда која омогућава размену порука између ПЛЦ-а "Omron" и периферијских јединица је "PMCR" (*енг.* "Protocol Macro") [10]. Комуникација дефинисана командом "PMCR" одвија се преко једног физичког порта (укупно постоје по два порта на

комуникационим јединицама “Omron” CJ1W-SCU41-V1 [7]), уз могућност дефинисања до осам виртуелних, “логичких” портова [11]. Постојање осам “логичких” портова даје могућност формирања до осам врста различитих комуникационих секвенци. У комуникационом програму уређаја INT-485-MBRTU примењена су укупно четири “логичка” порта, чиме је омогућен рад са четири врсте комуникационих секвенци за сваки појединачни регулатор исправљача (омогућен је пренос мерених вредности напона и струје, као и стања режима рада и заштита исправљача).

Комуникациони протокол “INT-CPD-05”, направљен у програмском пакету “CX Protocol” [12], намењен је за везу са дигиталним регулаторима исправљача типа “ДРИ 05” (заснованим на микроконтролеру “Intel” 80C196KB16 [8],[13],[14]). У комуникационом програму постоје укупно два основна протокола (један за напоне, струје и режиме рада, а други за стања заштитних функција), са укупно 68 комуникационих секвенци. Разлог за коришћење два основна комуникациона протокола је ограничење које постоји у програмском пакету “CX Protocol”, према коме један протокол може да садржи највише 60 комуникационих секвенци [12]. За сваку комуникациону секвенцу су дефинисани формати долазних и одлазних порука, уз навођење свих потребних детаља везаних за формат поруке (подаци, заглавље, адреса, начин провере присуства грешака у порукама, одзиви, и сл.).

Веома је важно да се током ограниченог времена, предвиђеног за размену порука, са сваким појединачним уређајем изврше све четири наведене комуникационе секвенце, уз остављање временске резерве за понављање неуспешних упита, али и довољно дугог времена за проверу исправности слања и пријема свих предвиђених порука. Наведени временски период од пет секунди на први поглед делује као сасвим довољан за трансфер свих порука, чак и у случају ниског битског протока од 1200 b/s (конкретне поруке које конвертор протокола шаље микроконтролерима 80C196KB16, уграђеним у регулаторе исправљача типа “ДРИ 05”, трају око 80 – 100 ms, док су поруке које комуникациони уређај прима са регулатора дуге, и њихово трајање је у опсегу 200 – 300 ms). Наведена претпоставка је тачна само у случају да се све четири комуникационе секвенце извршавају сукцесивно. Међутим, команда “PMCR” нема могућност аутоматског извршавања комуникационих секвенци на већем броју “логичких портова”, па се приликом извршавања програма у коме су четири команде “PMCR” наведене једна за другом не постиже и њихово стварно сукцесивно извршавање! Наиме, у ограниченом времену од пет секунди за размену порука са једним регулатором, дешавало се да се, са једне стране, одређена комуникациона секвенца изврши и до дванаест пута, док, са друге стране, неке комуникационе секвенце уопште нису ни покретане!

Уочени проблеми су морали да се буду решени применом додатних програмерских поступака, којима би се омогућило сукцесивно извршавање свих комуникационих секвенци у програму. У тексту који

следи описани су поступци који су примењени за остваривање поуздане размене података између регулатора исправљача и конвертора протокола INT-485-MBRTU.

### **3. Серијска комуникација између регулатора исправљача и управљачког рачунарског система електране**

У систему непрекидног напајања Блока 1 термоелектране „Никола Тесла Б”, са централним управљачким (SCADA) системом повезано је осам исправљача (шест на Блоку 1 и два на Општој групи) са регулаторима типа “ДРИ 05”. Ради успостављања серијске комуникације са управљачким рачунарским системом, помоћу индустријских комуникационих каблова (типа S/FTP) повезани су сви исправљачи Блока 1 и Опште групе (по два ДРИ 24-600, ДРИ 24-250, ДРИ 220-400 и ДРИ 48-400). Сви дигитални регулатори исправљача (типа “ДРИ 05”) повезани су паралелно, преко DB9 конектора на предњој страни кутије електронике. Комуникација са регулаторима исправљача је изведена према стандарду комуникације RS-485, а поруке се размењују у складу са наменским протоколом комуникације “INT-CPD-05”.

У исправљач 1EC01 (ДРИ 220-400) уграђен је комуникациони уређај INT-485-MBRTU, који треба да обезбеди пренос података са регулатора исправљача ка SCADA систему посредством протокола комуникације “Modbus RTU”. Преко првог комуникационог модула (типа “Omron” CJ1W-SCU41-V1 [7],[11]) врши се прозивање појединих регулатора типа “ДРИ 05” и од њих се примају поруке (помоћу протокола комуникације “INT-CPD-05”, према стандарду RS-485). Други комуникациони модул ради као “Modbus RTU - Slave” јединица, преко које SCADA систем електране преузима податке очитане са свих исправљача (информације о напону, струји, режимима рада и стању заштита). На овај начин је хардверски омогућено повезивање до 32 регулатора исправљача [11], са двојичном комуникацијом типа “half-duplex”, битског протока 1200 b/s. Између SCADA система и комуникационог чворишта изведен је четворожични кабл, па се примењује “full-duplex” серијска комуникација, битског протока од 9600 b/s (подесиво од 1200 до 115200 b/s [11]). Максимална дужина кабла за серијску комуникацију може да буде 400 m [11].

У складу са комуникационим програмом, поруке са уређаја INT-485-MBRTU упућују се дигиталним регулаторима исправљача “ДРИ 05” на сваких 0,5 s. Након пријема поруке, прозвани регулатор исправљача, пре истека предвиђеног интервала од пола секунде, прослеђује “master”-у одговор на примљену поруку. Предвиђено је максимално време за завршетак пријема порука од две секунде – ако се поменуто време прекорачи у било ком случају, активира се сигнал грешке. Време

задршке слања поруке подешено је на 20 ms, а у случају неуспешне размене порука (због високог шума, лошег резултата провере исправности поруке, итд.) понављање порука се врши највише два пута.

