Broj rada: R1-09
DOI:10.46793/CIRED2026.R1-09_121

POSEBNI SLUČAJEVI MEHANIČKIH KVAROVA U MOTORNIM POGONIMA REGULACIONIH SKLOPKI

SPECIAL CASES OF MECHANICAL FAILURES IN MOTOR DRIVE UNITS OF ON-LOAD TAP CHANGERS

Goran FILIPOVIĆ, Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Srbija*
Aleksandar ANTONIĆ, , Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Srbija
Siniša SPREMIĆ, , Elektrodistribucija Srbije d.o.o. Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Motorni pogoni (MP) regulacionih sklopki pod opterećenjem (RS) predstavljaju složene elektromehaničke uređaje koji pogone rad RS. Sektor za održavanje Distributivnog područja Novi Sad održava MP RS transformatora 110/x kV kojih je 107 u pogonu. Motorni pogoni RS stari od 40 do 50 godina uglavnom imaju broj odrada od 200.000 do 300.000, tako da su se istrošili svi njihovi delovi, u manjoj ili većoj meri. Prema iskustvu najčešći kvarovi su na kontaktima kontaktera u MP RS koji se nekad ne mogu prepoznati iz prvog pokušaja, jer kontakter nakon zakazivanja nekog od kontakata tokom i nakon provere MP RS, nastavi normalan rad. Neispravnost kontakata kontaktera nastaje usled istrošenosti kontakata i zaglavljivanja kontakata iz različitih razloga. Pored toga, ređe se događaju kvarovi na električnim kontaktima pokretanim mehanički preko posebno oblikovanog obrtnog dela (engleski: cam operated contacts), na primer bregaste osovine. U nekim slučajevima se dogode samo mehanički kvarovi. S obzirom da su mehanički kvarovi veoma retki, teško se stiče iskustvo na osnovu njih. Sagledavanjem principa rada, kako u električnom tako i u mehaničkom smislu, u nekim slučajevima kvarovi se mogu jednostavno pronaći i otkloniti. Prikazano je nekoliko, manjih ili jednostavnijih, kvarova koji su, sagledavanjem i proverama, otklonjeni uz normalan nastavak rada MP RS. Ovih nekoliko prikazanih slučajeva mogu pomoći zaposlenima koji se bave održavanjem MP RS.

Ključne reči: Kvar, motorni pogon, regulaciona sklopka, transformator

ABSTRACT

Motor drive units (MDU) of the On-load tap changers (OLTC) are complex electromechanical devices that drives the operation of the OLTC. Maintenance department of Distribution area of Novi Sad maintain the MDUs of OLTCs of the 110/x kV transformers, which are 107 in operation. OLTC that are 40 to 50 years old generally have a number of operation of 200.000 to 300.000 so that all parts are worn in a minor or greater extent. According to the experience, the most common faults are in the contactor's contacts in MDU of OLTC, which sometimes cannot be recognized from the first attempt because contactor after fault of one of the contacts, during and after checking the MDU of OLTC, continued normal operation. The fault of contactor contacts is due to the wear of contacts and contact jamming for various reasons. In

* Goran Filipović goran.filipovic.ns@es.rs; Aleksandar Antonić aleksandar.antonic@es.rs; Siniša Spremić sinisa.spremic@es.rs

addition, malfunctions on electrical contacts moved mechanically or CAM operated contacts less often occurred. In some cases, only mechanical failures occur. Given that mechanical failures were very rare, experience based on them is difficult to obtain. Considering the principles of work, both in electrical and mechanical terms, in some cases failures can simply be found and repaired. Several, relatively minor or simpler failures are presented here, which were repaired by considering and checks, followed by a normal continuation of MDU of OLTC operation. These few cases shown here can help employees who maintain MDUs of OLTCs.

