

DOI: [10.46793/CIGRE37.A2.04](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.A2.04)

A2.04

ŽIVOTNI CIKLUS TRANSFORMATORA 110/X KV I NJEGOVA VREDNOST

LIFE CYCLE OF TRANSFORMER 110/X KV AND ITS VALUE

Dušan Čomić*

Kratak sadržaj: U deregulisanoj okolini, elektroprivreda su u stalnom procesu smanjenja troškova eksploatacije elektroenergetskih objekata, sa ciljem da se optimalno poboljša kvalitet isporuke i kvalitet isporučene električne energije u pogonima kupca. Energetski transformator, kao najznačajniji i najvredniji deo transformatorske stanice, mora biti pouzdan u toku eksploatacije. Poznavanjem preostalog radnog veka energetskog transformatora omogućava se praćenje i planske aktivnosti primereno njemu. Imajući u vidu veliku vrednost transformatora 110/x kV, koja je kao slučaj posebno obrađen ovim radom, sada se posebna pažnja posvećuje istraživanju novih pristupa i tehnika za održavanje, procena stanja transformatora, procenu životnog veka kao elementa čija zamena dugo traje. Njegov neočekivani ispad izaziva dugotrajne zastoje u isporuci električne energije, pa praćenjem stanja je moguće sprečiti skupe i neočekivane ispadе energetskih transformatora, koji su ponekad katastrofalni. Postojeće metode za procenu životnog veka transformatora, uzimaju u obzir fizičko hemijske, električne karakteristike i eksperimentalna merenja. Jedna od mogućih metoda, koja može pomoći u oceni stanja transformatora, je metoda za izračunavanje indeksa zdravlja transformatora, koja uzima u obzir raspoložive faktore koji utiču na zdravlje transformatora. Ovaj rad se fokusira na uprošćenom metodu predviđanje preostalog radnog veka i procenu fer vrednosti energetskog transformatora. Nekome je potrebna fer vrednost transformatora, jer je u poziciji da proda transformator ili ga pak kupi sa svim njegovim dobrim stranama i manama. Ne postoji decidno određen postupak, jer ima mnogo nepoznatih koje treba imati na raspolaganju i koji se sistematski ne prikupljaju. Nije svedeno, ako dva transformatora rade u istim uslovima, koliko je neki od njih u svom radu imao kratkih spojeva na mreži koju je napajao. Čak i za isti broj kratkih spojeva u mreži oni se razlikuju po snazi kratkog spoja u zavisnosti od rastojanja kratkog spoja od samog transformatora. Do konačnog odgovora o stanju konkretnog transformatora 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA i njegove fer vrednosti došlo se koristeći: •iskustvo, •podatke o uslovima rada transformatora, •izveštaje o periodičnim ispitivanjima, •izveštaje o stanju izolacije od ulja i čvrste papirne izolacije, •uticaj pogonskih događaja u mreži 10 kV, •algoritam „Indeks zdravlja“ (IZ) koji su koristili na Institutu „Nikola Tesla“, •filozofiju razmišljanja o fer vrednosti transformatora.

Ključne reči: Energetski transformator 110/35/10,5 kV, vrednost, životni ciklus

* Dušan Čomić, Plamen doo, dusan.comic52@gmail.com

Abstract: In a deregulated environment, power companies are in the constant process of reducing the costs of operating power facilities, with the aim of optimally improving the quality of delivery and the quality of delivered electricity in the customer's facilities. The energy transformer, as the most significant and valuable part of the transformer station, must be reliable during exploitation. Bearing in mind the high value of the 110/x kV transformer, which as a case was specially treated in this paper, special attention is now being paid to the research of new approaches and techniques for maintenance, assessment of the condition of the transformer, assessment of its life as an element whose substitution takes a long time. Its unexpected outage causes long-term interruptions in the supply of electricity, so by monitoring the condition, it is possible to prevent expensive and unexpected outages of energy transformers, which are sometimes catastrophic. Existing methods for assessing the lifetime of transformers take into account physical, chemical, electrical characteristics and experimental measurements. One of the possible methods, which can help in assessing the condition of the transformer, is the method for calculating the transformer health index, which takes into account the available factors that affect the health of the transformer. This paper focuses on a simplified method of predicting the remaining service life and estimating the fair value of a power transformer. Someone needs a fair value of the transformer, because he is in a position to sell the transformer or buy it with all its good sides and faults. There is no decisively determined procedure, because there are many unknowns that should be available and that are not systematically collected. It does not matter, if two transformers work under the same conditions, how many short circuits one of them had in its operation on the network it supplied. Even for the same number of short circuits in the network, they differ in the power of the short circuit depending on the distance of the short circuit from the transformer itself. The final answer about the condition of the specific transformer 110/35/10.5 kV, 31.5 MVA and its fair value was reached using: • experience, • data on transformer operating conditions, • periodic test reports, • reports on the condition of oil insulation and solid paper insulation, • the influence of driving events in the 10 kV network, • the "Health Index" (IZ) algorithm used at the "Nikola Tesla" Institute, • the philosophy of thinking about the fair value of transformers.