На сваком регулатору (адресе од 1 до 17) сукцесивно се смењују четири комуникационе секвенце: за напон, струју, статус режима рада и стање заштита исправљача. Уређаји се смењују на сваких пет секунди, док приликом последње секвенце (број 18) нема размене података између конвертора протокола и регулатора исправљача. У овом временском интервалу стања меморијских локација се не мењају, па може да се врши преузимање непроменљивих података о стању свих исправљача. Циклус комуникационих секвенци између уређаја INT-485-MBRTU и регулатора исправљача периодично се понавља на сваких 90 секунди.

Може се извести закључак да комуникациони уређај INT-485-MBRTU ради као стандардни конвертор протокола, будући да уређај INT-485-MBRTU ради као надређена јединица у комуникационој мрежи исправљача ("INT-CPD-05 - Master"), док у мрежи централног рачунарског (SCADA) система уређај INT-485-MBRTU ради као подређена јединица ("Modbus RTU - Slave"). У случају уградње додатних "Omron"-ових комуникационих модула серије CJ и мање промене комуникационог софтвера, уређај INT-485-MBRTU може да се унапреди до нивоа универзалног комуникационог чворишта (енг. "universal gateway").

### **3.1. Развој конвертора протокола за серијску комуникацију са дигиталним регулаторима исправљача у Електротехничком институту "Никола Тесла"**

Протокол комуникације за дигиталне регулаторе исправљача типа "INT-CPD-05" развијен је у Електротехничком институту "Никола Тесла". Овај протокол је осмишљен као програм Института за рад са порукама дигиталних регулатора исправљача, чији су формати први пут примењени током 2004. и 2005. године. Прва верзија поменутог формата порука примењена је за серијску комуникацију са микропроцесорским регулаторима плазматронских исправљача типа "МПП 196". За уградњу у пилот-постројење, намењено за подршку сагоревању на котлу термоелектране, произведено је 16 плазматронских исправљача са регулаторима типа "МПП 196" [15]. Према пројекту је било је предвиђено да се све команде регулаторима исправљача задају даљински, серијском везом са SCADA система електране и у складу са комуникационим протоколом "PROFIBUS DP". Тада је, ради конверзије протокола исправљача на стандард "PROFIBUS DP", развијен и први конвертор протокола заснован на ПЛЦ-у "Omron" серије CJ [15]. Било је предвиђено да се са SCADA-е ка сваком од 16 исправљача даљински прослеђују референтне вредности иницијалног напона и радне струје,

док би регулатори исправљача потврђивали пријем референтних вредности. Формиран је и трећи тип порука, када би, у случају пријема упита о мерењима, у истој поруци били прослеђивани подаци о измереним тренутним вредностима напона и струје исправљача.

До марта 2006. године извршено је успешно пуштање у рад свих 16 плазматронских исправљача, остварено са пробним комплетом електрода горионика на котлу електране. Тада је извршен и технички пријем исправљача. Нажалост, плазматронски систем за подршку сагоревању није уведен у експлоатацију, будући да су сва испитивања на пилот-постројењу обустављена крајем 2007. године.

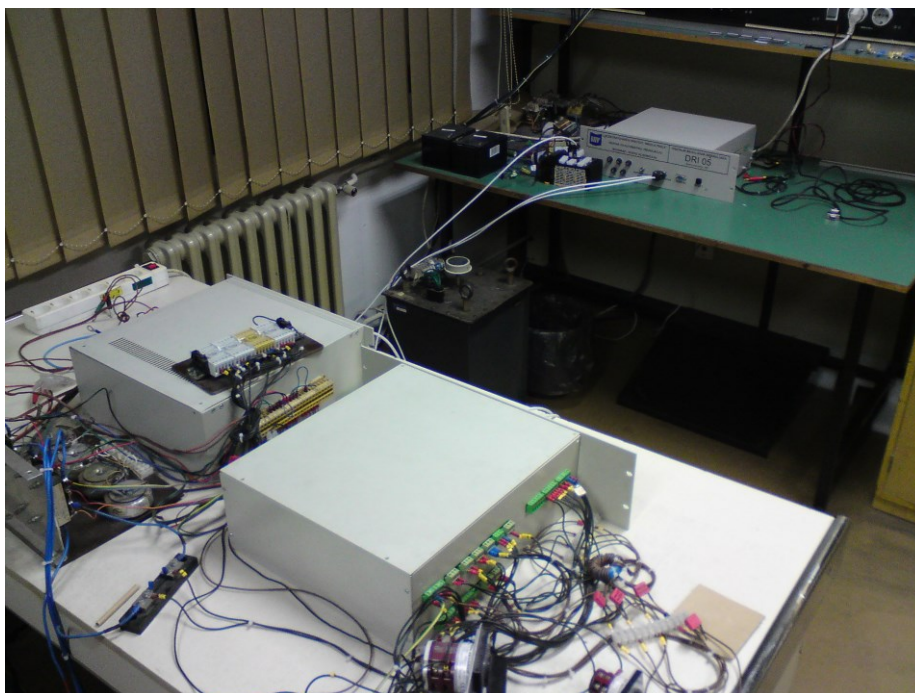
Искуства стечена на развоју микропроцесорских регулатора плазматронских исправљача касније су примењена и на дигиталним регулаторима исправљача типа “ДРИ 05” и “ДРИ 07”, који су за последњих десетак година уграђени на укупно 34 тиристорска исправљача у индустријским системима непрекидног напајања [13],[14]. Формати порука и брзина комуникације дигиталних регулатора исправљача “МРП 196”, “ДРИ 05” и “ДРИ 07” су исти, али се саме поруке и начин комуникације знатно разликују. За разлику од уређаја “МРП 196”, код регулатора “ДРИ 05” и “ДРИ 07” није предвиђено даљинско задавање команди, већ искључиво читавање података. Ипак, унификација формата порука и битског протока даје могућност за формирање универзалног комуникационог протокола за све наведене типове регулатора тиристорских исправљача.