Keywords: Failure, Motor drive unit, On-load tap changer, Transformer

UVOD

Motorni pogoni regulacionih sklopki pod opterećenjem (MP RS) u distribuciji električne energije neophodni su u regulaciji napona na srednjenaponskom nivou. Koriste se na transformatorima 110/x kV. U prethodnom razdoblju je na većem broju transformatora u potpunosti izvršena zamena MP RS određenih tipova iz razloga što je dolazilo do čestih kvarova usled istrošenosti delova, nastale zbog velikog broja odrada promena položaja RS i nešto lošijeg kvaliteta delova. Nažalost, nisu se podrobno prikupljali podaci o obavljenim otklanjanjima nedostataka i kvarova na MP RS pa se ne može prikazati statistički pregled po delovima. Iskustveno se može potvrditi da je najviše kvarova na kontaktima kontaktera, manje na mehanički pokretanim električnim kontaktima, a najmanje je mehaničkih kvarova; njih je bilo samo nekoliko u poslednjih desetak godina. Prilikom remonata RS koji se rade prema preporuci proizvođača RS, proverava se ispravnost rada MP RS i tada se ponekad uoči neki kvar. Kvarovi se događaju i u pogonu. Kvarovi se ispoljavaju na različite načine. U nekim slučajevima dispečeri primete da nema promene napona ili su naponi preniski ili previsoki bez ikakve signalizacije, nekad ispadne zaštitna motorna sklopka u MP RS sa signalizacijom, nekad je komanda za promenu položaja RS prekinuta, nekad nakon komande MP RS dovede RS u neki od krajnjih položaja. Podrobno se razmatra nekoliko slučajeva mehaničkih kvarova.

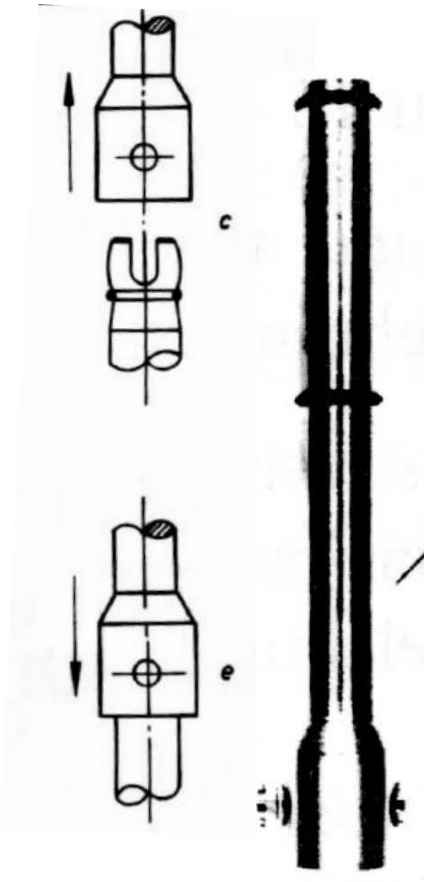
1 PODROBNO RAZMATRANJE MEHANIČKIH KVAROVA MP RS

Podrobno se razmatraju tri mehanička kvara na dva tipa MP RS [1, 2]. Razvijene su metode za proveru ispravnosti rada RS, ali ih nema za MP RS. To su pri isključenom transformatoru: merenje statičkog otpora i merenje dinamičkog otpora. Pri uključenom transformatoru na licu mesta, a i on-line, su moguće sledeće metode: analiza gasova rastvorenih u ulju (DGA – Dissolved Gas Analysis), temperature measurement, merenje struja i napona elektromotora MP RS i merenje signala vibracija [3]. U nastavku se u prikazanim kvarovima na MP RS može iskoristiti jedino merenje struje koje bi moglo ukazati na mehanički otpor ili izostanak istog.

1.1 Jednostavan mehanički kvar – pucanje klina

Ovaj kvar se ispoljio time da je primećeno da komandom automatskog regulatora napona (ARN) ili ručnom komandom ne dolazi do promene napona na srednjenaponskoj strani. Napon na srednjenaponskoj strani je pratio promene primarnog (višeg) napona i uticaj opterećenja transformatora, tj. pada napona u transformatoru usled opterećenja.

