

ПРИЈАВА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

- 1. Аутор:** др Владимир Ћ. Вукић, дипл. инж. ел.
- 2. Назив техничког решења:** Конвертор комуникационих протокола INT-485-MBRTU са редундантном разменом порука и принудним сукцесивним смењивањем комуникационих секвенци
- 3. Кључне речи:** серијска комуникација, протокол комуникације, наменски протокол, програмабилни логички контролер (ПЛЦ), индустријска рачунарска мрежа, RS-485, Modbus RTU.
- 4. Урађено за:** Електротехнички институт „Никола Тесла” а.д.
- 5. Датум комплетирања техничког решења:** 6.1.2016. године.
- 6. Датум почетка примене техничког решења:** 5.4.2016. године (испоручено према уговору бр. 23193 од 10.4.2012. године); **име корисника:** Термоелектрана „Никола Тесла Б”.
- 7. Област на коју се техничко решење односи:** индустријске рачунарске телекомуникационе мреже.
- 8. Проблем који се техничким решењем решава**

У термоелектрани “Никола Тесла Б” код Обреновца уграђен је конвертор протокола ради успостављања серијске комуникације између SCADA система електране и тиристорских исправљача – пуњача акумулаторских батерија. Конвертор протокола INT-485-MBRTU је, на хардверској основи ПЛЦ-а “Omron” серије CJ, развијен као комуникациони уређај за повезивање дигиталних регулатора исправљача са управљачким рачунарским системом електране. Конвертор је намењен за повезивање, са једне стране, до 17 дигиталних регулатора тиристорских исправљача типа “ДРИ 05”, произведених у Електротехничком институту „Никола Тесла” (са сопственим протоколом комуникације “INT-CPD-05”, према стандарду RS-485), и, са друге стране, централног рачунарског (SCADA) система компаније “Siemens”, инсталираног на блоку Б1 термоелектране.

Будући да је било потребно да се паралелно повеже већи број дигиталних регулатора исправљача, направљена је локална комуникациона мрежа којом је омогућено читавање података са појединих исправљача посредством серијске комуникације стандарда RS-485. Како брзина преноса података микропроцесорских картица регулатора исправљача није већа од 1200 b/s, указала се потреба за успостављањем веома поуздане комуникације између комуникационог чворишта и појединих регулатора исправљача. Због веома дугог временског интервала од 90 секунди, потребног за комплетирање секвенце за прозивање свих 17 регулатора, веома је важно да ниједан податак о стању појединих исправљача не буде изгубљен. Због тога је осмишљено периодично слање упита у једној секвенци на сваких 500 ms, после кога би следила нова полусекундна секвенца, док се не би завршиле све предвиђене секвенце у планираном временском периоду од пет секунди. Међутим, у датом случају је постојао проблем везан за немогућност сукцесивног периодичног смењивања већег броја комуникационих секвенци на ПЛЦ-у “Omron” серије CJ, и то када се користи стандардна команда “Protocol Macro” (PMCR). Да би се омогућило периодично смењивање четири комуникационе секвенце

према тачно одређеном редоследу и у тачно одређеним временским интервалима, било је потребно да се развије одговарајући комуникациони софтвер у програмском пакету “СХ-Programmer”. Успешним решавањем постојећег проблема добијен је конвертор протокола INT-485-MBRTU, са принудним сукцесивним смењивањем комуникационих секвенци, на коме је постигнута висока поузданост размене порука.

9. Стање решености проблема у свету

У савременим индустријским комуникационим мрежама, корисници, по правилу, теже да остваре комуникацију између појединих уређаја према неком од стандардних индустријских комуникационих протокола (енг. “*fieldbus*”). Међутим, то није увек могуће. Често у постројењима постоје стари дигитални уређаји, 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.

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*”) 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 универзалних комуникационих чворишта. Такође, на већини постојећих програмабилних логичких контролера постоји могућност креирања наменског протокола комуникације, помоћу кога може да се оствари комуникација и са уређајима код којих су примењени нестандардни формати порука.

Већина стандардних команди за покретање комуникационих секвенци на програмабилним логичким контролерима (попут команде “Protocol Macro” (PMCR) на ПЛЦ-у “Omron” серије CJ) немају могућност сукцесивног смењивања према тачно одређеном редоследу и у тачно дефинисаним временским интервалима, већ се велики број комуникационих секвенци обично извршава псеудослучајним редоследом и у различитим временским интервалима. Основни разлог за овакав рад је пројектовање комуникационих јединица програмабилних логичких контролера за стандардне процедуре комуникације, где су предвиђени предаја и пријем само по једне поруке у секвенци, уз понављање поруке у случају детекције неуспешне размене основне поруке. У случају потребе за принудним сукцесивним периодичним смењивањем већег броја порука, стандардне команде за покретање великог броја комуникационих секвенци на програмабилним логичким контролерима (ПЛЦ) не могу да се употребе успешно.