Будући да су поменути регулатори исправљача могли да се повежу у комуникациону мрежу [8] и због специфичности експлоатационих услова у постројењу, корисници из термоелектране “Никола Тесла Б” су одлучили да искористе расположиве хардверске могућности регулатора типа “ДРИ 05”. Због великих техничких и концепцијских разлика између регулатора исправљача “МРП 196” и “ДРИ 05”, ни најмањи део постојећег комуникационог софтвера за плазматронско пилот-постројење није могао да буде искоришћен у програму конвертора протокола намењеног за уградњу у термоелектрани “Никола Тесла Б”. Због тога је спроведен развој новог конвертора протокола INT-485-MBRTU (пренос података са новоформираног протокола “INT-CPD-05” на “Modbus RTU”), са потпуно новим програмом за комуникацију са исправљачима серије ДРИ.

#### **4. Поступак испитивања**

Основни захтев који мора да испуни сваки комуникациони уређај је поуздан пренос података, уз минимални губитак информација. Због тога је и приликом развоја уређаја INT-485-MBRTU првенствени захтев био везан за поуздан пренос све четири врсте података. У лабораторији је

вршено испитивање поузданости комуникације између дигиталних регулатора исправљача и “master”-јединице конвертора протокола (према протоколу “INT-CPD-05”). Задатак је био формирање оптималног комуникационог програма који би омогућио архивирање свих података добијених са исправљача, без губитка информација у било којој секвенци размене порука.

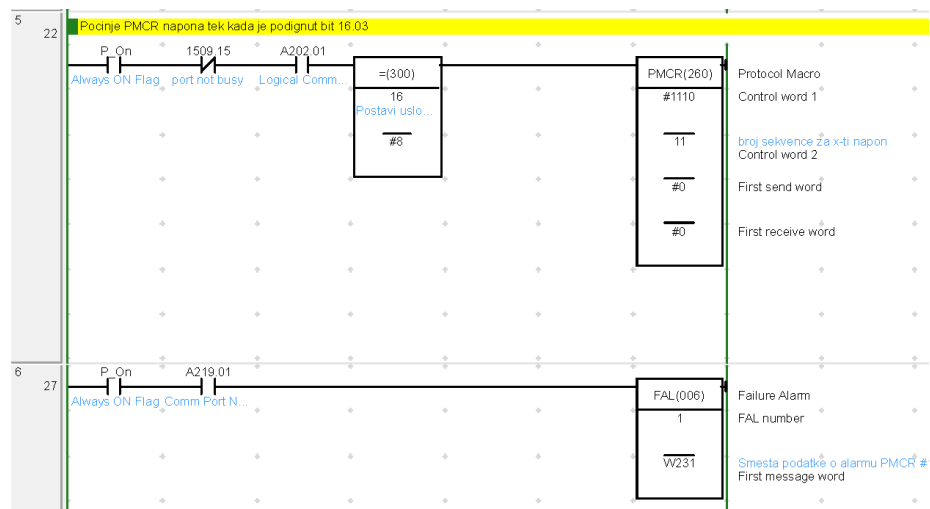


Слика 1. Испитивање конвертора протокола INT-485-MBRTU (на зеленом столу, испред кутије регулатора) са дигиталним регулаторима исправљача “МРП 196”, “ДРИ 07” и “ДРИ 05” у лабораторији Електротехничког института “Никола Тесла”

Размена порука између конвертора протокола INT-485-MBRTU и регулатора исправљача “ДРИ 05” праћена је помоћу опције “Trace” у програмском пакету “CX Protocol” [12]. Испитивања су рађена са завршним верзијама комуникационог софтвера, у лабораторији, са три дигитална регулатора исправљача, повезана са конвертором протокола серијским кабловима (слика 1). Коришћен је по један регулатор типа “ДРИ 05”, “МРП 196” и “ДРИ 07”, али са комплетним програмима за исправљаче ДРИ 24-600, ДРИ 48-400 и ДРИ 220-400, уграђене у термоелектрани “Никола Тесла Б”. Да би праћење комуникације између уређаја било могуће, неопходно је да се приликом рада успостави непосредна (енг. “on-line”) веза између РС рачунара са програмским



пакетом “CX Protocol”, са једне стране, и конвертора протокола INT-485-MBRTU (односно ПЛЦ-а “Omron” серије CJ), са друге стране. Функција “Trace” даје могућност детаљног праћења порука које се размењују на магистрала података (приказ долазних и одлазних порука, као и специјалних сигнала: RTS, CTS, DTR, DSR и Comm.Error), без потребе за коришћењем посебног анализатора протокола [12]. Меморија једног “Trace” снимка може да садржи до 1700 знакова, са њиховим појединачним приказом и ASCII кодом [12]. Адресе регулатора су биле 1, 3 и 4, тако да је комплетан “Trace” снимак за сва три прикључена регулатора могао да се уклопи у максималних 1700 знакова.



Слика 2. Део програма са једном комуникационом командом PMCR (2. верзија, са коришћењем идентификатора типа поруке на меморијској локацији CIO.16)

Испитиване су две верзије комуникационог програма. Прва верзија програма није имала контролну реч за sukcesивно извршавање секвенци PMCR (једина разлика у односу на команду PMCR са слике 2 је избацивање услова поређења речи CIO.16 (оператор “=”) са референтном вредношћу). Друга верзија програма је имала принудно sukcesивно извршавање инструкција “Protocol Macro” (PMCR) помоћу идентификатора типа поруке, смештеног на меморијској локацији CIO.16 (приказано на слици 2; део програма са првом командом PMCR, од укупно четири). Као што се види на слици 2, команда “Protocol Macro” се активира када је уређај укључен, када комуникациони порт није заузет, када је активан одговарајући логички комуникациони порт (у овом случају логички порт бр. 1) и када је активан одговарајући бит у речи CIO.16 (у описаном случају бит бр. 3). У складу са тренутно активним идентификатором типа поруке (увек је активан један од битова 16.00 – 16.03), у комуникационом програму се покреће једна од четири комуникационе секвенце PMCR. Када се промени стање бројача уређаја,

поставља се бит 16.03 на вредност 1. Након активирања системског сигнала за крај комуникационе секвенце, врши се ротација удесно активног бита од локације 16.03 ка позицији 16.00. На овај начин се увек, након завршетка једне комуникационе секвенце, мења статус контролне речи CIO.16. Приликом преласка на следећу PMCR секвенцу, бит 16.03 се поставља на вредност 1, па је, у случају коришћења идентификатора CIO.16, редослед комуникационих секвенци увек исти: напон – струја – режим рада – статус заштита. Ако у програму не постоји идентификатор типа поруке на локацији CIO.16 (прва верзија), врши се аутоматско смењивање активних логичких портова, што практично значи да нема сукцесивног извршавања комуникационих секвенци.