Uočeno je da, iako MP RS [1] radi na ručnu komandu iz ormana MP RS, nema prenosa preko vertikalnog vratila prema RS. Prva pomisao je bila da je u samom MP RS došlo do ozbiljnijeg mehaničkog oštećenja na zupčastim prenosima.



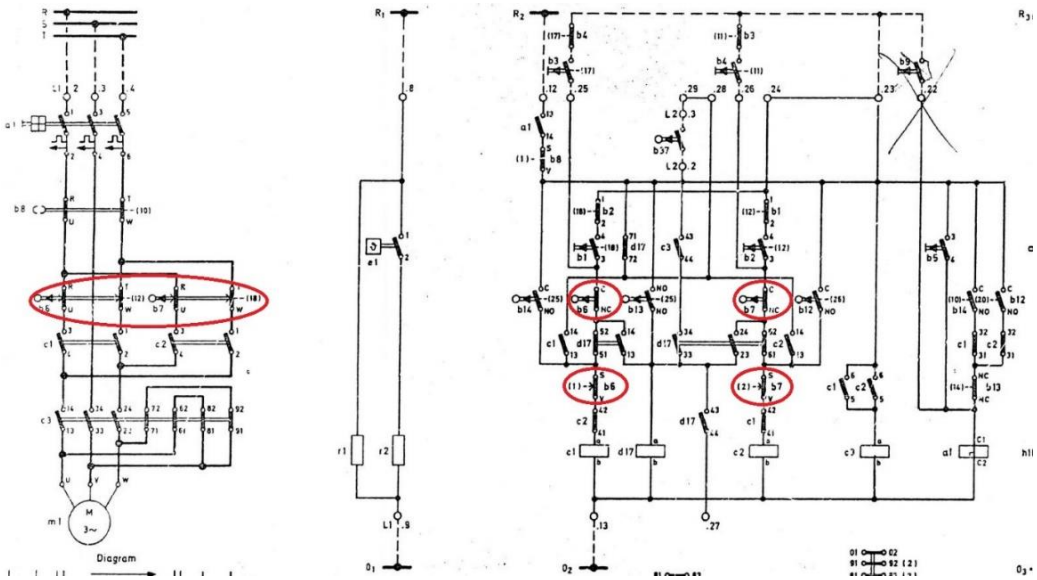
Na Slici 1 levo je prikazan spoj vertikalnog vratila sa izlazom iz MP RS, a na Slici 1 desno vertikalno vratilo gde se na dnu vidi klin koji spaja vertikalno vratilo i izlaz iz MP RS. Pregledom je uočeno da je istrošen i polomljen klin koji je obezbeđivao mehaničku povezanost vertikalnog vratila i izlaza iz MP RS. Takođe je bilo oštećenja na ležištu izlaza iz MP RS. Usled stanjivanja klina prilikom pokretanja MP RS dolazilo je do udaraca u žleb izlaza MP RS. U dužem razdoblju došlo je do pucanja klina. Na drugim MP RS istog tipa nije bilo tog problema. U vreme kvara, ovaj MP RS je bio star 49 godina i u planu je bila zamena nekoliko MP RS tog tipa. Nije bilo potrebnog rezervnog dela. Odlučeno je da se privremeno reši problem postavljanjem vijka sa maticom odgovarajućih dimenzija. Iako je mesto postavljanja nepristupačno, vijak sa maticom je postavljen. Isproban je rad u oba smera i nije bilo problema izuzev što se čulo da dolazi do udarca prilikom pokretanja jer nije ostvarena čvrsta radijalno nepomična veza vertikalnog vratila i izlaza MP RS (kao sa ispravnim klinom) pomoću vijka sa maticom. Do planirane zamene novim tipom MP RS postojeći MP RS je radio bez problema.

Slika 1 – Spoj vertikalnog vratila sa izlazom MP RS (levo) i vertikalno vratilo (desno)

U ovom slučaju bi se kvar, tj. izostanak promene položaja RS mogao otkriti snimanjem struje jer bi, zbog izostanka većeg mehaničkog opterećenja za nameštanje birača RS i natezanja opruga, prilikom pokretanja kaveznog elektromotora dobili manju struju pokretanja. Struja bi prilikom daljeg rada na promeni položaja RS isto bila manja nego kada sve radi kako treba.

