

Regulisani pogon radnog elementa bagera vedričara ERs710

Neša Rašić*, Aleksandra Grujić*, Ivana Vlajić Naumovska*, Milan Ivezić*, Milan Bebić**

* Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva

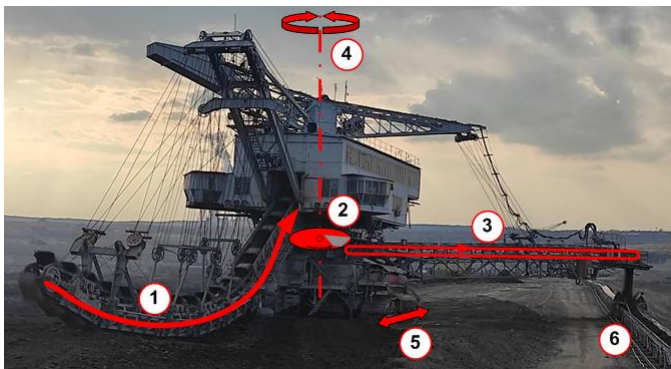
** Elektrotehnički fakultet Beograd

Rezime - Do postizanja zacrtanog cilja o potpunom prelasku na obnovljive izvore energije mora se voditi računa o zadovoljenju trenutnih potreba za energijom. Od ukupno proizvedene električne energije u Republici Srbiji u 2022. godini više od 68% čini energija dobijena u termoelektranama. Ovaj podatak jasno ukazuje na neophodnost očuvanja i produženja životnog veka postojećih energetskih postrojenja, u okviru kojih spadaju i rudarske mašine - bageri, za otkopavanje otkrivke i uglja, koje rade na površinskim kopovima. U radu je prikazana modernizacija pogona radnog elementa bagera vedričara.

Ključne reči - bager vedričar, asinhroni motor, frekventni pretvarač, modernizacija

I UVOD

Bager ERs710 spada u kategoriju bagera vedričara, prvenstveno namenjena za kopanje ispod planuma, ali i iznad. Prva velika primena ovog tipa bagera je bila na otkopavanju Suetskog kanala. Materijal se otkopava vedricama koje su okačene o dva beskonačna lanca koja se kreću po nosaču lanca. Vedrice se pune prilikom njihovog pokretanja od donje do gornje ivice kosine - etaže. Napunjene vedrice prosleđuju materijal preko "obrotnog tanjira" do predajnog transportera sa koga se materijal dalje transportuje do ostalih mašina BTO (ili BTD) sistema [1].



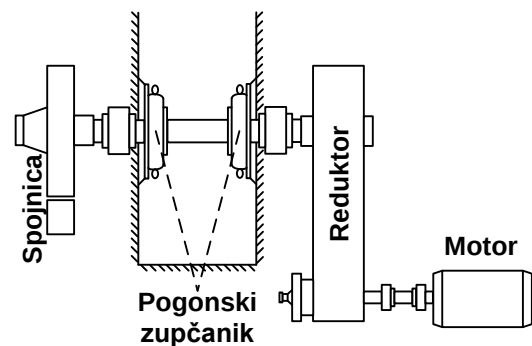
Slika 1. Bager vedričar sa prikazom osnovnih radnih elemenata, 1 - radni element (lanac vedrica), 2 - obrtni tanjir, 3 - istovarna traka, 4 - okret bagera, 5 - transport bagera, 6 - BTO(D) sistem

Osnovna prednost bagera vedričara, u odnosu na druge vrste bagera, je mogućnost kopanja pod bilo kojim uglom kosine - etaže i mogućnost tzv. selektivnog kopanja [2]. Ove osobine su važne kod kopanja kada postoje ugljeni proslojci i zaleganje (promena visine) ležišta što je karakteristika površinskih kopova u Srbiji.

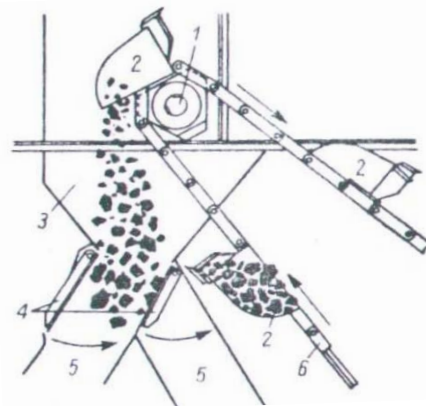
Na slici 1. prikazan je izgled bagera vedričara ERs710 na PK Drmno (710 - zapremina jedne vedrice u litrima) sa osvrtom na osnovne radne ose i pogone transportnog puta materijala. Bager se sastoji od donjeg i gornjeg dela bagera. Donji deo bagera oslonjen je na gusenični transportni uređaj, a gornji deo bagera odvojen je od donjeg dela posredstvom obrtnog postolja koje se može okretati sa gornjim delom bagera za 270 stepeni.

II OSNOVE MEHANIZMA RADNOG ELEMENTA BAGERA VEDRIČARA

Radni element bagera čini lančanik sa vedricama. Elektromotor smešten sa jedne strane pogonske osovine preko reduktora i pneumatske spojnice pokreće šestougaoni pogonski zupčanik (turas). Brzina lanca sa vedricama je između 1 i 1,6 m/s. Na slici 2. prikazane su osnove mehanizma radnog elementa. Slika 3. prikazuje način funkcionisanja mehanizma radnog elementa (lanca vedrica) [1].