Key words: *Life cycle, Power transformer 110/35/10.5 kV, value*

1 UVOD

Distributivna transformatorska stanica TS 110/35/10 kV, 31,5 MVA sadrži niz elemenata elektroenergetske opreme koji učestvuju u distribuciji električne energije. Svakako da je energetska transformator najvredniji i najvažniji element, koji vrši ulogu prenosa električne energije uz transformaciju nivoa napona i struje, stoga je značajno da on bude pouzdan.

Životni vek energetske transformatora, knjigovodstveno [9], se kreće između 30 i 35 godina. Stoga je propisana i stopa amortizacije takva da nakon ovako predviđenog perioda transformator bude zamenjen novim.

U praksi, životni vek transformatora može biti i duži od 30 godina ukoliko se on pravilno održava (u nekim uslovima rade i sa 50 godina života). Zbog toga je potrebna jasna strategija za povećanje životnog veka transformatora kroz uspostavljanje prioriteta za kontrolu i njihovo održavanje tokom eksploatacije.



Slika 1: Deo postrojenja TS 110/10 kV

Imajući u vidu da svaki korisnik, dobrim preventivnim radnjama, može i želi da produži životni vek, u okviru eksploatacije transformatora, sačinjava se operativni plan, na osnovu koga će se procenjivati stanje energetskog transformatora.

U ovom radu ćemo se opredeliti na konkretni energetski transformator 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA.

Operativni plan [6], po pravilu, za transformator 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA predviđa analize i ispitivanja koja su definisana određenim vremenskim periodom, dat u tabeli I:

Tabela I: Operativni plan

Vremenski period (godine)	
Hromatografska analiza gasova u ulju	2
Fizičko hemijska analiza ulja:	4
Provera prenosnog odnosa:	
Ispitivanje sistema izolacije:	
Provera deformacije namotaja:	
Ispitivanja dielektrične čvrstoće ulja:	1
Provera regulacione sklopke:	
Provera zaštite:	
Termovizisko ispitivanje:	

Ovi rokovi su maksimalni i mogu se preventivno smanjiti u zavisnosti od uslova eksploatacije i starosti transformatora. Redovnom primenom ovakvog operativnog plana i primenom pravovremenih remontih aktivnosti moguće je produžiti životni vek transformatora, ali i smanjiti broj ispada transformatora iz sistema. To je značajno jer je period zamene transformatora do 30 dana, što je veliki trošak izražen kroz onemogućavanje distribucije električne energije posebno za radialno napajane vodove 10 kV.

Poslovni rizik, koji se iskazuje kao vrednost neostvarenog transfera energije, plus cene ponovnog uspostavljanja distribucije, čvrsto je povezan sa ispadom energetskog transformatora iz sistema kao najvažnijeg elementa u distribuciji električne energije.

Kada se ove mere ne poštuju, a kako su u elektrodistributivnoj 10 kV mreži, kao pogonski događaj mogući kratki spojevi (koji direktno utiču na životni vek transformatora) često je moguć i kraći životni vek od 30 godina. Stoga se, u zavisnosti od stanja papirne izolacije namotaja transformatora, u kolikoo analiza ulja pokaže početak degradacije, pribegava češćem vršenju gasnohromatske analize ulja i potrebnim električnim ispitivanjima.

Za izračunavanje preostalog životnog veka mogu se koristiti dijagnostički faktori transformatora koji kvantifikuju globalno stanje energetskih transformatora [7].