10. Опис техничког решења

Развојем новог конвертора протокола INT-485-MBRTU добијен је нови производ којим је омогућено повезивање серијском везом регулационих уређаја Института “Никола Тесла” са SCADA системом “Siemens” Teleperm, као и са било којим рачунарским системом који подржава пренос података серијском везом према протоколу “Modbus RTU”. 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” (уграђени су током реконструкције исправљача, обављене крајем 2005. и почетком 2006. године). 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 конектора типа DB9 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 ормару исправљача 1EC01 (ДРИ 220-400) извршена је уградња комуникационог уређаја 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) врши се прозивање појединих регулатора типа “ДРИ 05” и од њих се примају поруке (у складу са протоколом 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, са двојичном комуникацијом типа “half-duplex”, битског протока 1200 b/s. Између SCADA система и комуникационог чворишта изведен је четворојични кабл, па се примењује “full-duplex” серијска комуникација, битског протока од 9600 b/s (подесиво од 1200 до 115200 b/s). Максимална дужина кабла за серијску комуникацију може да буде 400 m.

Комуникациони програм процесорске јединице ПЛЦ-а написан је у форми лествичастог дијаграма (*eng. “ladder-diagram”*), у програмском пакету “CX-Programmer”. Основна команда која омогућава размену порука између ПЛЦ-а “Omron” и периферијских јединица је “PMCR”. Комуникација дефинисана командом “PMCR” одвија се преко једног физичког порта, уз могућност дефинисања до осам виртуелних, “логичких” портова. 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”, намењен је за везу са дигиталним регулаторима исправљача типа “ДРИ 05” (заснованим на микропроцесору “Intel” 80C196KB16). 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. 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 дуже, и њихово трајање је у опсегу 200 – 300 ms). Наведена

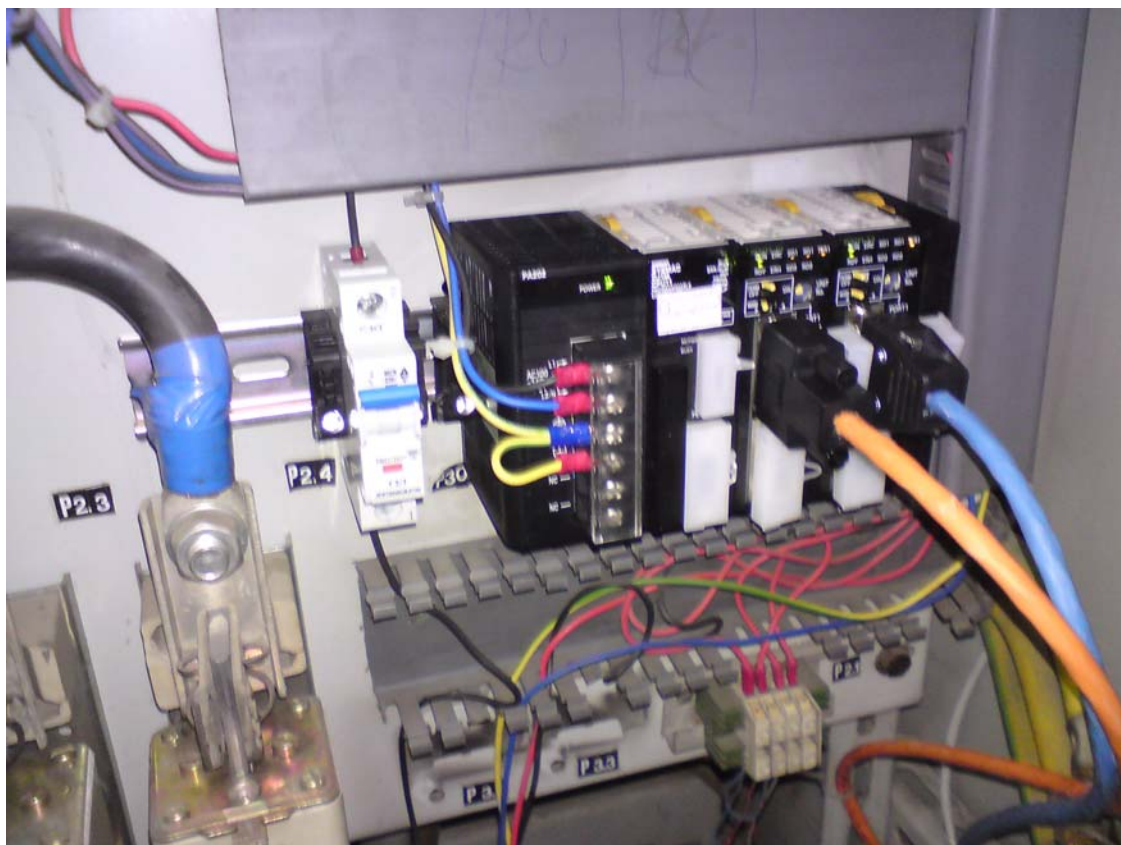
претпоставка је тачна само у случају да се све четири комуникационе секвенце извршавају сукцесивно. Међутим, команда “PMCR” нема могућност аутоматског извршавања комуникационих секвенци на већем броју “логичких портова”, па се приликом извршавања програма, у коме су четири команде “PMCR” наведене једна за другом, не постиже и њихово стварно сукцесивно извршавање!