Slika 2. Osnove mehanizma radnog elementa na bageru ERs710



Slika 3. Funkcionisanje mehanizma radnog elementa [1]
1 - pogonski zupčanik, 2 - vedrice, 3 - pretovarni bunker, 4, 5 - usmeravanje materijala, 6 - lanac

Osnovna komponenta mehanizma koja ima dominantan uticaj na karakter opterećenja je šestougaoni pogonski zupčanik. Pri prelasku vedrice preko najviše tačke zupčanika njena težina menja znak momenta opterećenja u Njutnovoj jednačini, iz plusa u minus. Taj uticaj će biti jasno vidljiv kod prikaza pogonskih veličina (struje rotora i moment motora) pre i posle modernizacije, i to od svake vedrice pojedinačno [3].

III ELEKTROMOTorni POGON RADNOG ELEMENTA BAGERA VEDRIČARA, PRE MODERNIZACIJE

U periodu pre modernizacije za pokretanje radnog elementa bagera korišten je asinhroni motor sa namotanim rotorom, sledećih nominalnih podataka:

- nominalna snaga: 450 kW,
- nominalni napon statora: 6 kV,
- nominalna struja statora: 63 A,
- nominalni faktor snage: 0.74,
- nominalna brzina motora: 739 o/min,
- napon rotora: 680 V,
- struja rotora: 410 A

Na slici 3. prikazana je konfiguracija elektro dela pogona radnog elementa na bageru.

Motor se napajao iz sredjenaponskog (6kV) postrojenja bagera preko prekidača kojim se upravljalo digitalnim signalima generisanim u upravljačkom sistemu bagera koji je realizovan uz upotrebu PLC i odgovarajućih I/O modula.

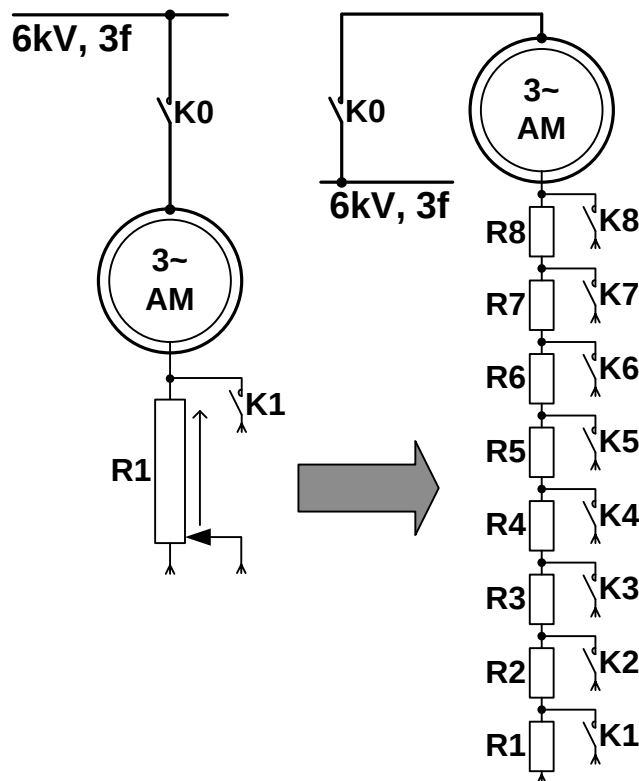
Rotorski namotaj elektromotora nakon puštanja bagera u rad bio je povezan sa tzv. tečnim upuštačem kao dodatnim otporom u kolu rotora motora. Ovo rešenje omogućilo je lagano pokretanje mehanizma lanca vedrica odmah nakon uključenja motora, uz uslov da je koncentracija rastvora tečnog upuštača odgovarajuća. Drugi uslov za ovakvo pokretanje je ispravnost kretnog mehanizma tečnog upuštača. Ispravnost je značila da su elektrode upuštača u trenutku pokretanja u svojim početnim položajima, a dalje njihovo kretanje je ravnomerno do dostizanja krajnjeg položaja. Ravnomernim kretanjem elektroda se obezbeđuje ravnomerno smanjenje dodatog otpora u kolu rotora motora, od maksimalnog do nultog. Dostizanjem krajnjih položaja elektroda završava se proces starta pogona, i tada preko kontaktora K1 na slici 4. - levo, motor nastavlja da radi bez dodatog otpora u kolu rotora, odnosno prelazi na svoju prirodnu mehaničku karakteristiku.

Zbog nemogućnosti održavanja tečnog upuštača u ispravnom stanju, izvršena je njegova zamena "suvim" rotorskim upuštačem sa kontaktorima [4].

Suvi rotorski upuštač je projektovan tako da struja motora u procesu zaletanja ne pređe vrednost nominalne struje motora [5]. U svakoj fazi namotaja rotora dodat je otpor ukupne vrednosti 0,958 (Ω) koji se diskontinualno - skokovito smanjuje na nultu vrednost, uključenjem kontaktora K1 do K8, kako je prikazano na slici 4. - desno. Uključenjem kontaktora K8 završava se proces starta pogona, i motor nastavlja da radi bez dodatog otpora u kolu rotora, odnosno prelazi na svoju prirodnu mehaničku karakteristiku.