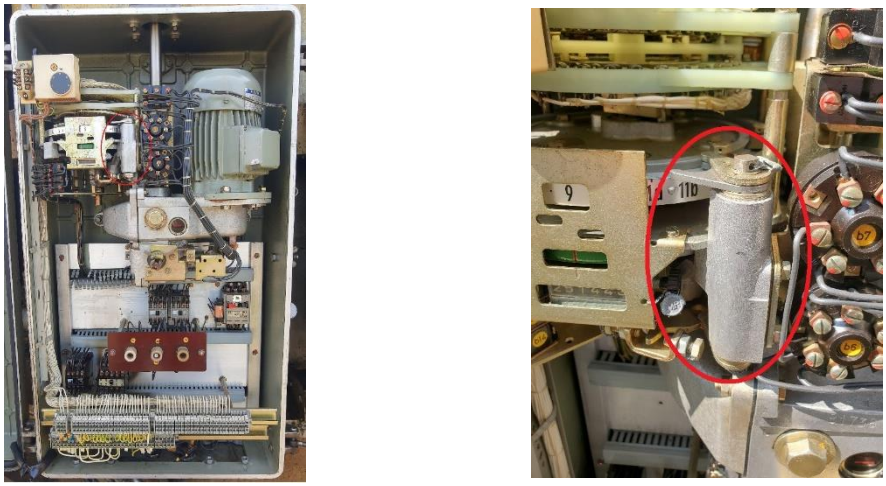
1.2 „Zapekla” osovina za krajnje položaje

Nakon obavljenog remonta RS prilikom provere usklađenosti položaja RS na poklopcu suda RS i na MP RS [2] dogodilo se da kada MP RS dostigne krajnje položaje RS i onda vrati naniže ili naviše (zavisi u kom je krajnjem položaju) ne može da se komanduje tasterima prema krajnjem položaju u kome je prethodno bio. Kao primer, ukoliko je MP RS došao do krajnjeg najvišeg, u ovom slučaju 21. položaja, MP RS prihvata komandu tasterima na vratima MP RS za promenu na niže položaje, ali ne prihvata komandu tasterima za promenu na više položaje kad je ispod 21. položaja. Ukoliko je MP RS došao do krajnjeg najnižeg, u ovom slučaju prvog položaja, MP RS prihvata komandu tasterima na vratima MP RS za promenu na više položaje, ali ne prihvata komandu tasterima za promenu na niže položaje kad je iznad prvog položaja. Proverom multimetrom je utvrđeno da se u krajnjim položajima mehanički pokretani električni kontakti otvaraju čime je onemogućeno dalje komandovanje preko 21. položaja ili ispod prvog položaja. Proverom multimetrom je ustanovljeno da su kontakti na mehanički pokretanim električnim kontaktima b6 ostali otvoreni. Isto se događa kada MP RS dođe u prvi položaj sa mehanički pokretanim električnim kontaktima b7. Na Slici 2 crvenim elipsama označeni su mehanički pokretani električni kontakti b6 i b7.



Slika 2 – Isečak šeme MP RS

Daljim pregledom, prilikom prebacivanja iz krajnjih položaja RS naniže ili naviše nije dolazilo do zatvaranja mehanički pokretanih električnih kontakata b6 i b7 kako bi trebalo da bude, što je provereno multimetrom. Na Slici 3 levo je prikazan MP RS sa, u crvenoj elipsi, zaokruženim delom na kojem je kasnije utvrđen problem. Na Slici 3 desno je prikazan uvećan deo sa problemom. Na disku sa brojevima položaja RS nalaze se blokade krajnjih položaja koji po želji i potrebi mogu da se pomeraju. Blokade deluju na trokraku polugu na gornjem kraju osovine dela sa utvrđenim problemom, a preko donjeg dela osovine polugom se deluje na mehanički pokretane električne kontakte b6 i b7. Deo prikazan na Slici 3 ručno je vraćen u normalan položaj, ali je u krajnjim položajima RS opet dolazilo do nepravilnog rada. Zaključak je bio da je zapekao deo sa osovinom zbog čega opruga koja bi to trebala da otpusti kad se pomeri sa krajnjih položaja i zatvori kontakte b6 i b7 nije imala dovoljno snage da savlada trenje. Sprejem za odmašćivanje je više puta prskan deo sa osovinom sa Slike 3 desno, sa gornje i donje strane i ručno razrađivan. Nakon što je osovina menjala položaj uz upotrebu manje sile, obrisan je odmašćivač i sipano mašinsko ulje uz ručno razrađivanje, kako bi ulje prodrlo čitavom dužinom osovine. Ponovo je proveren rad u oba krajnja položaja RS i pokazalo se da je odmašćivanjem, razradom i podmazivanjem rešen kvar i da MP RS radi ispravno.

