

ПРИМЕНА ЈЕДНОСМЕРНОГ НАПОНА ЗА НАПАЈАЊЕ ФРЕКВЕНТНО РЕГУЛИСАНИХ ЕЛЕКТРОМОТОРНИХ ПОГОНА**DC POWER SUPPLY OF FREQUENCY REGULATED ELECTRIC MOTOR DRIVES**Живадин Деспотовић, Веран Васић, Ђура Орос, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЕЛЕКТРОТЕХНИКА**

Кратак садржај – Избором децентрализованог концепта напајања фреквентно регулисаних вишепогонских транспортних трака, могуће је извршити централизовано исправљање напона, а уместо фреквентних претварача, непосредно код мотора, поставити инверторе. Пренос енергије од исправљача до инвертора се врши једносмерним напонем. Овакво напајање омогућава употребу каблова са проводницима мањег попречног пресека него при наизменичном напону. Анализа свих елемената напајања на примерима транспортних трака у рудницима указује на предности и оправданости оваквог напајања.

Кључне речи: Једносмерни напон, Фреквентни претварачи, Транспортне траке, "ЕТАР"

Abstract – By choosing a decentralized concept of power supply of frequency regulated multidrive conveyor belts, it is possible to perform centralized voltage rectifying, and instead of frequency converters install inverters directly on the motors or near them. The distribution of energy from the rectifier to the inverter is done by DC voltage. This type of power supply allows the use of conductors with the smaller cross section area than with AC voltage. The analysis of all elements of the power supply network in the examples of mining conveyor belts, points to the advantages and justifications of this type of power supply.

Keywords: DC voltage, Frequency converter, Conveyor belts, ETAP

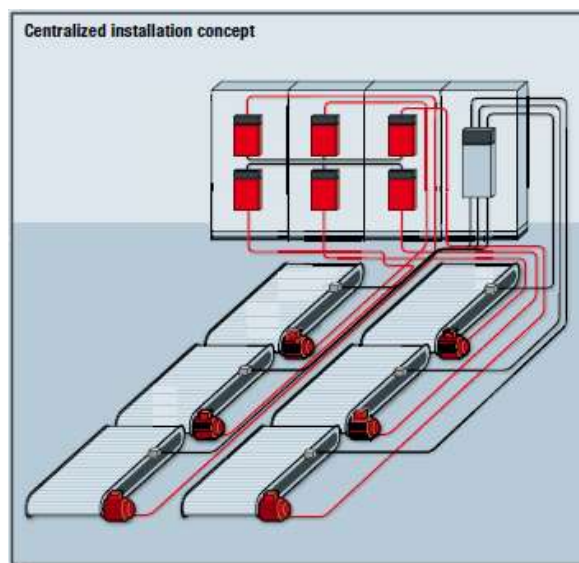
1. УВОД

У новије време се све више јавља идеја примене система напајања са једносмерним напонем на свим нивоима испоруке електричне енергије: преносу, дистрибуцији и потрошњи. Ово је подстакнуто појавом све већег броја потрошача једносмерног напона, повећањем броја произвођача електричне енергије из обновљивих извора, као и предвиђања везана за развој нових потрошача електричне енергије у будућности. Праћено је и развојем све јефтиније опреме за конвертовање напона – претварачи енергетске електронике [1].

Тема овог рада јесте анализа примене једносмерног напона у напајању индустријских фреквентно регулисаних транспортних трака. На једноставним примерима, указује се на постигнуте уштеде и упућује на сасвим извесну применљивост овог решења у напајању електромоторних погона транспортних трака.

