

ТРАЧНИ ТРАНСПОРТЕРИ СА ФРЕКВЕНТНОМ РЕГУЛАЦИЈОМ НА ПОВРШИНСКОМ РУДНИКУ УГЉА КОЛУБАРА

Бранимир Давидовић
Р.Б. Колубара Електропривреда Србије А. Д.
Лазаревац Србија
davidovicbranimireps@gmail.com

Abstract–Трачни транспортер се састоји од погонске станице, траке коју вуче погонска станица и повратног бубња. На погонској станици се налазе четири мотора који вуку траку. Нови трачни транспортери су реализовани са фреквентним регулаторима имају постепено повећање струје при старту станице и имају профибус комуникацију. Стари трачни транспортери имају проблем што при старту у рад повлаче из мреже два до пет пута већу струју од њихове номиналне или радне струје и имају знатне механичке вибрације при раду а посебно при њиховом кретању у рад. PLC је SIMATIC S7-300 модул а локални рачунари су SIMATIC ET 200M. Фреквентни регулатор класе ACS880-ABB снаге 705 kVA, производи променљив напон помоћу технике PWM, за мотор који је повезан на његове излазне прикључке. Фреквентна регулација повећава фактор искоришћења активне електричне снаге у мрежи и штити машине и мрежу од механичког оштећења вибрација и струјних удара. Нове станице доведене су у везу са управљачким софтвером и динамичким моделом мотора.

Кључне речи–Трачни транспортери, PLC, Фреквентна регулација, управљачки софтвер

I. УВОД

У раду су приказани нови трачни транспортери са фреквентном регулацијом. Тракође, направљен је осврт на старе трачне транспортере и проблеме који се јављају код њих. Нови трачни транспортер ради на површинском руднику угља Колубара. Регулатори са фреквентном регулацијом штеде знатну количину енергије, побољшавају квалитет контроле процеса продужују животни век опреме и смањују сигнал шума, уз директну контролу обртног момента. Фреквентни регулатори са управљивим исправљачима омогућавају рекулпацију енергије, односно пренос енергије у оба смера, од мреже према погону и од погона назад у мрежу. Ово је од посебног значаја у погонима где постоји значајна количина потенцијалне или кинетичке енергије која се под одређеним условима ослобађа, и њеним враћањем у мрежу се могу остварити значајне уштеде енергије. Фреквентна регулација повећава фактор искоришћења активне електричне снаге у мрежи и штити машине и мрежу од механичког оштећења и вибрација. Трачни транспортери нове генерације имају такозвани меки старт односно њихови мотори крећу полако у рад после стања мировања. Међутим и даље се користе

стари трачни транспортери који раде без фреквентне регулације. Стари транспортери раде трофазним моторима са краткоспојеним ротором или са трофазним моторима са упуштачима снаге. Ови мотори крећу из стања мировања у радно стање са великим механичким трзајем и вибрацијама тако што из мреже добијају трофазни напон 6000 VAC и краткотрајно повлаче из мреже велику струју величине од два до пет пута веће од номиналне или радне струје мотора. Транспортер се састоји од погонске станице, траке коју вуче погонска станица и повратног бубња. Опрема на погонској станици је груписана на више места, локација, ормана, електро ормана, електро просторија.

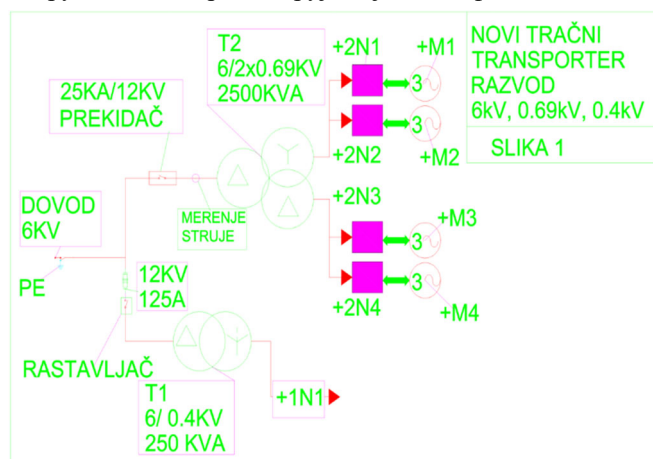
1. ОСНОВНИ ПОДАЦИ О ПРЕДУЗЕЋУ И ТЕХНОЛОШКОМ ПРОЦЕСУ