Ovaj faktor omogućava procenu preostalog životnog veka transformatora, uzimajući u obzir neke od najvažnijih karakteristika njihovih izolacionih sistema. U svetu postoji više metodologija kojim bi se izvršila integralna kvantifikacija stanja ET. One sve počivaju na podacima rezultata hemijskih i električnih ispitivanja, podacima iz održavanja i o istorijatu rada, itd.

Jedan od mogućih načina da se oceni stanje energetskog transformatora i preostali životni vek ET u pogonskom stanju je uvođenje indeksa stanja ili tzv. „indeksa zdravlja“. Indeksiranje transformatora prema pogonskom stanju, uz dodatnu analizu rizika omogućava bolje sagledavanje raspoloživosti i pouzdanosti transformatora.

Studija [1] omogućava izračunavanje „zdravstvenog pokazatelja“ na osnovu rezultata redovnih ispitivanja iz operativnog plana (ispitivanja uzoraka transformatorskog ulja (analiza rastvorenih gasova, FHE karakteristika ulja, sadržaja furana i dr.) odnosno električnih ispitivanja (ispitivanja izolacionog sistema namotaja i prolaznih (uvodnih) izolatora visokog i srednjeg napona, odnosa transformacije, induktivnosti usled rasipanja, otpora namotaja, opšteg stanja regulacione preklapke itd.

2 POSMATRANI ULJNI ENERGETSKI TRANSFORMATOR 110/35/10,5 KV, 31,5 MVA

Konkretni uljni energetski transformator ima sledeće tehničke karakteristike:

- Električna snaga: 31,5 MVA,
- Prenosni odnos: 110/35/10,5 kV,
- Godina proizvodnje: 1989,
- Fabrički broj:,
- Sprega namotaja: Ynd5,
- Napon kratkog spoja: 11,48%,
- Gubici u bakru transformatora: 165 kW.



Slika 2: Posmatrani uljni energetski transformator

Od rukovodioca tehnološke celine iz Distributivnog područja [2], koja je vršila održavanje transformatora, su dobijeni sledeći podaci:

- Ne postoje podaci o merenju struja magnećenja transformatora, jer ona nisu vršena,
- Ne postoje podaci o merenju faktora dielektričnih gubitaka, jer ona nisu vršena,
- Broj prorada regulacione preklopke je 42183, a revizija regulacione preklopke sa pregledom stanja i eventualnom zamenom kontakata prekidačkog dela, nije vršena,
- Tokom celog veka ulje transformatora nije menjano niti je vršena njegova regeneracija na terenu fulerovom zemljom,
- Iz Izveštaja Ispitivanje izolacionih ulja iz energetskih transformatora [3], se konstatuje: Prema rezultatima ispitivanja fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika **zaključuje se da je ulje navedenog transformatora “malo ostarelo”**,
- Uočeno je curenje izolacionog ulja koje treba sanirati,
- Tokom eksploatacije zamenjen je jedan oštećeni uvodni izolator 110 kV,
- Svake godine je vršeno termovizijsko snimanje i topla mesta su sanirana,
- Meren je svake godine otpor R15 i R60 (sa megaommetrom 5000 V) i zadnje izmerene vrednosti date su u tabeli II.

Tabela II: Otpor izolovanosti

Merenje između:	Koeficijent apsorpcije:	R 15 sec	R 60 sec
VN i NN namota	1,206	3,106 GΩ	3,746 GΩ
VN namota i uzemljenja	1,090	3,351 GΩ	3,652 GΩ
NN namota i uzemljenja	1,061	17,95 MΩ	19,04 MΩ

Podaci iz tabele II su primereni starosnoj dobi transformatora. Smanjenje otpora izolacije između 10 kV-nog namotaja i uzemljenja je za dva reda veličine u odnosu na prethodne dve sprege, pa su izvršena dodatna električna ispitivanja izolacionog sistema.

Na osnovu rezultata gasnohromatske analize ulja, rezultata sadržaja derivata furana rastvorenog u ulju, rezultata sadržaja vode rastvorene u ulju i fizičkih, hemijskih i električnih karakteristika ulja, mogu se, koristeći iskustvo i poznate metode, doneti zaključci o stanju ovog transformatora.

Kako se, tokom eksploatacije, malo ima podataka o stepenu opterećenosti transformatora, teško je doneti egzaktnu ocenu stanja transformatora a time i preostali životni vek.