Анализиран је рад обе верзије програма, уз праћење редоследа смењивања порука и укупног броја лоших порука, на које није добијен одговор или код којих је активиран сигнал грешке у комуникацији.

Поред праћења размене порука у исправљачкој комуникационој мрежи, програм "CX Programmer" са опцијом "Data Trace" даје и могућност праћења свих битова или речи у меморијским локацијама ПЛЦ-а "Omron" серије CJ [9]. За разлику од функције "Trace", код функције "Data Trace" се не приказују поворке знакова, већ, у функцији времена, физичка стања појединих битова или речи. Резолуција временског интервала је подесива, и може да се креће од 1 "scan"-а (време извршавања програма - око 1 ms за постојећи комуникациони програм), преко 10 ms, па у интервалима од по 10 ms, све до резолуције од 2,55 s [9]. Процесорске јединице серије CJ могу, током једног снимка, да прате стање највише 31 бита и 6 речи, уз меморију од 4000 речи [9]. Према томе, трајање снимка директно зависи од задате резолуције, док, са друге стране, у случају ниске резолуције пролазна стања многих системских битова уопште не могу да буду меморисана.

## 5. Резултати испитивања и дискусија

Испитивање рада конвертора протокола вршено је анализом добијених снимака у формату "Trace". Током двочасовног рада уређаја INT-485-MBRTU у лабораторији, анализирано је по 12 добијених снимака за обе верзије комуникационог програма (прва без идентификатора типа поруке за извршавање команде PMCR, а друга са овим логичким условом). На једном "Trace" снимку, величине 1700 знакова, налази се око 55 комплета порука (40-42 долазних и одлазних порука са активних регулатора исправљача (бр. 1, 3 и 4) и 14-15 одлазних порука ка непостојећим уређајима (бр. 2 и 5)). Укупан временски период обухваћен једним снимком је око 22 секунде.

Резултати испитивања рада конвертора протокола INT-485-MBRTU са две различите верзије комуникационог програма приказани су у

табелама 1-3. У табели 1 је, због ограничења простора, приказан редослед извршавања комуникационих порука на по два специфична снимка (од укупно 12), за обе верзије програма, појединачно за сваки регулатор исправљача. У табели 2 дат је преглед броја размењених порука за 1. верзију програма, док се у табели 3 налази исти преглед, али за 2. верзију програма, са контролном речи на локацији СИО.16.

Табела 1. Редослед пристизања порука на једном "Trace" снимку - комуникација конвертора протокола INT-485-MBRTU са дигиталним регулаторима исправљача (значење симбола порука: U – напон, I – струја, R – режим рада, Z – заштита; верзије програма: 1. – верзија програма без контролне речи СИО.16, 2. – комплетан програм)

Комуникација према протоколу "INT-CPD-05"																		
Верзија програма	Број снимка	Број регулатора	Редни број поруке															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1.	1-3	1	I	I	I	U	R	R	R	R	R	R	R	I	U	R	R	
		3	I	R	R	U	R	R	R	R	I	R	R	U				
		4	R	R	R	R	R	I	R	R	U	U	U	U	U			
1.	1-6	1	Z	Z	Z	U	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	U	Z		
		3	Z	Z	Z	U	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	U	Z			
		4	Z	Z	Z	Z	Z	Z	U	Z	Z	Z	Z	Z	Z			
2.	2-3	1	U	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U		
		3	U	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U	I	R	Z			
		4	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U	I		
2.	2-5	1	U	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U	I	
		3	U	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U						
		4	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U	I	R	Z	U			

Приказ редоследа размењених порука у табели 1 јасно указује на велику разлику између две верзије комуникационог програма. У случају рада са 2. верзијом програма (комплетна верзија, са коришћењем идентификатора СИО.16) врши се sukcesивно смењивање комуникационих секвенци, према редоследу напон – струја - режим рада - заштита. Поруке у све четири комуникационе секвенце су размењене најмање по два пута у предвиђеном временском интервалу од пет секунди по уређају. Са друге стране, коришћењем прве верзије програма је, у појединим случајевима (нпр. табела 1, снимак 1-6), скоро цео комуникациони период од 5 секунди био утрошен за размену порука о

стању заштите, уз само по једну или две пријемних и предајних порука о мереној вредности напона.

Табела 2. Број размењених порука на једном "Трасе" снимку - комуникација конвертора протокола INT-485-MBRTU са дигиталним регулаторима исправљача, са 1. верзијом програма (без идентификатора типа поруке CIO.16. Значење симбола порука: U – напон, I – струја, R – режим рада, Z – заштита)

Комуникација према протоколу "INT-CPD-05". Програм без идентификатора типа поруке CIO.16

Број "Трасе" снимка	Број регулатора	Број размењених порука у временском интервалу од 5 s				Број "Трасе" снимка	Број регулатора	Број размењених порука у временском интервалу од 5 s			
		U	I	R	Z			U	I	R	Z
1-3	1	2	4	9	0	1-10	1	1	6	0	7
	3	2	2	8	0		3	2	0	0	11
	4	1	0	7	7		4	2	0	0	10+ 1
1-5	1	1	0	7	7	1-11	1	2	3	0	9
	3	2	0	0	10		3	1	0	0	12
	4	2	0	0	11		4	2	0	0	11
1-6	1	2	0	0	12	1-12	1	1	0	8	6
	3	2	0	0	11		3	2	0	0	10
	4	1	0	0	12		4	2	0	0	12
1-7	1	2	0	0	12	1-13	1	2	3	0	9
	3	1	0	0	12		3	2	0	0	11
	4	2	0	0	11		4	1	0	0	12
1-8	1	1	7	6	0	1-14	1	1	0	0	14
	3	2	0	0	11		3	2	0	0	12
	4	1	0	0	12		4	1	0	0	12
1-9	1	2	2	0	10	1-16	1	1	1	6	7
	3	2	0	0	11		3	2	1	10	0
	4	1	0	0	12		4	2	7	4	0