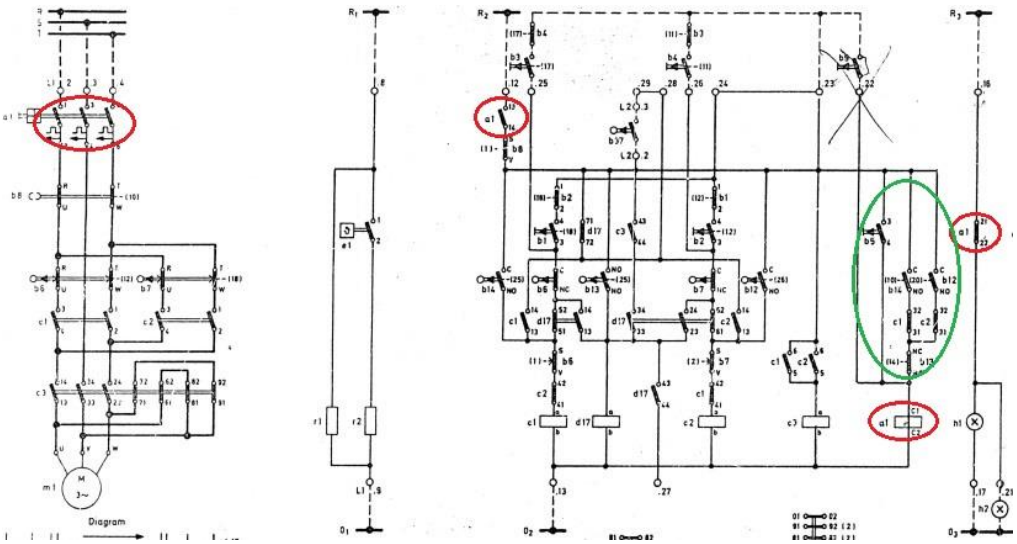


Slika 3 – Deo gde je zapekla osovina

Otkrivanje ovog kvara bez pregleda je moguće samo u kretanju ka krajnjim položajima merenjem struje koja bi prilikom delovanja na osovinu trebalo da poraste zbog savladavanja trenja. Pitanje je da li bi se to moglo primetiti s obzirom da to nije veliko trenje.

1.3 Pomeranje mehanički pokretanih električnih kontakata na nosaču

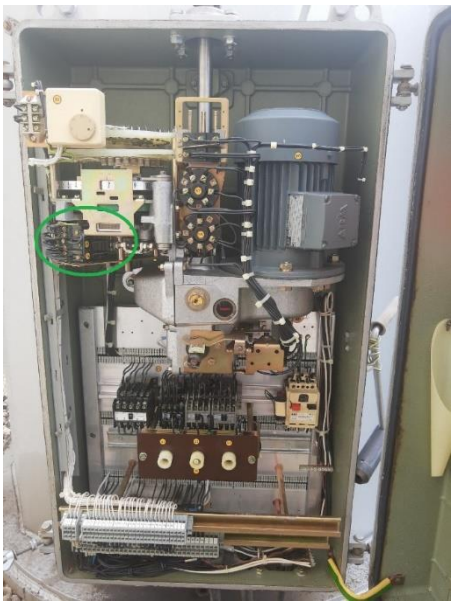
Prijavljeno je da zaštitna motorna sklopka oznake a1 na Slici 4 u MP RS [2] ispada, tj. isključuje, nakon davanja komande za promenu položaja RS tasterom u MP RS, u oba smera. Kontakti i kalem za isključenje zaštitne motorne sklopke označeni su crvenim elipsama na Slici 4.