Привредна активност рударског басена Колубара заснива се на резервама лигнита у Колубарском угљеном басену који се налази 60 километара југозападно од Београда и простире се на површини од готово 600 квадратних километара. Од колубарског лигнита произведе се око 52 одсто електричне енергије у Србији.

2. НАПАЈАЊЕ ТРАЧНОГ ТРАНСПОРТЕРА НАПОНОМ 6 KV ИЗ ТРАФОСТАНИЦЕ 35 KV/6.3 KV

На слици 1, приказана је шема развода средњег напона 6 KV и ниског напона 0.4 KV и 0.69 KV на погонској станици. Средњи напон 6 kV се са улаза погонске станице води кабловима до примара трофазног трансформатора преносног односа 6kV/0.69kV и трофазног трансформатора 6 kV/0.4kV. Снага једног трансформатора је 2500 kVA а другог 250 kVA. Примар оба трансформатора је везан у троугао. Секундар трансформатора веће снаге има два секундара од којих је један везан у звезду а други у троугао. Излази трансформатора веће снаге се помоћу одговарајућих каблова воде на улазе ормана фреквентних регулатора означених као: +2N1, +2N2, +2N3, +2N4. Тронамотајни трансформатор снаге 2500 kVA је скупљи од двонамотајног трансформатора исте снаге, што је недостатак. Предност тронамотајног трансформатора је што фазно помера секундарни напон за 30 степени у односу на примарни напон и на тај начин смањује појаву виших хармоника на потрошачу. У напојној грани примара трансформатора мање снаге, постоје и осигурачи за заштиту примара трансформатора 6 kV/0.4kV. На шеми се виде инструменти

за мерење напона 6 kV, у појединим тачкама, и инструменти за мерење струје појединих фаза напона 6 kV.



СЛИКА 1-Развод средњег напона 6 kV и ниског напона 0.69 kV, 0.4 kV трачног транспортера.

3. СТАРИ ТРАЧНИ ТРАНСПОРТЕРИ

Стари трачни транспортери имају трофазне асинхроне моторе који се напајају са номиналним напонем 6000 VAC међуфазно. То су мотори снаге 400 KW

3.1 Мотори типа ZKN-6160/4s

Намотаји статора су везани у звезду. Називна струја мотора је 47 A. Фактор снаге $\cos(\phi)$ је 0.89. Степен корисног дејства је 92 %. Начин пуштања у рад мотора из мирног стања је директан, тренутним довођењем напона 6000 VAC на статор између сваке две фазе мотора. Тип уграђених термодавача је сонда Pt 100. Пошто мотори код трачних транспортера раде у паровима, по два мотора покрећу заједничку осовину која је везана механички са роторима мотора, напон 6000 VAC се доводи истовремено на оба мотора укључењем средњенапонског малоуљног прекидача називног напона 7.2 kV и струје 400 A. Сваки од поменутих мотора у пару има посебно реализовану релејну прекострујну заштиту J>. Ова заштита по потреби, искључи малоуљни прекидач на слици 2 означен са М.Р. Такође, средњенапонски осигурачи 6 kV штите моторе од превелике струје њиховим уметањем у три доводне фазе. Од пренапона 6000 VAC, средњенапонски мотори се штите помоћу одговарајућих одводника пренапона за овај напонски ниво. Одводници пренапона се везују на сваку фазу посебно између те фазе и земље. Стари трачни транспортери имају само мерења напона и струје са аналогним инструментима и немају дигитална мерења.