Табела 3. Број размењених порука на једном "Trace" снимку - комуникација конвертора протокола INT-485-MBRTU са дигиталним регулаторима исправљача, са 2. верзијом програма (са идентификатором типа поруке CIO.16. Значење симбола порука: U – напон, I – струја, R – режим рада, Z – заштита)

Комуникација према протоколу "INT-CPD-05". Програм са идентификатором типа поруке CIO.16											
Број "Trace" снимка	Број регулатора	Број размењених порука у временском интервалу од 5 s				Број "Trace" снимка	Број регулатора	Број размењених порука у временском интервалу од 5 s			
		U	I	R	Z			U	I	R	Z
	1	5	4	3	3		1	5	4	3	3
2-2	3	4	3	3	2	2-8	3	4	3	3	2
	4	4	3	3	3		4	4	3	3	3
	1	5	3	3	3		1	5	3	3	3
2-3	3	4	3	3	3	2-9	3	4	3	3	3
	4	4	3	3	3		4	4	3	3	3
	1	5	3	3	3		1	5	3	3	3
2-4	3	4	3	3	3	2-10	3	4	3	3	3
	4	4	3	3	3		4	4	4	3	3
	1	5	4	3	3		1	5	3	3	3
2-5	3	4	2	2	2	2-11	3	4	3	3	3
	4	4	3	3	3		4	4	3	3	3
	1	5	3	3	3		1	5	3	3	3
2-6	3	4	3	3	3	2-12	3	4	3	3	2
	4	4	3	3	3		4	4	3	3	3
	1	5	4	3	3		1	5	4	3	3
2-7	3	4	3	3	2	2-13	3	4	2	2	2
	4	4	3	3	3		4	4	3	3	3

Подаци о размењеним порукама приликом рада конвертора протокола са 1. верзијом програма (снимци 1-3 и 1-6 у табели 1) одлична су илустрација предности коришћења идентификатора типа поруке (CIO.16) у 2. верзији програма. Не само да без коришћења контролне речи CIO.16 нема сукцесивног извршавања комуникационих секвенци, већ практично није ни могуће извршавање све четири комуникационе секвенце у предвиђеном периоду од пет секунди по уређају. На снимку 1-3 (табела 1) види се да, у временском периоду од 20 секунди, ни на једном од три испитивана уређаја није извршена размена макар једног

комплекта порука о стању заштита. Са друге стране, на снимку 1-6 види се да је секвенца са порукама о стању заштита исправљача извршавана до 12 пута на сва три испитивана уређаја. Секвенца за напон је извршавана 1-2 пута, док ниједном није извршена размена порука о мереној вредности струје и статусној речи режима рада. Овакав рад 1. верзије комуникационог програма (без контролне речи CIO.16) потпуно је неприхватљив, будући да на овај начин никако није могуће читавање стања једног дигиталног регулатора у предвиђеном временском интервалу од пет секунди.

Комплетан приказ броја размењених комуникационих порука 1. верзије програма, са подацима добијеним са свих 12 снимака, дат је у табели 2. Због уштеде простора, приказ у табели 2 је компактнији у односу на табелу 1, и обухвата само број размењених порука једног типа, а не и редослед и распоред њиховог пристизања. Број размењених порука са свих 12 "Тгасе" снимака, добијених приликом рада са 2. верзијом програма (комплетном, у којој је коришћена контролна реч CIO.16), приказан је у табели 3.

На основу 12 анализираних снимака, приказаних у табели 2, могуће је извођење једноставне статистичке анализе размене порука између конвертора протокола и дигиталних регулатора исправљача, добијених приликом рада са 1. верзијом комуникационог софтвера (без услова CIO.16). Од укупно 486 снимљених порука, 485 је успешно размењено, док је једна порука била неуспешна (табела 2, снимак 1-10, уређај 4). Ипак, и ова неуспешна порука је поновљена, тако да није дошло ни до једног губитка података са регулатора исправљача. Са друге стране, од 36 снимљених комуникационих секвенци (12 секвенци од по пет секунди, за три регулатора исправљача), само у једној је извршена размена све четири предвиђене поруке, у 12 је размењено по три поруке, док је у преостале 23 секвенце извршена успешна размена само по две од предвиђене четири поруке! Према томе, од предвиђених 144, извршена је успешна размена само 86 порука, што је мање од 60 % планираних података! Укупно је, на 12 снимака, размењено (са понављањима): 58 порука о напону, 36 о струји, 65 о статусу режима рада и, на крају, 326 порука о стању заштита (уз једну неуспешну). Приказани резултат детаљно илуструје крајњу непоузданост комуникације која би била заснована на аутоматском смењивању команди "Protocol Macro", у случају постојања већег броја комуникационих секвенци.

Подаци из табеле 3, са приказом размењених порука добијених са конвертором протокола код кога је примењена 2. верзија програма (са идентификатором типа поруке CIO.16), дају потпуно другачију слику о квалитету комуникације. Свих 476 снимљених порука је успешно размењено, а у 36 снимљених комуникационих секвенци (за регулаторе исправљача бр. 1, 3 и 4) све четири врсте порука су успешно размењене, уз извршавање појединих порука од два до пет пута (током периода од 5 секунди за комуникацију са једним регулатором). Извршена је успешна размена 144 поруке, односно 100 % предвиђених података! Укупно је, на

12 снимака од по двадесет секунди, размењено (са понављањима): 156 порука о напону, 112 о струји, 106 о статусу режима рада и, на крају, 102 поруке о стању заштита.