Na primer, stanje nekih transformatora nakon 5–15 godina rada može biti uporedivo sa vrednostima koje su izmerene na ET koji već rade 30–40 godina. Nesumnjivo, ovo je povezano sa načinom i dinamikom opterećenja, temperaturom ambijenta, mestom ugradnje u elektroenergetski sistem, itd. Utvrđeno je da transformatori sa boljim opštim pokazateljima rade sa prosečnim opterećenjem od $0,6 \div 0,7 S_n$.

Literatura [8] objašnjava kako rad u zoni preopterećenja ($> 1,0 S_n$) ubrzava starenje izolacije, dok rad pri vrlo malim opterećenjima ($< 0,3 S_n$) može dovesti do problema sa vlagom i lošijom regulacijom napona. Opseg $0,6\text{--}0,7 S_n$ se navodi kao efikasan kompromis.

Kako je ovaj transformator predmet prodaje potrebno je što bolje odrediti njegovo stanje, a zatim odrediti njegovu fer tržišnu vrednost. Pri tome moramo imati na umu da za ovaj transformator ima dosta nedostajućih ili nepouzdanih informacija.

3 PROCENA STANJA I PREOSTALI ŽIVOTNI VEK TRANSFORMATORA

Uopšteno rečeno, starenje opreme u elementima elektroenergetskog sistema je životna činjenica. Kako deo opreme stari, on se sve češće kvari i potrebno mu je više vremena za popravku.

Kroz uspostavljanje prioriteta za kontrolu i sprovođenje aktivnosti preventivnog održavanja tokom eksploatacije moguće je produženje životnog veka transformatora, ali pri kraju životnog veka njegovo održavanje zbog previše zahtevanih radova i aktivnosti često postaje veoma skupo.

Životni vek energetske transformatora bi se mogao klasifikovati na:

- fizički vek,
- tehnološki vek i
- ekonomski vek.

Teoretski fizički vek trajanja je period tokom koga transformator, sa svim sastavnim delovima opreme počinje da radi iz svog potpuno novog stanja, sve dok ne dođe u fazu da se ne može koristiti u svom normalnom radnom stanju i mora se povući iz upotrebe.

Tehnološki vek trajanja određuje stanje kada će vitalni delovi transformatora morati da se zamenjuju iz tehnoloških razloga, iako možda transformator nije dostigao svoj fizički kraj životnog veka, ali on napaja konzum koji zahteva veliku pouzdanost u napajanju. Na primer,

nova tehnologija je razvijena za neki deo opreme i proizvođači više i ne postoje ili ne proizvode rezervne delove.

Ekonomski vek trajanja je kada posle određenog perioda korišćenja transformator ili vitalni njegov deo više nije ekonomski vredan, iako se i dalje može fizički koristiti. Kapitalna vrednost bilo koje opreme se amortizuje svake godine. Kada se vrednost imovine približi nuli, ona dolazi do kraja svog ekonomskog veka.

Ovaj rad se fokusira na uprošćenom metodu predviđanja preostalog radnog veka i procenu fer vrednosti energetskog transformatora. Cilj je proceniti stanje ET i na osnovu toga odrediti njegovu vrednost koja je važna za tržište.

Za procenu stanja konkretnog transformatora korišćen je rad [1], koji je poslužio da se dobije traženi podatak o stanju našeg transformatora.

Nije postojala niti tendencija niti želja, a ni specijalnost autora da se iz ove oblasti razviju nove metode koje bi koristile nove tehnike, što nije ni cilj ovog rada.

Iz studije [1] se vidi da je procena stanja energetskih transformatora više-kriterijumski problem u čijem modelu postoje različiti tipovi kvantitativnih i kvalitativnih neizvesnosti i nesigurnosti. Oni su predstavili metodologiju koja koristi redukovani model transformatora i posebni indeks zdravlja svake komponente transformatora. Konačni rezultat je indeks zdravlja transformatora koji je predstavljen kao raspodela verovatnoća svakog pojedinačnog stanja.