3.2 Мотори типа IPZ 6400 Sb-4

Термодавачи прате пораст температуре осетљивих делова електромотора: намотаја, лежачева, расхладног средства. Када се отпорни термометри користе за заштиту мотора, вредности промене температуре се морају пренети на одговарајући уређај за давање сигнала за аларм и искључење. Термисторска заштита штити трофазне кавезне моторе до називног напона 7 kV од недозвољеног загревања код прекида фазе мреже, код пренапона и смањења напона, код закоченог ротора, код дугачког залета или кочења, код погоршања услова хлађења, код повећане температуре

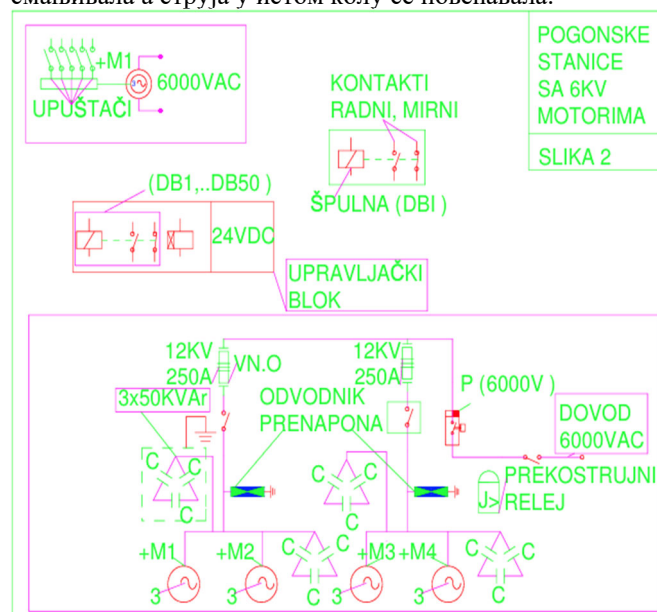
околичине, код великог броја укључења. Код старих мотора захтеви за смањење вибрација мотора у раду били су специјалан захтев за произвођача мотора. Код специјалних конструкција са посебним захтевима за старт мотора, преспајање звезде у троугао треба извршити тек онда када је мотор у споју звезда постигао номиналну брзину обртања.

3.2.1. Пуштање у рад клизнопрстенастих мотора

Пре покретања треба проверити:

1. налагање четкица на клизне прстенове
2. да ли ручица уређаја за кратко спајање ротора стоји у положају: полазак.
3. да ли се отпор упуштача налази у почетном положају (максимални отпор).

Покретање мотора треба вршити у правилним временским размацама променом вредности отпора у колу ротора. Мотори 6 kV са упуштачима су боље решење од мотора 6 kV са краткоспојеним ротором за стартовање мотора у рад из стања мировања зато што су мањи удари почетне струје мањи су механички удари и вибрације у старту мотора. На почетку старта мотора са упуштачима струја у колу ротора је најмања а отпорност кола ротора највећа, да би се у следећим фазама старта мотора отпорност у колу ротора смањивала а струја у истом колу се повећавала.