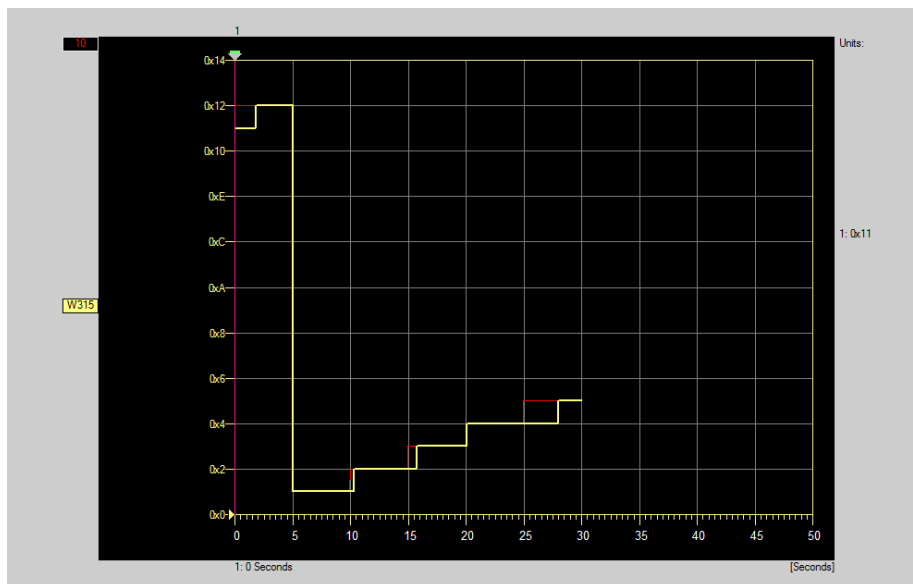
До понављања почетних порука за напон, приказаних у табели 1 (снимци 2-3 и 2-5, за регулаторе бр. 1 и 3), долази због коришћења бројача системских логичких сигнала за детекцију нових секвенци и прекида комуникације. Ова појава се јавља због прозивања неактивних уређаја у програму (у овом случају бр. 17 и 2). У случају регулатора бр. 4, пре кога је прозиван активни регулатор исправљача бр. 3, нема понављања почетне поруке о мереној вредности напона. Будући да је примењена метода редувантне комуникације, са понављањем упита на сваких 0,5 s, без обзира на успешност претходне поруке, понављање почетних порука не утиче на исправан рад конвертора протокола. Због тога није ни било реалне потребе за мењањем осетљиве логике за смењивање комуникационих секвенци и детекцију прекида комуникације.

Потребан је још један коментар на број пристиглих порука приликом рада са сваким појединачним регулатором, током једне периоде од пет секунди. Из табела 2 и 3 уочава се да укупан број порука по једном уређају варира од 10 до 15. Разлог за ово одступање може да се пронађе на слици 3. На снимку су приказане промене бројача номиналног исправљача (црвеном бојом) и бројача активног исправљача (жутом бојом) за стања бројача уређаја од 18 до 5. Снимак је добијен помоћу функције "Data Trace" из програмског пакета "CX Programmer" [9], са периодом одабирања од 30 ms. Вредности на ординати су приказане у хексадецималним бројевима, од 1 до 14 (односно од 1 до 20, децимално). Снимак је направљен са завршном, 2. верзијом програма, код које постоји идентификатор типа поруке CIO.16.

Са слике се уочава да бројач уређаја (меморијска локација CIO.10 на слици 3) у свим случајевима траје тачно 5 секунди, али да бројач уређаја са активном комуникацијом (локација W315) има променљиво трајање, које може да се пренесе на следеће стање бројача за готово 3 секунде (нпр. комуникације са неактивним уређајем бр. 5). Активност комуникације појединих уређаја обично је усаглашена са петосекундним тајмером (нпр. код уређаја бр. 1). Међутим, она може да траје и краће (уређај бр. 3, слика 3), али и знатно дуже (комуникација са уређајем 4, приказана на слици 3, трајала је готово 8 секунди). Овако неуједначено трајање комуникације је условљено извршавањем започете команде PMCR ("Protocol Macro"), која мора да заврши размену одлазне и долазне поруке пре него што се активира системски сигнал за ослобађање комуникационог порта и омогући рад са следећом комуникационом секвенцом.

Према томе, бројач уређаја и извршавање комуникационих секвенци истог уређаја, по правилу, немају једнако трајање. Ова разлика директно утиче на одступања укупног број порука које се размењују између

дигиталних регулатора исправљача и конвертора протокола током предвиђеног временског периода комуникације са једним уређајем.



Слика 3. Промена стања бројача номиналног (црвено, локација CIO.10) и активног (жута, локација W315) регулатора исправљача ("Data Trace" снимак са 2. верзијом програма)

### 5.1. Испитивање поузданости серијске комуникације између конвертора протокола и дигиталних регулатора исправљача

На крају, анализирана је и поузданост комуникације завршне, 2. верзије програма, у трајном раду, са три прикључена регулатора исправљача у лабораторији. Праћено је стање архиве грешака микропроцесорске јединице "Omron" CJ1M-CPU11, односно архиве конвертора протокола. Сprovedено је испитивање серијске комуникације током десет дана, са најмање петочасовним радом конвертора протокола са три прикључена регулатора исправљача. Приликом петочасовног рада конвертора протокола са регулаторима у лабораторији, у 80% случајева архивиран је по један сигнал грешке у комуникацији, и то у комуникационој секвенци за напон исправљача (табела 4). Конвертор протокола INT-485-MBRTU је нормално радио и пре, и након архивирања сигнала грешке. Укупан број порука, размењених током пет часова рада, може да се процени на око 42000 (по 8000 одлазних и долазних порука са три активна уређаја, уз око 26000 одлазних порука ка 14 неактивних уређаја и укупно око 1000 секунди (око 16 $\frac{2}{3}$  минута) без активне комуникације, у периоду предвиђеном за



очитавање архивираних података). У односу на укупан број од око 8000 парова одлазних и долазних порука, узимајући у обзир случај губитка једног податка (што не мора увек да буде случај приликом настанка грешке у комуникацији), у 80 % случајева добија се проценат успешног преноса порука од најмање 99,9875 %. У 100 % случајева остварен је успешан пренос од најмање 7998 долазних и одлазних порука, на узорку од 8000 парова порука (највише по две грешке у комуникацији током петочасовног испитивања), одакле се добија проценат успешног преноса порука од најмање 99,975 % у 100 % случајева.