Prema preporukama projektanta rotorskog upuštača sekvence

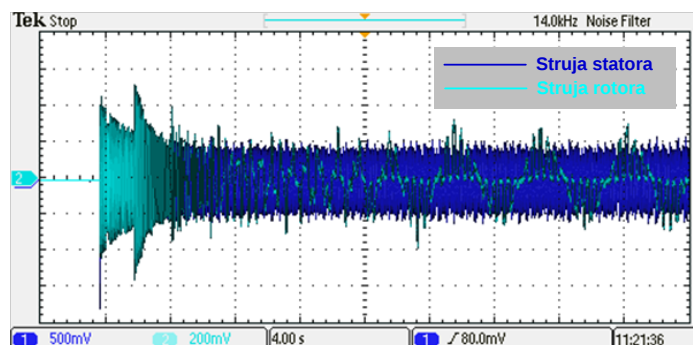
isključenja delova dodatog rotorskog otpora ponavljaju se na svakih 2,25 (s) od trenutka uključenja motora. Kako upuštač ima ukupno osam segmenata dodatog otpora, ukupno vreme starta motora je $8 \times 2,25 = 18$ (s).



Slika 4. Konfiguracija elektro dela pogona pre modernizacije, levo - kod puštanja bagera u rad, desno - sa suvim rotorskim upuštačem

IV PRIKAZ I ANALIZA MERENIH ELEKTRIČNIH VELIČINA SA SUVIM ROTORSKIM UPUŠTAČEM, PRE MODERNIZACIJE

Merenje je izvršeno uz upotrebu odgovarajućih strujnih sondi i četvero-kanalnog digitalnog memorijskog osciloskopa.



Slika 5. Start i rad pogona radnog elementa sa iskapanim materijalom

Za merenje struje statora korišćena je merna sonda na bazi Hall-ovog efekta postavljena na sekundarnoj strani strujnog mernog transformatora prenosnog odnosa 50/5 (A). Izabrani prenosni

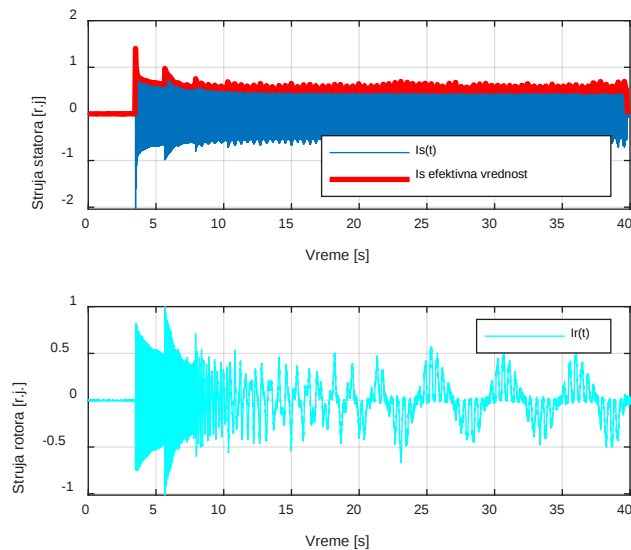
odnos sonde za merenje struje statora je 1 (A)/100 (mV).

Fazne struje rotora su merene drugom strujnom sondom na bazi Hall-ovog efekta za merenje naizmenične i jednosmerne struje. Prenosni odnos sonde za merenje struje rotora je 1 (A)/1 (mV). Sonda je postavljena tako da obuhvati provodnik kojim je namotaj rotora motora povezan sa rotorskim upuštačem.

Na slici 5. prikazane su trenutne vrednosti struja faza L1 statorskog i rotorskog namotaja, pri startu i radu pogona sa materijalom. Korišćene su gore navedene skale za merne sonde i strujne merne transformatore.

Podaci o statorskoj i rotorskoj struji su preuzeti u digitalnoj formi zapisa sa osciloskopa za dalju obradu. Dobijeni rezultati predstavljaju trenutne vrednosti statorske i rotorske struje. Statorska struja je konstantne učestanosti i računskim putem određene su njena efektivna vrednost i relativna vrednost u odnosu na nominalnu struju u toku procesa zaletanja. Rotorska struja je promenljive učestanosti u toku starta pogona, pa se definicija za efektivnu vrednost ne može primeniti.

Za potrebe određivanja trenutne brzine pogona iskorišćena je promenljiva učestanost signala rotorske struje. U tom cilju urađena je analiza spektra (brza Fourier-ova transformacija) signala po segmentima u vremenu. Ovakva analiza je poznata i kao „Time-frequency analysis“ [7, 8]. Korišćen je vremenski segment signala trajanja 0,5 (s), što odgovara učestanosti od 2 (Hz). Tokom zaleta motora, početna učestanost rotorske struje je 50 (Hz) (rotor stoji) i kako se brzina povećava, rotorska učestanost se smanjuje. Učestanost statorske struje je 50 (Hz).