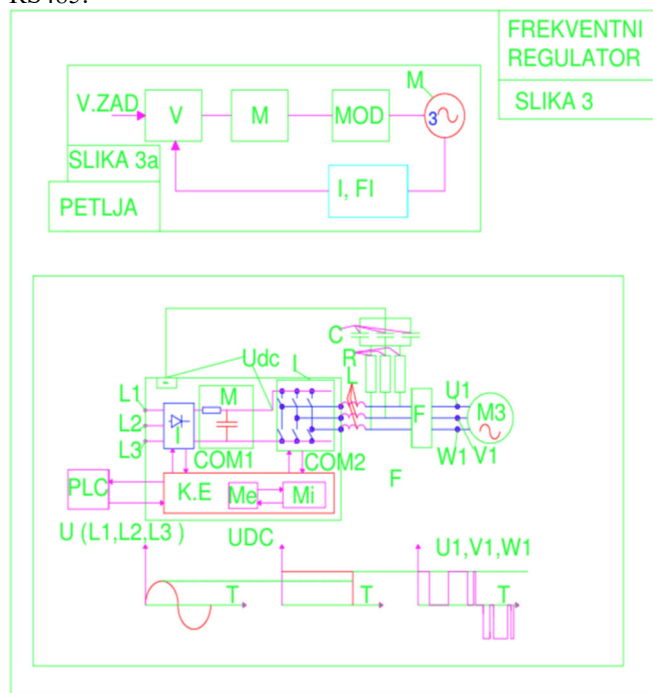


СЛИКА 2-Погонске станице са 6 kV са моторима

4. КОМУНИКАЦИОНА МРЕЖА ПРОФИБУС НА НОВОЈ ПОГОНСКОЈ СТАНИЦИ

На слици 4. приказана је профибус комуникација на погонској станици везног транспортера. Комуникација је остварена између рачунара-PLC, модула +1S1-A2, +1S1-A3, са једне стране, и локалних рачунара +4S1-A2, +4S2-A2, панела PLC рачунара +1S1-A10, панела средњег напона +1H3-F11, панела у кабини особља +3P1-A2, +3P1-A5, ормана фреквентних регулатора +2N1, +2N2, +2N3, +2N4. Ова комуникација се остварује помоћу профибус бакарног кабла 6XV1830-OLH10, са две бакарне жиле, профибус

пластичног оптичког кабла(FO) 6XV1821-OBV30 са два фибера унутар себе и 7 модула (OLMP12, OLMP11) који служе за конверзију електричног сигнала у оптички и обрнуто. Профибус мрежа је подељена на две: профибус мрежа 1: којој припада топологија мреже у комуникацији у прстену локалних рачунара и PLC рачунара, и профибус мрежа 2: којој припада топологија мреже у комуникацији звезде PLC рачунара и фреквентних регулатора. Оптичка веза погодује комуникацији због што је јефтинија, сигурнија због отпорности на електромагнетске сметње и знатно већег капацитета информација у односу на бакарне каблове. У употреби је профибус фиброоптички двожилини пластични кабл 6XV1821-OBV30 који је направљен да се користи до дужине 30 метара максимално. Пропусни опсег овог кабла на таласној дужини 650 нанометара је 1 GHz. То значи да кроз овај кабл може да прође око милијарду бита информације у једној секунди. Електрооптичка трансформација сигнала се реализује помоћу сименсових модула OLMP11 и OLMP12, који има један електрични интерфејс и један или два оптичка интерфејса за комуникацију редом. У примени је комуникациони профибус протокол RS485 за надгледање(мониторинг) и управљање процеса. Профибус комуникациони кабл се састоји из две танке бакарне жице и профибус конектора RS485.



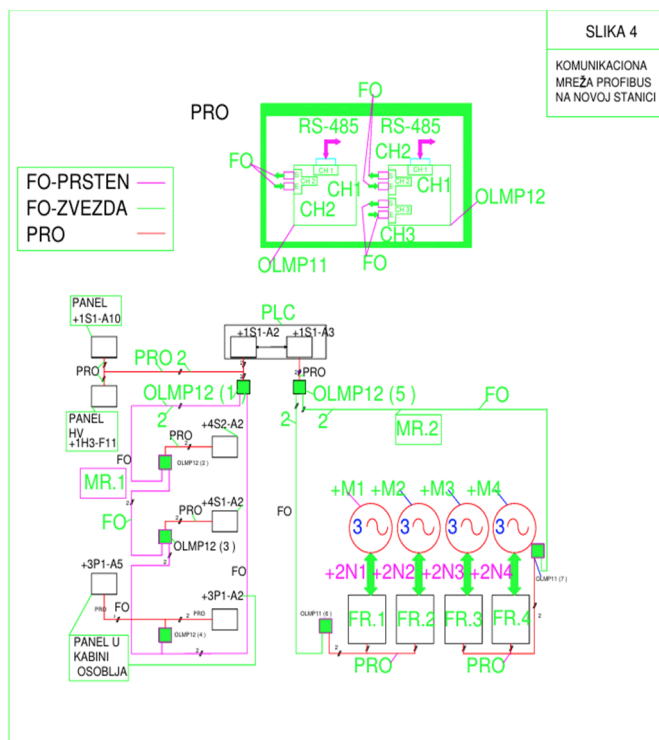
СЛИКА 3-Блок шема фреквентног регулатора