Табела 4. Подаци о петочасовном лабораторијском испитивању поузданости серијске комуникације између конвертора протокола INT-485-MBRTU (са завршном, другом верзијом програма) и три дигитална регулатора исправљача

Број испитивања	Датум испитивања	Број грешака у комуникацији забележен приликом петочасовног испитивања	Ознака грешке	Време настанка грешке (од почетка петочасовног испитивања) [h]
1	29.2.2016.	1	4101	0:50
2	1.3.2016.	1	4101	2:13
3	7.3.2016.	1	4101	4:23
4	8.3.2016.	2	4101 4104	0:30 1:58
5	9.3.2016.	1	4101	1:17
6	10.3.2016.	2	4101 4104	0:16 1:22
7	11.3.2016.	1	4101	1:56
8	14.3.2016.	1	4101	0:53
9	15.3.2016.	1	4101	0:06
10	16.3.2016.	1	4101	0:28

Највише грешака (у 100 % случајева) забележено је у комуникационим секвенцама за напон (ознака грешке 4101). У још 20 % случајева, поред грешке типа 4101, појавила се и грешка број 4104 (грешка у комуникационим секвенцама о статусу заштитних функција). Због примене методе редувантне комуникације, као и због највеће заступљености комуникационих порука о измереној вредности напона (табела 3), добијени резултат у пракси не може да се одрази на потпуни губитак податка о напону током комуникације са било којим регулатором исправљача.

Наравно, време наведеног испитивања од пет часова је било релативно кратко, па су добијени подаци упоређени са подацима о непрекидном 60-часовном раду у лабораторији. У овом случају је статистички узорак био мањи (пет снимка; табела 5), али је значајно да је сваки од ових контролних снимака трајао знатно дуже од укупног трајања свих десет петочасовних испитивања. Због тога контролни снимци представљају добру проверу поузданости серијске комуникације (према протоколу “INT-CPD-05”) у знатно дужем експлоатационом временском интервалу.

Табела 5. Подаци о 60-часовном лабораторијском испитивању поузданости серијске комуникације између конвертора протокола INT-485-MBRTU (са завршном, другом верзијом програма) и три дигитална регулатора исправљача

Број испитивања	Датум испитивања	Број грешака у комуникацији забележен приликом 60-часовног испитивања	Ознака грешке	Време настанка грешке (од почетка 60-часовног испитивања) [h]
1	11.-14. 3. 2016.	2	4104	0:06
			4101	0:17
2	16.-19. 3. 2016.	1	4101	0:11
			4101	0:49
3	19.-22. 3. 2016.	2	4104	1:04
			4101	0:56
4	22.-25. 3. 2016.	2	4104	2:14
			4101	0:07
5	25.-28. 3. 2016.	2	4104	34:21
			4104	

Подаци о шездесеточасовном испитивању серијске комуникације показују да се уочене грешке понављају и током дужих временских периода, али готово увек током почетног периода, непосредно након успостављања комуникације. Након појављивања грешака у првим часовима рада, током наредног периода од готово 60 часова, у 80 % случајева није било забележених грешака у комуникацији. И током 60-часовног рада појављују се исте грешке у комуникацији као и приликом петочасовног: искључиво грешке у преносу података о напону (шифра 4101) и стању заштита (4104). Додуше, приликом 60-часовних испитивања, у 80 % случајева су се грешке типа 4101 и 4104 јављале у пару, за разлику од петочасовних испитивања, када су се по две грешке јављале у само 20 % случајева.

Према томе, на основу приказаних података може да се изведе закључак да је критичан период за поузданост комуникације непосредно

након њеног успостављања, док у каснијем раду може да прође и неколико десетина часова без иједне грешке у комуникацији. Ипак, као што је већ наведено, због примене методе редундантне комуникације, са поновљеним упитима за све врсте порука приликом рада са сваким уређајем, појављивање појединачних грешака у комуникацији не може да утиче на губитак било ког податка.

Ако би се за проверу поузданости комуникације узели само подаци о 60-часовним испитивањима (на посматраном узорку од 3 снимка; табела 5), проценат успешно размењених порука био би знатно већи од претходно забележених 99,975 %. У 60-часовном временском интервалу би и број долазних и одлазних порука био 12 пута већи (око 96000), па би, са највише 2 грешке у комуникацији у овом периоду, поузданост комуникације између конвертора протокола и регулатора исправљача била најмање 99,9979 % у 100 % случајева.

## 6. Закључак

У раду је описан развој конвертора протокола INT-485-MBRTU за серијску комуникацију између тиристорских исправљача и “Siemens”-овог SCADA система у термоелектрани “Никола Тесла Б”. Комуникациони уређај је развијен на основу ПЛЦ-а “Omron” серије CJ. Конвертор протокола је програмиран за рад са укупно 17 дигиталних регулатора тиристорских исправљача. Развијен је протокол комуникације “INT-CPD-05”, стандарда RS-485, за серијску комуникацију између дигиталних регулатора исправљача типа “ДРИ 05” и “master” – јединице конвертора протокола. Конвертор протокола INT-485-MBRTU је конципиран као искључиво надзорни уређај, код кога се подаци са регулатора исправљача (напон, струја, статус режима рада и стање заштитних функција) прослеђују применом четири различите комуникационе секвенце, засноване на команди PMCR (енг. “Protocol Macro”). Веза између управљачког рачунарског система електране и “slave” – јединице конвертора протокола остварена је серијском везом стандарда RS-485, у складу са протоколом комуникације “Modbus RTU”.

Детаљно је описано испитивање две верзије комуникационог програма, код којих је једина разлика у постојању контролне речи за извршавање инструкције PMCR. Конвертор протокола са верзијом програма у којој није употребљен идентификатор типа поруке, са псеудослучајним смењивањем комуникационих секвенци, демонстрирао је изузетно ниску поузданост комуникације, уз мање од 60 % успешно пренетих података на узорку од око 480 снимљених порука. Са друге стране, уређај INT-485-MBRTU са другом верзијом програма, код које је примењена контролна реч за принудно сукцесивно извршавање комуникационих секвенци, успешно је пренео 100 % свих планираних података (узимајући у обзир приближно исти број комуникационих порука

као и приликом анализе прве верзије програма). Током шездесеточасовног пробног рада, у 20 % случајева забележена је једна грешка у комуникацији на узорку од око 96000 парова одлазних и долазних порука, док је у 100 % случајева евидентирано постојање највише две грешке. На основу поменутих испитивања одређен је проценат успешног преноса порука од најмање 99,9979 % у 100 % случајева.