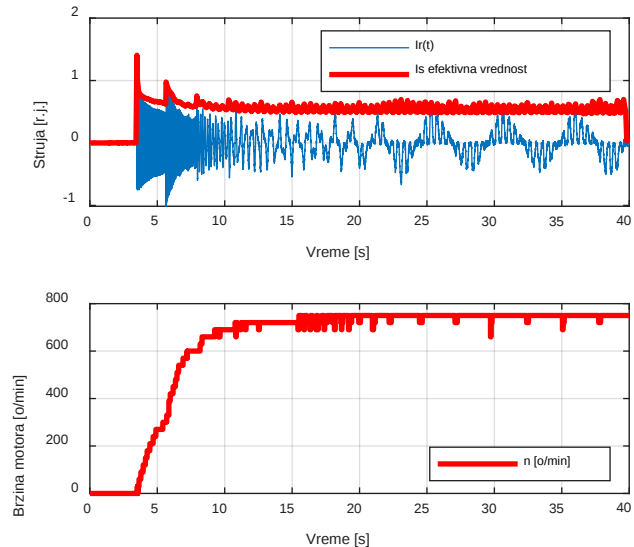


Slika 6. Gornji grafikon - računate relativne vrednosti statorske struje, donji grafikon - računata relativna vrednost rotorske struje

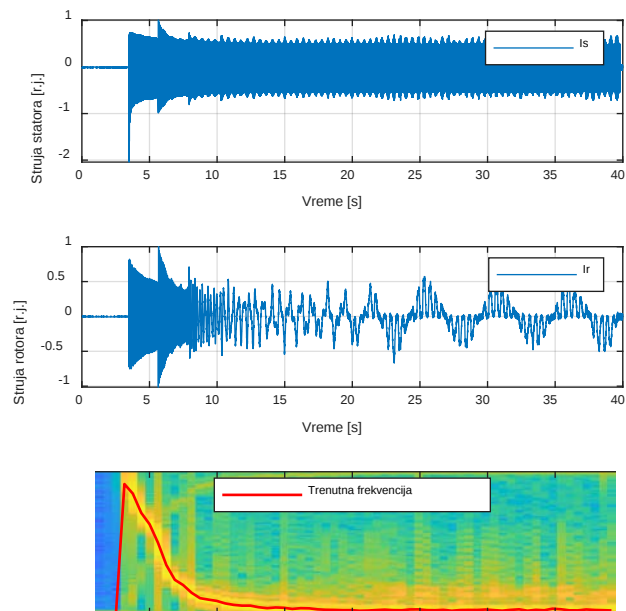
Na slici 6. prikazane su računate vrednosti u režimu starta sa materijalom. Relativne vrednosti statorskih i rotorskih struja su računate u odnosu na njihove nominalne vrednosti. Trenutne vrednosti struje statora i rotora su skalirane u odnosu na vršnu vrednost struje $I_n \cdot \sqrt{2}$, a izračunata efektivna vrednost je skalirana prema nominalnoj (efektivnoj) vrednosti struje – sa pločice motora. Nominalnoj vrednosti struje u relativnim

jedinicama (r.j.) tako odgovara vrednost 1 (jedan), bez obzira da li je prikazana trenutna ili efektivna vrednost.

Na slici 7. prikazane su struje statora (efektivna vrednost) i rotora (trenutna vrednost) zajedno sa računatom vrednošću brzine motora urađena primenom gore opisane metode u režimu starta i rada sa materijalom.



Slika 7. Gornji grafikon - Računate relativne vrednosti statorske i rotorske struje, donji grafikon - računata brzina obrtanja motora



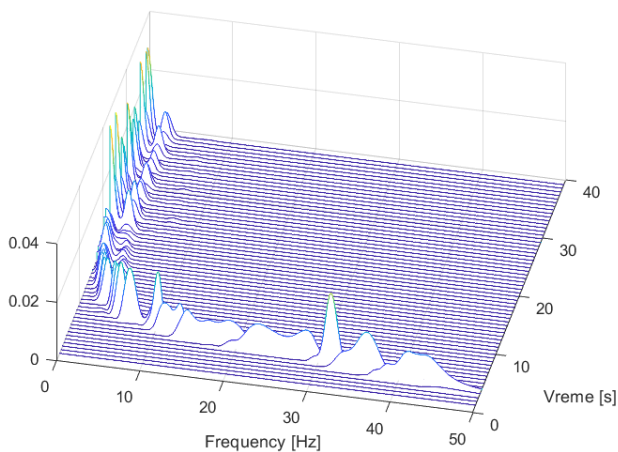
Slika 8. Rezultati frekventne analize sa naznačenom trenutnom frekvencijom rotorske struje

Analizom prikazanih merenih i računatih rezultata može se videti da struje statora i rotora u toku starta pogona ne prelaze njihove nominalne vrednosti što dokazuje da je suvi rotorski upuštač ispravno projektovan sa stanovišta optimalnog strujnog

opterećenja pogonskog motora. Takođe, iz dobijenih rezultata vidi se da proces zaletanja motora traje oko 5 (s). Zbog nepostojanja odgovarajuće tehničke dokumentacije nije bilo moguće porediti vreme trajanja procesa zaletanja sa tečnim upuštačem prema preporukama proizvođača bagera.

Na slici 8. prikazan je rezultat frekventne analize signala rotorske struje uporedo sa snimljenim trenutnim vrednostima struja. Na vremenskom dijagramu rotorske struje može se uočiti promena učestanosti tokom zaletanja. U ustaljenom stanju na kraju snimka vide se dve dominantne učestanosti. Manja učestanost odgovara učestanosti rotorske struje, dok veća učestanost potiče od promene opterećenja čiji je uzrok rad mehanizma radnog elementa opisanog u poglavlju II.