Локални рачунари сакупљају и чувају информације са сензора који су размештени на транспортеру. Ове информације се прослеђују PLC рачунару. PLC рачунар има одговарајући панел за приказ и читавање информација. Постоје електро ормани за управљачку опрему за горњи погон, доњи погон и кабину. У оквиру поменутих електро ормара се налазе рачунарски уређаји који сакупљају информације са одговарајућег погона и дела транспортера. Доњи модул +4S1, сакупља податке са доња два моторна погона M3 и M4, а горњи модул +4S2, сакупља податке са

горња два моторна погона M1 и M2. PLC рачунар и периферије имају одговарајуће адресе и параметре за међусобну комуникацију који су јединствени за конкретну мрежу. У меморију PLC рачунара налази се програм. PLC је реализован помоћу SIMATIC S7-300 модула а локални рачунари са SIMATIC ET 200M.

4.1.Управљање помоћу фреквентног регулатори класе ACS880-07(ABB)

Фреквентни регулатор има задатак да произведе напон напајања за мотор који је повезан на његове излазне прикључке. Тај напон је одговарајуће фреквенције, чиме се постиже брже или спорије окретање мотора. На слици 3 приказани су временски дијаграми напона на улазу у фреквентни регулатор, на излазу из међукола и на статорским прикључцима трофазног асинхроног мотора. На новим погонским станицама се налазе четири фреквентна регулатора, од којих сваки појединачно управља са једним погонским мотором снаге 500 kW. На улаз сваког фреквентног регулатора доводи се трофазни наизменични напон 690 VAC. Сваки фреквентни регулатор је смештен посебно у један од ормана +2N1, +2N2, +2N3, +2N4, и остварује комуникацију помоћи профибус мреже 2 са главним PLC рачунаром, као што је приказано на слици 4. Управљање фреквентним регулатором је аутоматско и зависи од програма који се налази PLC рачунару. Инвертор генерише фреквенцију напона на мотору. Инвертори са међуколом омогућавају редукацију виших хармоника, теоретски неограничену излазну фреквенцију, која је ограничена реалним карактеристикама прекидачких елемената Техника мењања ширине напонског импулса назива се импулсно ширинска модулација(PWM). Исправљач је спојен главним трофазним АС напајањем и генерише пулсирајући DC напон. Међуколо може да се представи као нека врста складишта из којег мотор вуче енергију кроз инвертор. Међуколо се састоји од кондензатора (филтра). Филтер поравнава пулсирајући напон који долазину његов улаз из исправљача. На слици 3 види се редна веза калемова отпорника и кондензатора која је повезана у грани повратне везе са излаза фреквентног регулатора на један од улаза фреквентног регулатора означеног са UDC-. Ова повратна веза служи да стабилише излазни напон регулатора али и као филтар да очисти излазни напон регулатора од сувише високих хармоника. Фреквентни регулатори контролишу брзину рада мотора мењањем фреквенције и ширине периоде побудног напона статора, пошто је фреквенција напонског импулса обрнуто сразмерна ширини периоде напонског импулса. Програм импулсне ширинске модулације о плану укључења и искључења транзисторских прекидача у инверторском блоку(фреквенцији комутације), налази се на слици 3 у блоку који се зове контролна електроника контрола мониторинг и комуникација. Фреквенција комутације инвертора мора бити добро изабрана, јер високе фреквенције могу довести до загревања мотора и великих пикова напона. Што је фреквенција прекидања већа већи су и губици. Са друге стране ниска фреквенција прекидања може довести до великог акустичког шума мотора.



СЛИКА 4-Комуникациона мрежа ПРОФИБУС на погонској станици.