2. ТРАНСПОРТНЕ ТРАКЕ

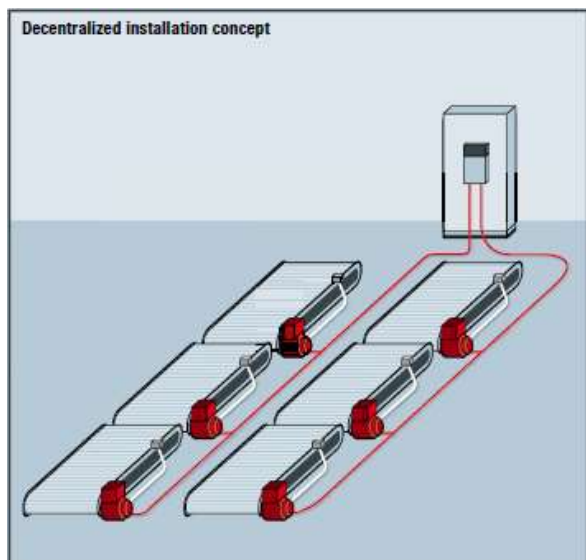
Транспортне траке се налазе у готово свим гранама индустрије, папирној, аутомобилској, фармацеутској, прехранбеној, рударској и др. Транспортне траке могу бити секционисане или несекционисане и свака, зависно од броја погона, може бити: једнопогонска или вишепогонска. Једнопогонске траке поседују један мотор на почетку или крају траке, док су код вишепогонских трака мотори распоређени дуж траке. У овом раду анализираће се вишепогонске фреквентно регулисане траке. Фреквентно регулисани мотори су распоређени дуж траке и концепт њиховог напајања може бити централизован или децентрализован [2]. Централизовани концепт напајања подразумева да су сви фреквентни претварачи постављени на једно место. Код децентрализованог концепта, фреквентни претварачи су постављени непосредно поред мотора или су сједињени у компактну целину са мотором.



Слика 1. Централизован концепт напајања

НАПОМЕНА:

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Ђура Орос, ванр. проф.



Слика 2. Децентрализован концепт напајања

Идеја за примену једносмерног напона за напајање вишепогонске фреквентно регулисане траке је следећа:

У децентрализованом концепту напајања фреквентно регулисане вишепогонске траке, потребно је: фреквентне претвараче заменити инверторима и повезати их на нисконапонску дистрибутивну мрежу једносмерног напона. Дистрибутивну мрежу формирати применом централног исправљача довољне снаге за снабдевање целокупног погона траке.

Применом оваквог концепта напајања очекује се смањење губитака у кабловима и елиминација реактивне снаге каблова. Структура губитака је промењена због промене природе извора напајања. Предпоставка је да смањени губици омогућују примену напојног кабла мањег попречног омека. Губитке у проводнику представља топлотна снага развијена услед протицања наизменичне струје. Ова снага је већа од снаге Цулових губитака који представљају производ отпорности проводника (при протицању једносмерне струје) и квадрата ефективне вредности струје.

Услед протицања наизменичне струје наелектрисања се, услед индукованог електричног поља, потискују ка рубу проводника и тиме се фактички смањује ефективна површина попречног пресека, те се и отпорност проводника повећава. Ефекат потискивања или површински ефекат зависи од фреквенције али и од површине попречног пресека. Поред наведеног, утицај на ефекат потискивања, у одређеној мери, имају и виши хармоници струје због своје увећане фреквенције.

Поред ефекта потискивања, јавља се и ефекат близине. Ефекат близине представља утицај другог проводника кроз који протиче струја. Услед протицања наизменичне струје успоставља се наизменично магнетно поље које својим присуством мења расподелу тока наелектрисања у првом проводнику.

Ова промена такође утиче на отпорност проводника јер смањује ефективну површину попречног пресека проводника. Поред фреквенције и површине попречног пресека проводника битан је и геометријски положај проводника. Мери утицаја, односно магнетске спреге два проводника представља међуиндуктивност проводника. При индустријској фреквенцији, Цулови губици се често изједначавају са укупним губицима.

Претходно наведено наводи да се успостављањем једносмерне струје кроз проводник елиминишу губици услед ефекта потискивања и сузбијају губици услед ефекта близине. Излазни напон исправљача је већи од ефективне вредности улазног наизменичног напона. Коришћењем овог напона за пренос енергије смањила би се струја кроз проводник, а тиме би се смањили и Цулови губици.