Уочени проблеми су морали да се буду решени применом додатних интервенција у софтверу, којима је омогућено сукцесивно периодично извршавање свих комуникационих секвенци у програму ПЛЦ-а. Примењена је метода редувантне комуникације, без обзира на успешност претходне поруке. 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, 18. секвенце, 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.

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”). На слици 1 је приказан изглед конвертора протокола INT-485-MBRTU, монтираног у унутрашњости ормара исправљача ДРИ 220-400, уграђеног у термоелектрани “Никола Тесла Б”.

У завршној верзији програма је снимљена верзија комуникационог софтвера са принудним сукцесивним извршавањем инструкција “Protocol Macro” (PMCR), оствареним помоћу идентификатора типа поруке, смештеног на меморијској локацији СЮ.16. Команда “Protocol Macro” се активира када је уређај укључен, када комуникациони порт није заузет, када је активан одговарајући логички комуникациони порт и када је активан одговарајући бит у речи СЮ.16. 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 СЮ.16. Приликом преласка на следећу PMCR секвенцу, бит 16.03 се поставља на вредност 1, па је, у случају коришћења идентификатора СЮ.16, редослед комуникационих секвенци увек исти: напон – струја – режим рада – статус заштита. Ако у програму не постоји идентификатор типа поруке на локацији СЮ.16, врши се аутоматско смењивање активних логичких портова, што практично значи да нема сукцесивног извршавања комуникационих секвенци.



Слика 1. Конвертор протокола INT-485-MBRTU, развијен на хардверској основи ПЛЦ-а "Omron" серије CJ, монтиран у исправљачу ДРИ 220-400 (IEC01), на Блоку 1 ТЕ "Никола Тесла Б"

Конвертор протокола INT-485-MBRTU поседује и различите заштитне алгоритме за случајеве прекида комуникационе мреже или појаве нерегуларних стања каблова. У случају да неки од могућих 17 регулатора исправљача није прикључен на комуникациону мрежу, у све припадајуће меморијске локације тог уређаја уписују се нуле. Исто се дешава и у случају да се скине конектор са серијским каблом са регулатора исправљача типа "ДРИ 05" или ако се разведе комуникациона мрежа на улазима неког исправљача.

У случају да дође до појаве (неправилног) трајног активирања сигнала "Request to send" (RTS) на било којој микропроцесорској картици регулатора прикључених на комуникациону мрежу, доћи ће до прекида комуникације конвертора протокола са свим регулаторима исправљача, а ПЛЦ ће стално да буде у режиму пријема порука. Када се ритмично укључује и искључује само ЛЕД "RD1" на конвертору протокола, значи да је дошло до блокаде магистрале за комуникацију и да најмање један регулатор исправљача стално шаље поруке. Управљачки програм микропроцесорске картице "uP3" модификован је тако да се, уколико описани поремећај потраје дуже од осам секунди, аутоматски изврши ресет комуникације. Тада поново треба да се успостави комуникација према свим исправљачима, а конвертор протокола INT-485-MBRTU треба аутоматски да се врати у нормалан режим рада, са разменом пријемних и предајних порука према регулаторима исправљача и SCADA систему. У описаном случају није потребна интервенција корисника.