Drugačiji prikaz rezultata frekventne analize (waterfall diagram) prikazan je na slici 9. Svaka linija na dijagramu predstavlja spektar signala rotorske struje u odgovarajućem trenutku u vremenu. Ovakav prikaz jasno pokazuje pomeranje dominantnog harmonika u signalu rotorske struje u toku ubrzanja. Na kraju perioda ubrzanja (posle 15 s) izražena su dva harmonika u signalu, jedan na učestanosti struje rotora a drugi na učestanosti oscilacija opterećenja koje potiče od radnog mehanizma.



Slika 9. Rezultati frekventne analize signala rotorske struje - waterfall diagram

U periodu nakon ugradnje suvog rotorskog upuštača od strane službe mašinskog održavanja bilo je više dopisa o štetnom uticaju zaletanja pogona sa naglim promenama struje, odnosno momenta motora na mehaničke komponente pogonskog mehanizma.

Zaletanje radnog elementa, odnosno vrednost ugaonog ubrzanja (α), prema Njutnovoј jednačini rezultat je uzajamnog delovanja tri komponente: m_e - pogonskog momenta elektromotora, m_m - ukupnog momenta opterećenja pogonskog mehanizma (trenja i mehanički gubici, koji zavise od težina vedrica, količine materijala koji se otkopava i dr.) i ΣJ - ukupne inercije pogona, motora, reduktora i pogonskog mehanizma [5].

Kako se na inerciju pogonskog mehanizma i moment opterećenja ne može uticati, jedina mogućnost koja postoji jeste uticaj na moment pogonskog motora. Zbog promenljivih uslova mehaničkog opterećenja, praktično je nemoguće analitički

odrediti koliki bi trebao da bude taj momenat da bi se ostvarilo potrebno/željeno ubrzanje, odnosno trajanje zaletanja.

Sa druge strane, poznato je da se najbolje performanse pogona ostvaruju primenom elektromotornih pogona sa asinhronim motorima napajanim i upravljanim iz frekventnih pretvarača. Kontrola momenta ostvarena primenom naprednih algoritama upravljanja motorom (Direktna kontrola momenta – DTC ili vektorsko upravljanje) uz ispravno podešene parametre pretvarača, garantuju smanjeno naprezanje mehaničkih komponenti u pogonu, ograničenje momenta i u toku zaletanja i u toku rada, i zaštitu motora od preopterećenja, kratkog spoja, prenapona i drugog.

Rešenje sa niskonaponskim asinhronim motorom i odgovarajućim frekventnim pretvaračem pažljivo je isplanirano, sagledani su svi troškovi i pristupilo se realizaciji čiji su detalji dati u nastavku ovog rada.

V OPIS REALIZOVANOG POGONA RADNOG ELEMENTA BAGERA VEDRIČARA SA FREKVENTNIM PRETVARAČEM

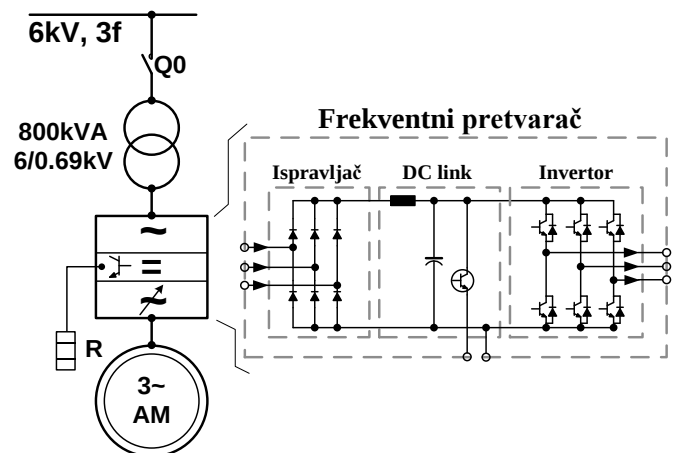
Na pogonu radnog elementa bagera vedričara ERs710 na površinskom kopu Drmno postojeći pogon zamenjen je 2023. godine novim sa kaveznim asinhronim motorom napajanim iz frekventnog pretvarača [8]. Osnovni podaci ovog pogona su:

Motor

- nominalna snaga: 630 (kW),
- nominalni napon: 690 (V),
- nominalna struja: 670 (A),
- nominalna brzina: 745 (o/min),
- nominalni moment: 8075 (Nm),
- kontrola temperature namotaja: DA, Pt100 sonda,
- kontrola temperature ležajeva: DA, Pt100 sonda.

Frekventni pretvarač

- nominalna snaga: 710 (kW),
- nominalni napon: 690 (V),
- nominalna struja: 721 (A),
- čoper: DA integrisani u modul frekventnog pretvarača,
- kočioni otpornik: DA eksterni, 2 (Ω), 7200 (kJ).



Slika 10. Konfiguracija pogona radnog elementa sa kaveznim asinhronim motorom napajanim iz frekventnog pretvarača

Za obezbeđenje potrebnog napona 690 (V) za rad pogona postavljen je transformator nominalne snage 800 (kVA), prenosnog odnosa 6/0,69 (kV), sprege Dyn5. Ranije korišćeni izvod srednjenaponskog (6kV) postrojenja bagera za napajanje motora, iskorišćen je za napajanje transformatora.

Na slici 10. prikazana je konfiguracija realizovanog pogona radnog elementa bagera.