Slika 4 - Isečak šeme MP RS

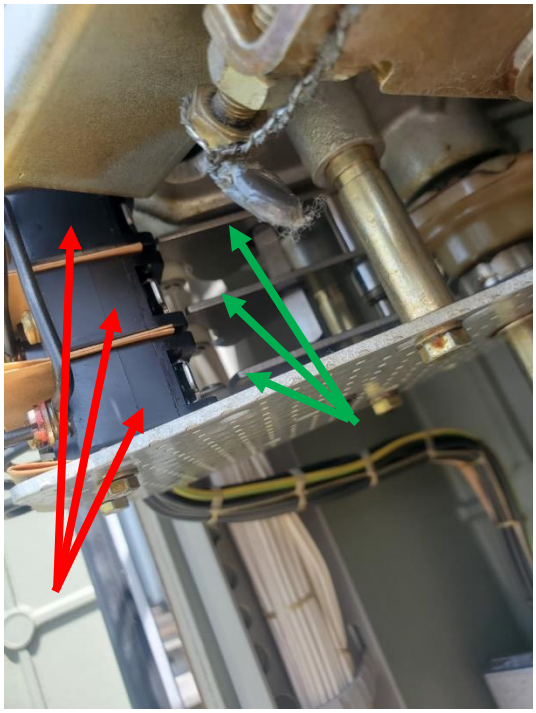
Proverom je utvrđeno da se isključenje dešava brzo po davanju komande tasterom iz MP RS. Proveren je rad ručnom promenom položaja, korišćenjem "kurble" ili poluge. Promena položaja korišćenjem kurble i u viši i u niži položaj bila je ispravna. Isključenje zaštitne motorne sklopke se vrši ili bimetalnom zaštitom ugrađenom u zaštitnu motornu sklopku ili pobuđivanjem kalema za isključenje na kontaktima c1 i c2 zaštitne motorne sklopke a1 na Slici 4 treća crvena elipsa sa leva na desno (ne mešati sa kontakterima oznaka c1 i c2).

Isključenja zaštitne motorne sklopke su moguća zbog greške na kontaktima tastera b5 na vratima MP RS ili zbog zatvaranja dve kombinacije na red spojenih, dva mehanički pokretana električna kontakta i jednog kontakta kontaktora, što je zaokruženo zelenom bojom na Slici 4. To su na red spojeni kontakti od b14, c1 i b13 ili kontakti od b12, c2 i b13. Taster b5 je bio ispravan. Postojala je mogućnost da su na jednom ili oba kontaktera c1 i c2 „zalepili" kontakti koji se za to koriste. Verovatnoća je mala da su oba kontakta istovremeno ostala zalepljena, a proverom multimetrom utvrđeno je da su oba kontakta na c1 i c2 ispravna. Druga mogućnost je da su mehanički pokretani električni kontakti na b12, b13 i b14 neispravni. Na Slici 5 vidi se mesto u MP RS zaokruženo zelenom elipsom, na kome su ugrađeni b12, b13 i b14 i polugice.



Slika 5 – Mesto ugradnje b12, b13 i b14 i polugica

Na Slici 6 podrobnije se vide b12, b13 i b14 koji su označeni crvenim strelicama i nosač na kom se nalaze. Na Slici 6 podrobnije se vide polugice označene zelenim strelicama koje deluju na b12, b13 i b14.