Губици у фреквентним претварачима се могу груписати на губитке у исправљачком делу и на губитке у инверторском делу. Инвертор је сачињен од шест пуноуправљивих полупроводничких елемената (IGBT). Губици се јављају током прелазних режима комутације компоненти и губитака током провођења. Губици су највећи током прелазних режима. Пошто сваки погонски мотор транспортних трака задржава свој инвертор, овде се неће разматрати уштеда енергије на инвертору.

Предпоставка је да је снага губитака код централизованог исправљања приближно једнака укупним губицима код децентрализованог исправљања. На основу тога се може сматрати да се централизацијом исправљача неће смањити укупни губици исправљања напона.

Нелинеарни потрошачи, у коју групу спадају и исправљачи, генеришу више хармонике струје. Укупно изобличење струје зависи не само од снаге нелинеарних потрошача већ и од укупне снаге свих прикључених потрошача. Код децентрализованог исправљања напона услед напојних каблова и њихове дужине, део хармоника се филтрира у самим кабловима, јер се они у овом случају могу посматрати као RL филтери. Код централизованог исправљања, генерисање виших хармоника је такође централизовано и налази се непосредно код извора напајања (у овом случају трансформатор се посматра као извор напајања нисконапонске мреже), те се могу очекивати непогоднији услови за рад трансформатора, односно веће изобличење струје.

На основу претходног може се сматрати да се централизацијом исправљача очекује стварање погоршаних услова за рад трансформатора услед појаве виших хармоника струје.

У складу са претходним се спроводи анализа напајања транспортне траке у руднику, најпре са напајањем са наизменичним напонам а потом и са једносмерним.

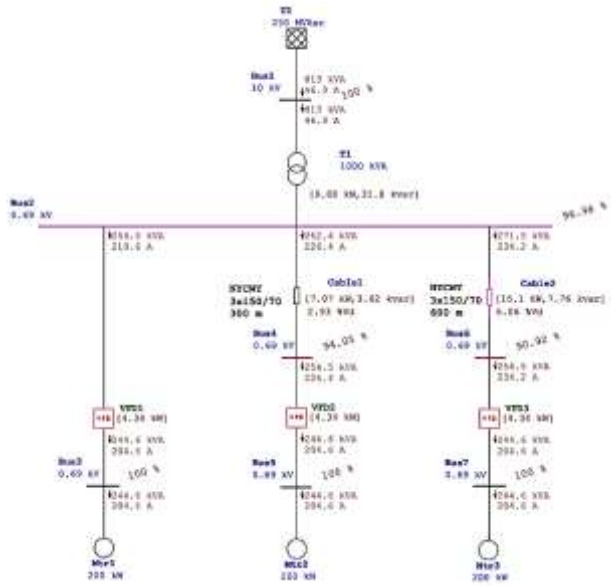
3. АНАЛИЗА НАПАЈАЊА ТРАНСПОРТНИХ ТРАКА У РУДНИЦИМА

За анализу електричног напајања погона траке, најпре је потребно одредити број погона, њихове снаге и позиције у односу на целу транспортну траку. У овом раду, за пример анализе, подаци о механици транспортне траке су преузети из литературе [3]. На тај начин је за реалан пример преузет маханички подсистем транспортне траке као и дефиниција броја и снаге електромоторних погона који га покрећу. Подаци о овој транспортној траци дати су у табели 1.