Modernizovani pogon radnog elementa mora da obezbedi sve tehnološke zahteve rudarske službe i službe održavanja, uključujući i servisni režim rada (provlačenja lanca, zamena vedrica i dr.) Originalno tehničko rešenje je za servisni režim podrazumevalo upotrebu pomoćnog pogona radnog elementa.

Pošto modernizovani pogon može da obezbedi rad na manjoj brzini od nominalne, odlučeno je da se pomoćni pogon izbací. Rad motora sa sopstvenim hlađenjem na manjim brzinama, između ostalog, karakteriše se i pogoršanim uslovima hlađenja, zbog čega je izabran motor veće nominalne snage od originalnog pogona. Upotreba motora sa prinudnim hlađenjem u aplikacijama na rudarskim mašinama (bagerima) je nepopularna zbog uslova u kojima motori rade, nešto složenije konstrukcije motora i otežanim uslovima održavanja.

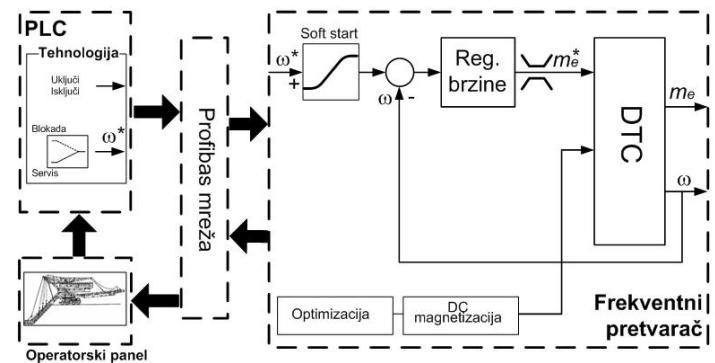
Frekventni pretvarač je kompaktne izvedbe što znači da su sve osnovne komponente, ispravljač, jednosmerno međukolo i inverter smešteni u jedno kućište. Kako se radi o pogonu kod koga se ne očekuje potreba za rekuperacijom energije ispravljač je trofazni diodni most. U jednosmernom međukolu dodata je opcionalna čoperska jedinica na čijim se priključcima povezuje spoljni otpornik za kočenje. Korišćenjem čopera i otpornika za kočenje frekventnom pretvaraču se omogućuje da razvije negativan moment dovoljan za usporenje sa potrebnim koeficijentom usporenja.

Primenjena kontrola motora kod izabranog frekventnog pretvarača je DTC (Direct Torque Control), direktna kontrola momenta [9]. Poluprovodničkim prekidačima u invertorskom delu upravlja se sa ciljem ostvarenja potrebnog statorskog fluksa i momenta motora. Referentna vrednost potrebnog momenta dobija se iz regulatora brzine ili direktno iz spoljašnjeg izvora referentnog momenta. Statorski fluks u najvećem broju aplikacija održava se na nominalnoj vrednosti, osim u aplikacijama kada se želi optimizacija utrošene energije i kada opterećenje pogona to dozvoljava.

U algoritmu upravljanja frekventnog pretvarača integrisane su sve upravljačke i zaštitne funkcije neophodne za pogon radnog elementa bagera, a one su:

- potrebna tačnost održavanja brzine, bez senzora na vratilu motora
- mogućnost definisanja vrednosti i karaktera koeficijenata ubrzanja/usporenja (trajanje i oblik rampe),
- efikasan sistem ograničenja (limitiranja) momenta,
- zaštite od svih vrsta električnih kvarova (kratak spoj, prekid faze i sl.),
- adekvatan softverski alat za konfigurisanje i održavanje frekventnih pretvarača (Drive composer pro, pomoću koga su snimljene veličine prikazane u nastavku ovog rada).

Za potrebe integracije izabranog frekventnog pretvarača u upravljački sistem bagera korišćen je opcioni adapter. Rad adaptera se zasniva na komunikacijskom interfejsu PROFIBUS DP koji koristi i PLC, kao osnovna komponenta upravljačkog sistema bagera. Komande uključivanja/isključivanja kao i referentna brzina frekventnom pretvaraču prosleđuju se putem PROFIBUS DP mreže. Referentna brzina pogona koja se prosleđuje frekventnom pretvaraču generiše se u sistemu upravljanja bagerom u zavisnosti od režima rada pogona radnog elementa. U servisnom režimu rada pogona rukovaoc bagerom preko operatorskog panela može zadati željenu brzinu, dok u tzv. blokadnom režimu rada referentna brzina pogona određena je tehnološkim zahtevima rada bagera. Na slici 11. prikazan je uprošćeni funkcionalni blok dijagram upravljanja frekventnim pretvaračem pogona radnog elementa bagera vedričara.