Полазећи од блок шеме, фреквентни регулатор се састоји из неколико целина: 1. кола исправљача наизменичног у једносмерни напон, који има три улаза и један излаз; 2. L-C међукола за филтрирање које има један улаз и један излаз 3. Инвертора који се на слици састоји из шест временски управљаних прекидача, који на свом улазу добија једносмерни напон амплитуде $+U(+U, -U, 0)$, а на свом излазу даје низ ширински модулисаних импулса амплитуде: $+U, -U, 0$, који се појављују на три излаза U1, V1, W1 редом. 4. Блока контролне електронике који служи за контролу, мониторинг(надгледање) и комуникацију. Блок контролне електронике комуницира са PLC рачунаром и са исправљачем и са инвертором, који се налазе унутар фреквенцијског регулатора. На излазу из инвертора прикључује се трофазни асинхрони наизменични мотор. Користи се векторска регулација наизменичног електромоторног погона. У случају контролне петље фреквентног регулатора и наизменичног мотора са векторском контролом флукса користећи импулсну ширинску модулацију (PWM), обртни моменат је контролисан индиректно. На слици 3а приказана је блок шема контролне петље фреквентне регулације фреквентног регулатора у затвореној спреси са векторском контролом флукса користећи PWM. Темелј векторске регулације је математички модел мотора који обухвата статичка и динамичка стања електричних, магнетних и механичких појава у мотору. На почетку регулације, прво се генерише задата брзина мотора која се шаље на улаз блока контрола брзине V. На основу ове брзине се постиже нека брзина ротора асинхронног мотора. Информације о стању ротора у раду се добијају на основу брзине ротора и угаоне позиције ротора релативно у односу на поље статора помоћу

импулсног дигиталног енкодера. У блок контрола брзине долазе поменута жељена вредност угаоне брзине и измерена вредност стварне угаоне брзине ротора асинхронног мотора. Ове две брзине се пореде и на излазу овог блока се добија разлика одступања ове две брзине која се води на улаз блока контрола момента. На основу математичког модела мотора, користећи брзе микропроцесоре, на излазу блока контрола момента се срачунавају две струје, које се воде на улаз модулатора који у ствари представља фреквентни регулатор. Једна од ових струја је сразмерна жељеном електричном моменту мотора а друга струја је сразмерна жељеном флуксу. dU/dt филтер штити изолациони систем мотора смањењем брзине пораста напона на терминалима мотора. PT100 релеј се користи за мерење температуре мотора. Исправљачки степен блок шеме фреквентног регулатора са слике 3 се назива управљиви. Управљиви транзисторски исправљачи омогућавају рекуперацију енергије, односно пренос енергије у оба смера, од мреже према погону и од погона назад у мрежу са јединичним фактором снаге и малом струјом виших хармоника из мреже. Постоји могућност додавања отпорника за електрично кочење мотора за ослобађање енергије кочења на отпорнику. Систем за кочење није потребан ако се користи неки од управљивих исправљача. Коришћење тронамотајног трансформатора повећава цену електромоторног погона. Међутим, спрегом секундарних намотаја којом се остварује фазни померај секундарног напона за 30 степени, постиже се смањење изобличења струје у доводном воду. У сваком пару мотора постоји један мотор који управља радом другог мотора у том пару. Ово је познати MASTER-SLAVE принцип. Када крене мотор MASTER, онда крене и мотор SLAVE, у истом пару. Мотори M1 и M2 су један пар а мотори M3 и M4 су други пар. Савремене генерације претварача располажу интегрисаним алгоритмима за самостално параметрирање регулатора. PID регулатор брзине је неопходан код фреквентних регулатора. Сваки од фреквентних регулатора $+2N1, +2N2, +2N3, +2N4$ има свој посебан дисплеј са тастатуром. На слици 4 види се да фреквентни регулатори у ормарима $+2N1$ и $+2N2$ комуницирају преко једног а фреквентни регулатори у ормарима $+2N3$ и $+2N4$ комуницирају преко другог профибус кабла са PLC рачунаром $+1S1-A3$. Постоје велике могућности командовања и надзора фреквентним претварача. Трофазни асинхрони мотори са фреквентном регулацијом се одликују повећаним нивоом изолације намотаја. Појачање изолације је неопходно због повећања максималне вредности напона на мотору у појединим режимима рада, нарочито код електричног кочења, као и због велике вредности du/dt услед комутације у претварачима. Температура мотора се одређује непосредним мерењем помоћу PT100 сонде или се израчунава на основу термичког модела који је интегрисан у процесору.