Табела 1. Основне карактеристике транспортне траке

Дужина транспортне траке	600 m
Број погона	3
Позиција погона	Почетак, средина и крај траке
Појединачна снага погона	200 kW
Извор напајања	Централизован, на почетку траке

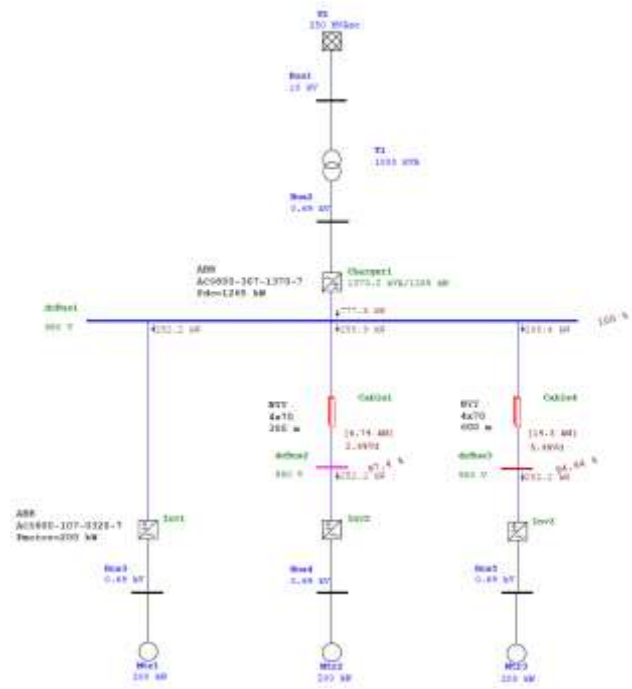
На основу овако дефинисане транспортне траке извршен је одабир свих елемената електричног напајања и спроведена детаљна анализа. За моделовање напајања траке при наизменичном напону напајања, одабрани су мотори, произвођача Siemens типа 1CV1315B. Фреквентни претварачи за контролу рада мотора су такође произвођача Siemens, серије Sinamics G150. Каблови за напајање мотора су типа NYCWY, пресека $3 \times 150/70 \text{ mm}^2$, а примењени систем напајања је TN-C. Називни наизменични напон напајања је 690 V.



Слика 3. Шема напајања траке при наизменичном напону са резултатима анализе токова снага

За моделовање напајања траке при једносмерном напону, одабрани су исправљачи и инвертори произвођача АБВ серије ACS800. Одабрани каблови за напајање једносмерним напонам су типа NYCWY, пресека $4 \times 70 \text{ mm}^2$. Поново, систем напајања је TN-C као и код напајања са наизменичним напонам. Називни једносмерни напон напајања је 980 V. На слици 4 приказана је шема напајања траке, са резултатима анализе токова снага. Анализа је

спроведена применом програмског пакета ETAP. Каблови су означени црвеном бојом, јер је струја оптерећења већа од дозвољене. Разлог овоме је што програм посматра оптерећење по проводнику, док је реално оптерећење подељено на два проводника. Стога, струја оптерећења другог извода износи приближно 264 A, док је оптерећење једног проводника 132 A. Трајно дозвољена струја кабла NYCWY $4 \times 70 \text{ mm}^2$ са три оптерећена проводника износи 162 A.



Слика 4. Шема напајања траке при једносмерном напону са резултатима анализе токова снага

Сматра се да је кабел директно укопан без утицаја редуccionих фактора. Називна струја оптерећења за четири оптерећена проводника мора бити мања него са три, због термичких напрезања. Дакле сматра се да је струја оптерећења од 132 A дозвољена за наведени кабел.

У табелама 2 и 3 приказани су резултати токова снага. Поређења ради, укупни губици привидне снаге износе 24,94 kVA, док су укупни губици при једносмерном напону 21,03 kW.

Табела 2. Резултати анализе при наизменичном напону

Кабел	Дужина [m]	Струја кабла [A]	Пад напона [%]	Губици [kW]	Реактивна снага кабла [kVAr]
Cable1	300 m	226,4	2,93	7,07	3,62
Cable4	600 m	234,2	6,06	15,13	7,76
Укупни губици и укупна реактивна снага каблова				22,20	11,38

Табела 3. Резултати анализе при једносмерном напону

Кабел	Дужина [m]	Оптерећење кабла [kW]	Пад напона [%]	Губици [kW]
Cable1	300 m	258,9	2,60	6,743
Cable4	600 m	266,4	5,36	14,283
Укупни губици				21,02

Одавде се закључује да су губици и падови напона приближно једнаки, стим што благу предност има једносмерни систем.