Приказани конвертор протокола може директно да се примени за серијску комуникацију са свим тиристорским исправљачима на којима су уграђени дигитални регулатори типа “ДРИ 05” и “ДРИ 07”. Због модуларности конструкције и широког избора комуникационих јединица за “Отгоп”-ове програмабилне логичке контролере серије СЈ, једноставном уградњом другог модула и мањим изменама комуникационог програма могуће је успостављање везе са SCADA системом не само помоћу протокола “Modbus RTU”, већ и посредством “PROFIBUS-DP”, “CAN”, “Ethernet”, “EtherNet/IP” или других индустријских протокола серијске комуникације.

Подаци добијени приликом праћења серијске комуникације, приказани у табелама 1-3, добра су илустрација великог значаја који може да има једна, наизглед сасвим тривијална интервенција у софтверу, попут додавања контролне речи у постојећи програмски услов. Описана интервенција на комуникационом програму конвертора протокола INT-485-MBRTU суштински је променила његово функционисање, мењајући статус целог уређаја од потпуно неупотребљивог до веома ефикасног!

## **Захвалница**

Рад је настао током активности на потпројекту „Развој система непрекидног напајања једносмерном струјом”. Потпројекат представља део пројекта TP33020, „Повећање енергетске ефикасности хидроелектрана и термоелектрана Електропривреде Србије развојем технологије и уређаја енергетске електронике за регулацију и аутоматизацију”, који је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

## **Литература**

- [1] P. Marino, M. A. Dominguez, F. Poza, and F. Vazquez, “Using LOTOS in the specification of industrial bus communication protocols”, *Computer Networks*, vol. 45, pp. 767-799, 2004.

- [2] M. Alves and E. Tovar, "Engineering PROFIBUS networks with heterogeneous transmission media", *Computer Communications*, vol. 30, pp. 17-32, 2006.
- [3] E. O'Driscoll and G. E. O'Donnell, "Industrial power and energy metering – a state-of-the-art review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 41, pp. 53-64, 2013.
- [4] L. Hui, Z. Hao, and P. Daogang, "Design and application of communication gateway of EPA and MODBUS on electric power system", *Energy Procedia*, vol. 17, pp. 286-292, 2012.
- [5] L. Weilin and X. Zhang, "Simulation of the smart grid communications: Challenges, techniques, and future trends", *Computers and Electrical Engineering*, vol. 40, pp. 270-288, 2014.
- [6] P. van Gorp, "Advanced remote controls for rectifiers", *Metal Finishing*, vol. 107, no. 6, pp. 48-50, 2009.
- [7] "Industrial Automation Guide 2015", *Каталог произвођача*, Omron, 2015.
- [8] В. Вукић, "Енергетска ефикасност и дигитална комуникација фазно регулисаних исправљача за индустријске системе непрекидног напајања", *Пољопривредна техника*, година XXXVI, бр. 3, стр. 19-28, 2011.
- [9] "SYSMAC CX Programmer Ver.9 – Operation Manual", *Упутство за употребу*, Cat. No. W446-E1-17, Omron, 2013.
- [10] "SYSMAC CS, CJ Series Programmable Controllers – Programming Manual", *Упутство за употребу*, Cat. No. W394-E1-14, Omron, 2009.
- [11] "SYSMAC CJ Serial Communication Boards and Serial Communication Units – Operation Manual", *Упутство за употребу*, Cat. No. W336-E1-11, Omron, 2012.
- [12] "SYSMAC CX Protocol Ver.1.9 – Operation Manual", *Упутство за употребу*, Cat. No. W344-E1-14, Omron, 2012.
- [13] В. Вукић, "Тиристорски исправљачи са дигиталним регулаторима заснованим на микроконтролеру 80C196 за системе непрекидног напајања", *Зборник радова, Електротехнички институт „Никола Тесла“*, књига 21, стр. 139-155, 2011.
- [14] В. Ђ. Вукић, "Мрежом комутовани фазно регулисани исправљачи са адаптивним дигиталним регулаторима", *Зборник радова, Електротехнички институт „Никола Тесла“*, књига 23, стр. 1-18, 2013.
- [15] М. В. Јанковић, В. Ђ. Вукић, С. М. Добричић и Р. Ђ. Проле, "Микропроцесорско управљање тиристорским исправљачем за напајање плазматрона", *Електропривреда*, година LVII, бр. 3, стр. 45-52, 2005.

**Abstract:** The paper describes the protocol converter INT-485-MBRTU, developed for serial communication between the thyristor rectifier (based on the proprietary protocol "INT-CPD-05", according to standard RS-485) and the SCADA system (based on protocol "Modbus RTU", of the same standard) in the thermal power plant "Nikola Tesla B1". Elementary data on industrial communication protocols and communication gateways were provided. The basic technical characteristics of the "Omron" programmable logic controller CJ series were described, as well as the developed device INT-485-MBRTU. Protocol converters with two versions of communication software were tested, differing only in one control word, intended for a forced successive change of communication sequences, in opposite to automatic sequence relieve. The device INT-485-MBRTU, with the program for forced successive change of communication sequences, demonstrated the reliability of data transfer of 100 %, in a sample of approximately 480 messages. For nearly the same sample, the same protocol converter, with a version of the program without any type of message identifiers, transferred less than 60 % of the foreseen data. During multiple sixty-hour tests, the reliability of data transfer of at least 99.9979 % was recorded, in 100 % of the analysed cases, and for a sample of nearly 96,000 pairs of the send and receive messages. We analysed the results and estimated the additional possibilities for application of the INT-485-MBRTU protocol converter.

**Keywords:** serial communication, protocol converter, communication gateway, communication protocol, RS-485, Modbus, programmable logic controller (PLC), rectifier

## **Protocol Converter for Serial Communication Between Digital Rectifier Controllers and a Power Plant SCADA System**

Vladimir Đ. Vukić

Рад примљен у уредништво: 29.03.2016. године  
Рад прихваћен: 13.05.2016. године