Slika 11. Uprošćeni blok dijagram upravljanja frekventnim pretvaračem pogona radnog elementa na bageru

VI PRIKAZ I ANALIZA MERENIH ELEKTRIČNIH VELIČINA POGONA RADNOG ELEMENTA SA FREKVENTNIM PRETVARAČEM

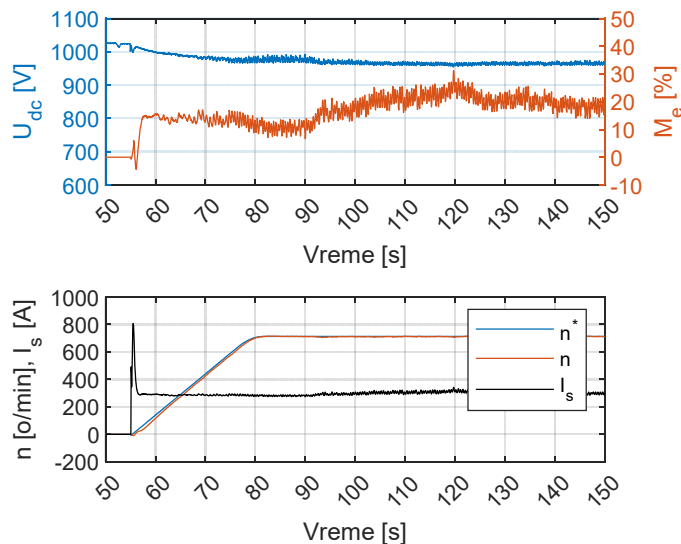
U izabranom frekventnom pretvaraču standardno su integrisani sistemi za merenje napona jednosmernog kola i struje motora. Na osnovu ovih izmerenih veličina računaju se vrednosti napona mreže i motora. Takođe, na osnovu dinamičkog modela motora može se izračunati moment motora u procentima od nominalne vrednosti. Neophodni podaci za dinamički model motora jednim delom se unose preko skupa parametara u frekventnom pretvaraču, a većim delom se određuju u toku rutine identifikacije motora (ID run). Dinamički model omogućava i izračunavanje estimirane brzine na osnovu merenih električnih veličina (speed sensor-less) kada se ne koristi davač na vratilu motora (enkoder), što je slučaj u modernizovanom pogonu. Pretvarač omogućuje akviziciju direktnog merenja njegove interne temperature, kao i temperature namotaja i ležajeva motora pomoću termo-sondi.

Mernu opremu korišćenu za verifikaciju performansi modernizovanog pogona čine:

- PC računar sa instaliranim softverom Drive composer pro, koji se koristi za konfigurisanje i praćenje rada frekventnog pretvarača,
- hardver, kabl za komunikaciju PC računara i frekventnog pretvarača.

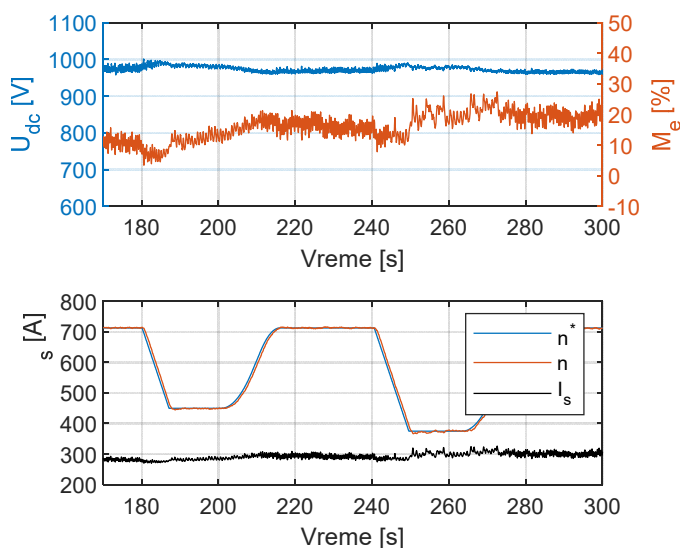
Na slici 12. prikazane su karakteristične veličine u toku pokretanja radnog elementa bagera vedričara. U periodu od trenutka porasta struje do početka porasta momenta motora, koji

ovde traje oko 2 (s) vrši se magnetizacija motora, odnosno uspostavljanje nominalnog fluksa motora. Tek posle magnetizacije motora, odnosno po uspostavljenom magnetnom polju u motoru, uspostavlja se moment i pogon kreće. Ubrzanje pogona je sa stalnim ubrzanjem definisanim parametrima koji određuju dužinu i oblik rampe.

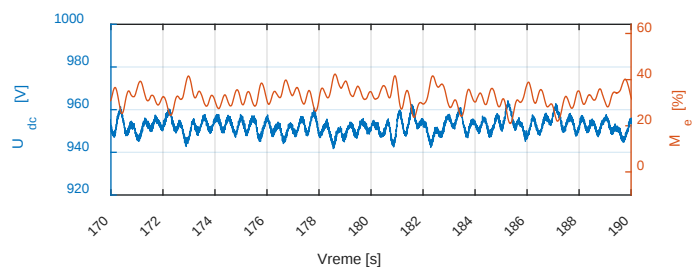


Slika 12. Vremenski dijagrami karakterističnih veličina pogona u toku pokretanja radnog elementa bagera verđičara

Na slici 13. posle dostizanja nominalne brzine od 745 (o/min) izvršeno je nekoliko smanjenja i povećanja zadate brzine pogona. Za podešenu vrednost ubrzanja i usporenja dinamička komponenta momenta ima malu vrednost. Podešene vrednosti trajanja ubrzanja i usporenja ne utiču na tehnološke karakteristike bagera ali značajno smanjuju naprezanja mehanizma radnog elementa.