II ЗАКЉУЧАК:

У раду су приказани су стари и нови трачни транспортери и проблеми који су везан за њихов рад. Мотори 6 kV на старим транспортерима са упуштацима су боље решење од

мотора 6 kV са краткоспојеним ротором за стартовање мотора у рад из стања мировања зато што су мањи удари почетне струје мањи су механички удари и вибрације и у напојној мрежи и погонској станици при старту мотора. Трачни транспортери нове генерације имају такозвани меки старт односно њихови мотори крећу полако у рад после стања мировања. Асинхрони мотори на новим станицама су фреквентно контролисани. Управљачки уређај на новим трачним транспортерима су PLC индустријски рачунари који имају у себи уписан управљачки програм. Овакви програми замењују најмање 30 управљачких контактних релеја већи број временских релеја и комплетно ожичење између њих на старим трачним транспортерима. Ово је знатно боља ситуација на новим транспортерима за превенцију квара. Хардверске компоненте су замењене одговарајућим софтверским решењима. Употреба микропроцесора и дигиталних меморија даје знатно већу могућност комуникације и управљања између PLC-а и фреквентних регулатора на новим погонским станицама. PWM је нова техника управљања мотором помоћу импулсно ширинске модулације. Постоји контролна петља за управљање фреквентним регулатором. Користи се векторска контрола флуksа. Фреквентна регулација штити мрежу и погонску станицу превентивно од великих струјних удара. Предност нових станица је у томе што оне могу да раде у генераторском режиму рада где се механичка енергија транспортера враћа у мрежу када се моторима који раде под напоном искључи напајање.

СПИСАК КОРИШЋЕНЕ ЛИТЕРАТУРЕ ПРОЈЕКТА СТАНДАРДА И ПРОПИСА

- [1] Збирка прописа из рударства - Савез инжењера и техничара Србије(СИТС), Кнеза Милоша 7, Београд 2010. год.
- [2] Правилник о техничким нормативима за електрична постројења и уређаје у рудницима са површинском експлоатацијом минералних сировина. Службени гласник СФРЈ. Бр. 66/87 и 16/92 у службеном гласнику РС, бр. 37/2009.
- [3] Hardware manual ACS880-07(560 KW to 2800 KW) drives (ABB industrial drives)
- [4] ACS880-07 drives (45 to 710 kW, 50 to 700 hp) hardware manual-ABB
- [5] Сименсови фреквентни регулатори-SIEMENS SINAMICS G150

Abstract:

The belt conveyor consists of a drive station, a belt pulled by the drive station and a return drum. The drive station has four motors that pull the belt. The new belt conveyors are implemented with frequency regulators, have a gradual increase in current at the start of the station and have Profibus communication. Old belt conveyors have a problem that when they start up, they draw from the network two to five times more current than their nominal or operating current and have significant mechanical vibrations during operation, especially when they start moving. The PLC is a SIMATIC S7-300 module and the local computers are SIMATIC ET 200M. The ACS880-ABB 705 kVA class frequency converter produces a variable voltage using PWM technology for the motor connected to its output terminals. Frequency regulation increases the utilization factor of active electrical power in the network and protects the machines and the network from mechanical damage from vibrations and electrical surges. The new stations are connected to the control software and the dynamic model of the motor.

Key words-Belt conveyors, PLC, Frequency regulation, control software.

FREQUENCY CONTROLLED CONVEYORS AT THE SURFACE MINE KOLUBARA COAL-

BRANIMIR DAVIDOVIĆ