Значајна предност једносмерног система је у инвестиционој вредности каблова којима су обезбеђена напајања мотора. За реализацију напајања наизменичним напоном, примењен је кабел типа NYCWY 3x150/70 mm², док је за напајање једносмерним напоном примењен кабел NYU 4x70 mm². Да би се извршило приближно поређење цена каблова, довољно је одредити однос укупне запремине бабра. Запремина бабра у систему са наизменичним напоном износи:

$$V_{Cu-NYCWY} = 3 \cdot S_{150} \cdot l + S_{70} \cdot l = 0,468 \text{ m}^3 \quad (1)$$

Док је запремина бабра у каблу у систему са једносмерним напоном:

$$V_{Cu-NYU} = 4 \cdot S_{70} \cdot l = 0,252 \text{ m}^3 \quad (2)$$

На основу претходног закључује се да је запремина бабра у напојним кабловима једносмерног система мања за приближно 45%, што упућује и на знатно нижу цену кабла.

Да би се стекао комплетнији увид о уштедама приликом преласка на једносмерни напон извршена је анализа једне транспортне траке у руднику Бор. Основне карактеристике траке која спаја стари и нови коп су дате у табели 4, док је на слици 5 приказана натписна плочица једног мотора за погон траке.

Табела 4. Основни подаци траке

Капацитет	4700	t/h
Дужина	2650	m
Ширина	1600	mm
Брзина	3,4	m/s
Број погона	4	
Појединачна снага погона	1000	kW
Начин покретања мотора	Роторски упуштач	



Слика 5. Натписна плочица мотора

Као што се види на натписној плочици мотора, називна струја мотора износи 116,5 А. Мотор је високонапонски, 6 kV, са намотаним ротором. На основу спроведене анализе закључује се да је могућа употреба каблова за ред мањег површинског пресека. Процент уштеде на инвестиционој вредности каблова би био приближно исти као у приказаном примеру. Да би прелазак на једносмерни напон био

могућ, неопходна је употреба средњенапонских исправљача и инвертора.

4. ЗАКЉУЧАК

На примеру транспортне траке за пренос материјала у рудницама, анализирана је примена једносмерног напајања фреквентно регулисаних електромоторних погона. У наведеним примерима се показује да се може уштедети на инвестиционој вредности напојних каблова претварача мотора. Као резултат спроведене анализе добија се да је смањење количине бабра око 45% применом једносмерног напајања у односу на адекватно напајање наизменичном струјом.

На основу приказаних анализа, резултата и закључака могуће је констатовати и следеће: Прелазак на једносмерни напон, треба тражити на граничним појединачним снагама за дефинисани напон. Другим речима, приликом пројектовања напајања траке, када су снаге оптерећења на граници одлуке за прелазак на виши напонски ниво, али опет недовољне, треба размотрити примену једносмерног напона која би, на основу ове анализе, била сасвим оправдана.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] "LVDC: The better way", IEC - Електронска брошура - http://www.iec.ch/about/brochures/pdf/energy/iec_lvdc_the_better_way_en_lr.pdf
- [2] "SAVING, Decentralized installation concepts with mechatronic drive systems", SEW Eurodrive - Електронска брошура - <https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/19407211.pdf>
- [3] Z. Despodov, S. Mijalkovski, V. Adziski, Z. Panov, "Selection of Belt conveyors drive units number by Technical-Economical Analysis", Applied Mechanics and Materials Vol. 683 (2014), pp 189-195

Кратка биографија:



Живадин Деспотовић рођен је у Лозници 1989. год. Мастер рад на Факултету техничких наука из области Електротехнике и рачунарства – Енергетска електроника и електричне машине одбранио је 2018. год. Контакт: zivadin.despotovic@gmail.com