Slika 13. Promena brzine radnog elementa bagera verđičara



Slika 14. Prikaz uticaja načina rada mehanizma na moment motora i napon jednosmernog međukola u pogonu sa frekventnim pretvaračem

Uticaj načina rada mehanizma na moment motora i napon jednosmernog međukola u pogonu sa frekventnim pretvaračem prikazan je na slici 14. Periodična varijacija napona jednosmernog međukola služi za privremeno skladištenje energije zbog promenljivog momenta opterećenja. Na taj način se smanjuje negativan uticaj radnog mehanizma na napojnu mrežu bagera.

VIII ZAKLJUČAK

Cilj rada je da se istakne značaj očuvanja i eventualnog produženja životnog veka postojećih postrojenja u fazi energetske tranzicije do potpunog prelaska na obnovljive energetske izvore. Svakako u okviru takvih aktivnosti treba težiti ka rešenjima koja će kroz primenu istovremeno ispunjavati opšte prihvaćene ciljeve o energetske efikasnosti i visoke pouzdanosti, uz izbor opreme koja će biti dostupna na tržištu u očekivanom periodu eksploatacije.

U radu je prikazana modernizacija pogona radnog elementa bagera verđičara. Posle uvodnog poglavlja prikazan je mehanizam radnog elementa i razmatran je njegov uticaj na rad elektromotornog pogona. Sledeći deo rada opisuje originalno rešenje sa sredjenaponskim pokretačkim motorom nakon čega su dati rezultati merenja pre modernizacije. Realizovan modernizovan pogon radnog elementa bagera verđičara sa frekventnim pretvaračem opisan je u petom poglavlju nakon čega je dat prikaz i analiza merenih veličina pogona nakon modernizacije.

Pored navedenih prednosti primene modernih pogona postignuto je i poboljšanje faktora snage celog bagera i umanjen je uticaj periodičnih promena opterećenja iz mehaničkog podsistema na napojnu mrežu.

Kontrolisano ubrzanje i ograničenje momenta motora obezbeđuje manje naprezanje mehaničkog podsistema.

U periodu od modernizacije do danas, broj i trajanja zastoja zbog pogona radnog elementa bagera je bio zanemariv, što potvrđuje ispravnost odluke rukovodstva da se izvrši modernizacija.

LITERATURA/REFERENCES

- [1] Ignjatović, D. *Rudarske mašine II deo*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2011
- [2] Bager verđičar, <https://rudarbalkan.blogspot.com/2016/02/ukratko-o-bageru-verdicaru.html> [pristupljeno 14.3.2024]

- [3] Kunze, G., Göhring, H., Jacob, K. *Baumaschinen Erdbau- und Tagebaumaschinen*, Praxis, ViewegTeubner, 2009.
- [4] Jovančić, P. *Održavanje rudarskih mašina*, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, 2014.
- [5] Leonhard, W. *Control of Electrical Drives*, Springer-Verlag, Berlin, N. York, 1985.
- [6] Cohen, L. Time-frequency distributions-a review, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 77, No. 7, pp. 941-981, 2002. <https://doi.org/10.1109/5.30749>
- [7] Cohen, L. *Time-frequency analysis*, Prentice-Hall PTR, 1995
- [8] ABB industrial drives, ACS880, single drives 0.55 to 6000 kW Catalogue, 2024. <https://www.abb.com/global/en/product/drives/low-voltage-ac-drives/industrial-drives/acs880-single-drives> [pristupljeno 14.3.2024]
- [9] ABB DRIVES, *Technical guide book*, 2016 ABB 3AFE64514482 REV I 16.2.2016. https://library.e.abb.com/public/df559f6df460420c8a0b14d07d109263/TechnicalGuideBook_EN_3AFE64514482_RevI.pdf?x-sign=arsVM8eWTFP0aH7aIRXCo81+d5eH4mxuaYDaI2Ev3kSemrW3xcBoPapPV/YhMQ6R [pristupljeno 14.3.2024]

AUTORI/AUTHORS

mr Neša Rašić - predavač, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, nesar@viser.edu.rs, ORCID [0009-0000-8160-7653](https://orcid.org/0009-0000-8160-7653)

dr Aleksandra Grujić - profesor s.s., Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, aleksandrag@gs.viser.edu.rs, ORCID [0000-0002-8372-2468](https://orcid.org/0000-0002-8372-2468)

dr Ivana Vlajić-Naumovska - profesor s.s., Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, ivana.vlajic.naumovska@viser.edu.rs, ORCID [0009-0003-6364-8154](https://orcid.org/0009-0003-6364-8154)

msr Milan Ivezić - asistent, Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija Beograd Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, milan.ivezic@viser.edu.rs, ORCID [0009-0003-8260-4456](https://orcid.org/0009-0003-8260-4456)

dr Milan Bebić, - vanredni profesor, Elektrotehnički fakultet Univerzitet u Beogradu, bebic@etf.bg.ac.rs, ORCID [0000-0003-2694-6980](https://orcid.org/0000-0003-2694-6980)

Regulated Drive of Working Element of Bucket-Chain Excavator ERs710

Abstract – Until the goal of complete transition to renewable energy sources is achieved, care must be taken to meet current energy needs. Of the total electricity produced in the Republic of Serbia in 2022, more than 68% will be energy obtained in thermal power plants. This data clearly indicates the necessity of preserving and extending the life of existing energy plants, which also include mining machines for unearthing the so-called overburden and coal (excavators) working in surface mines. The paper presents the modernization of the drive of the working element of the bucket-chain excavator.

Index Terms – Bucket-chain excavator, Asynchronous motor, Frequency converter, Modernization