Техничке карактеристике конвертора протокола INT-485-MBRTU:

Напон напајања: 85 - 264 V , f= 47 - 63 Hz
 Снага напајања: 14 W
 Тип јединице за напајање: "Omron" CJ1W-PA202
 Тип микропроцесорске јединице: "Omron" CJ1M-CPU11

| | |
|---|--|
| Тип комуникационе јединице:..... | “Omron” CJ1W-SCU41-V1 |
| Тип серијског кабла:..... | S/FTP; UTP |
| Тип конектора на ПЛЦ-у за прикључување серијских каблова:..... | DB9-F |
| Стандард серијске комуникације:..... | RS-485 |
| Протокол серијске комуникације (између ПЛЦ-а и регулатора “ДРИ 05”):..... | INT-CPD-05 (наменски протокол Института) |
| Протокол серијске комуникације (између ПЛЦ-а и SCADA-е):..... | Modbus RTU |
| Максималан број прикључених регулатора исправљача “ДРИ 05”: | 17 |
| Брзина комуникације (између ПЛЦ-а и регулатора “ДРИ 05”):..... | 1200 bit/s |
| Брзина комуникације (између ПЛЦ-а и SCADA-е):..... | 9600 bit/s |
| Детекција заштитних функција исправљача:..... | пренапонска, поднапонска, краткоспојна, квар мрежног напајања, несиметрија моста, испад батерије |
| Детекција режима рада исправљача:..... | укључено, сервисни режим, меки старт, троструки рестарт, регулација струје, допуњавање, пуњење, форсирано пуњење, аутоматски рад |
| Мерење:..... | напон исправљача, струја исправљача |
| Период између две комуникационе поруке:..... | 0,5 s |
| Број различитих комуникационих секвенци по једном регулатору “ДРИ 05”: | 4 |
| Период смењивања комуникационих секвенци два регулатора “ДРИ 05”: | 5 s |
| Трајање једног комуникационог циклуса са свим регулаторима “ДРИ 05”: | 90 s |
| Влажност ваздуха:..... | 10 - 90%, без кондензације |
| Радна температура:..... | 0 ÷ 55°C |
| Боја:..... | црна, беж |
| Димензије: ширина..... | 155 mm |
| дубина..... | 82 mm |
| висина..... | 90 mm |
| маса..... | 600 g |

Могућности примене техничког решења

Планирана је уградња још једног комуникационог уређаја типа INT-485-MBRTU и на блоку Б2 термоелектране „Никола Тесла Б”, где би централни рачунарски систем блока, типа “Siemens” Teleregм (пуштен у рад новембра 2016. године) требало да буде повезан са шест постојећих тиристорских исправљача блока Б2.

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 “Omron”-ове програмабилне логичке контролере серије CJ, 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.

У општем случају, конвертор протокола INT-485-MBRTU може да се искористи за повезивање свих микропроцесорских уређаја код којих је примењен протокол комуникације INT-CPD-05, развијен у Електротехничком институту „Никола Тесла”. Протокол комуникације INT-CPD-05 може да се примени за пренос порука са великог броја регулационих уређаја Института, попут инвертора, електрофилтера, побудних исправљача, преклопних аутоматика, итд. За повезивање већег броја уређаја у комуникациону мрежу потребно је да на сваком дигиталном регулатору постоји галвански изолована “half-duplex” комуникација стандарда RS-485.

11. Техничка документација

У прилогу пријаве техничког решења налази се елаборат бр. 216018 Електротехничког института “Никола Тесла”, под називом: **“Пројекат конвертора протокола INT-485-MBRTU са упутством за руковање и одржавање”**. Елаборат је послат корисницима из термоелектране „Никола Тесла Б” дана 4.10.2016. године.

Напомене:

1. Ово техничко решење је настало 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.

2. Подаци о развоју и испитивању конвертора протокола INT-485-MBRTU детаљно су описани у следећем раду:

Владимир Ђ. Вукић, “Конвертор протокола за серијску комуникацију између дигиталних регулатора исправљача и управљачког рачунарског система електране”, *Зборник радова, Електротехнички институт „Никола Тесла”*, књига 26, стр. 1-22, 2016. ([doi:10.5937/zeint26-10604](https://doi.org/10.5937/zeint26-10604))

3. У прилогу ове пријаве налази се и уговор бр. 23793 од 10.4.2012. године, потписан између Електротехничког института „Никола Тесла а.д. и ЈП ЕПС Београд – Привредног друштва “Термоелектране Никола Тесла” д.о.о. Из прилога уговора су изостављени поверљиви подаци о ценама појединих ставки које се не односе на испоруку комуникационог уређаја, док су остављени подаци о укупној вредности уговора и цени конвертора протокола. У уговору се помиње уређај за “PROFIBUS” комуникацију, али су наручиоци касније променили техничке захтеве.