Slika 6 – Bliži pogled na b12, b13 i b14 i polugice

Ručnim pokretanjem polugica kontakata na b12, b13 i b14 multimetrom se utvrdilo da su kontakti ispravni. Ponovo se koristila kurbla da se vidi šta se događa prema b12, b13 i b14 prilikom obrtanja. Između ostalog, uočeno je da obrtne ploče koje deluju na polugice b12, b13 i b14 vrše pritisak na b12, b13 ili b14 ili na sve njih i da malo savijaju noseću ploču b12, b13 i

b14. Da bi bilo utvrđeno kolika bi to sila mogla biti pokušalo se ručnim delovanjem na noseću ploču. Ručno se nije mogla saviti kao kod kurblanja. Multimetrom je utvrđeno da su u toku promene položaja naniže ručnim pokretanjem kurblom, kada treba da radi kontakter c2, bili zatvoreni istovremeno svi kontakti b14, c1 i b13. Za c1 normalno je da je taj kontakt zatvoren kada nije pobuđen, ali kontakt b14 bi morao biti otvoren prilikom promene položaja RS. Zaključak je da zbog pritiska koji je utvrđen došlo do pomeranja prema polugicama usled čega se nepravilno otvaraju/zatvaraju kontakti b12, b13 i b14. Kontakti b12 i b14 neispravno se zatvaraju u neodgovarajućem smeru promene položaja RS. Obrtne ploče koje deluju na „ polugice" b12, b13 i b14 bile su na svom mestu. Pomerene su malo b12, b13 i b14 na nosećoj ploči kako bi se polugice b12, b13 i b14 oslobodile pritiska i postavile u ispravan položaj. Zbog načina ugradnje tu nema mogućnosti većeg pomeranja. Posle toga, promena položaja ručno kurblom nije dovodila do pomeranja nosača b12, b13 i b14. Komandovanje promenom položaja RS naviše i naniže tasterom u MP RS bilo je uspešno. Pošto su radovi obavljeni sa uključenim transformatorom, utvrđena je i ispravnost komandi sa uređaja automatske regulacije napona. Verovatno je usled 50 godina rada i velikog broja odrada došlo do manjeg otpuštanja usled pritiska poluga i do pomeranja b12, b13 i b14 u toku promene položaja RS.

Kod ovog kvara ne bi pomogla nijedna od metoda jer odmah po pokretanju dolazi do ispada zaštitne motorne sklopke.

2 ZAKLJUČAK

Odskora se često pojavljuju kvarovi na MP RS starijim od 40 godina. Brojevi prorada MP RS su od oko 200.000 pa i preko 300.000. Iako su se tokom korišćenja menjali delovi, najčešće kontakteri i zaštitne motorne sklopke, bez obzira na kvalitet ugrađene opreme, zbog starosti i istrošenosti događaju se sve češći otkazi ili greške u radu MP RS. Pored električnih kvarova i grešaka počeli su da se pojavljuju i mehanički kvarovi i greške. U svim slučajevima, oni su uspešno otklonjeni.

Da bi se smanjio broj mehaničkih grešaka i kvarova kod starijih MP RS mora se, prilikom remonata ili revizija RS i MP RS, više pažnje i vremena posvetiti MP RS. Podroban pregled svih delova u MP RS, podmazivanje, razrada delova koji se retko koriste i provera ispravnosti i usklađenosti rada osnova su za manji broj kvarova i grešaka. Pored toga je neophodno, prema proceni, zameniti delove kod kojih se vidi istrošenost ili postoji sumnja da su istrošeni, tj. da su značajno izgubili početna svojstva.

U nekim slučajevima prikazani kvarovi MP RS mogu biti otkriveni iz snimka struja, ali pregled, probe i provera multimetrom na licu mesta otkrivaju mesto kvara.

U nekim slučajevima je, za neke kvarove koji se povremeno pojave, veoma teško otkriti uzrok.

LITERATURA

[1] Maschinenfabrik Reinhausen, Betriebanweisung Nr. 6/71 „Motorantrieb MA 2", 1971
[2] Maschinenfabrik Reinhausen, Betriebanweisung Nr. 40/74 „Motorantrieb MA 7", 1974
[3] J. Seo, „Intelligent Condition Monitoring and Diagnosis of a Power Transformer: On-Load Tap Changer (OLTC) and Main Winding", A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland, 2019