Mi ćemo u potpunosti iskoristiti metodu koja kombinuje rezultate električnih ispitivanja u pogonu, laboratorijskog (hemijskog) ispitivanja transformatorskog ulja, podatke iz održavanja i podatke o istorijatu njegovog rada kako bi dobili indeks zdravlja (IZ) i dalje ga iskoristili za ocenu stanja konkretnog transformatora radi procene njegove fer tržišne vrednosti. Indeks zdravlja u navedenom radu daje se za svaki značajan deo transformatora i na kraju za ceo transformator kao sklop. Pri tome se koristi izraz za indeks zdravlja, formula (1):

$$IZ = \frac{\sum_i^n O_{di} \cdot W_{di}}{\sum_i^n W_{di}} \quad (1)$$

gde je: O_d ocena svakog dela ET dobija (u opsegu od 0 do 3), W_d težinski faktor svakog dela ET (u opsegu od 1 do 5), formula (2):

$$O_d = \frac{\sum_{i=1}^n O_{mi} \cdot W_{mi}}{\sum_{i=1}^n W_{mi}} \quad (2)$$

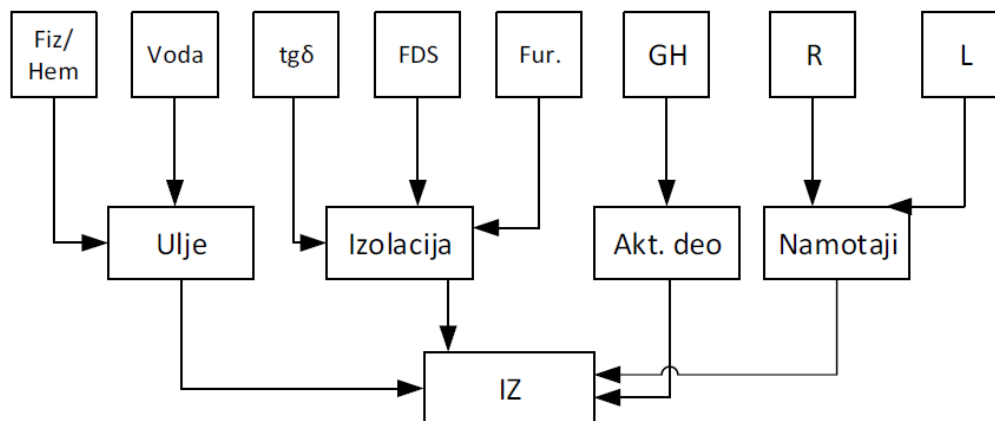
Nekim delovima ET pridružena je grupa odgovarajućih ispitnih metoda, pri čemu svakoj odgovara težinski faktor $W_m=(1-5)$.

U formuli (2) broju n odgovara broj ispitnih metoda za koje postoje primenljivi rezultati i kojima se procenjuje stanje datog sistema.

Ocenu metode (O_m) daje stručno lice na osnovu rezultata prethodnih ispitivanja, iskustava i specifičnosti pojedinih ET, a uz primenu kriterijuma datih u važećim standardima i tehničkim preporukama, i nalazi se u opsegu $0 \leq O_m \leq 3$.

Kompletan matematički prikaz metodologije nije predmet ovog rada ali će biti prikazan ilustrativni primer ocene postojećeg transformatora 110/35/10 kV, 31,5 MVA instalisanog u EPS-u.

Uvažavajući model dat u literaturi [1], hijerarhijska šema ocene indeksa zdravlja transformatora prikazana je na slici 3.



Slika 3: Hijerarhijska šema ocene indeksa zdravlja

Težinski faktor dela ET (W_s) i težinski faktor ispitne metode (W_m) se daje posebno za:

- ulje - na osnovu: fizičke, hemijske i električne osobine ulja i sadržaja vode u ulju,
- čvrsta izolacija – na osnovu; $\text{tg}\delta$, procene sadržaja vode u čvrstoj izolaciji, na osnovu sadržaja vode u ulju, sadržaja derivata furana
- aktivni deo – na osnovu gasno hromatske analize,
- namotaje – na osnovu omske otpornosti i induktivnosti usled rasipanja.

Ocene stanja transformatora 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA prikupljene su tokom redovnih ispitivanja i aktivnosti na održavanju i predstavljene u tabeli III. Rezultati fizičko/hemijskih ispitivanja, kao i merenja aktivne otpornosti i induktivnosti rasipanja stari su 2 godine.

Tabela III: Ocena transformatora, koji je predmet ovog rada, korišćenjem običnog IZ

	Ulje		Izolacija			Aktivni deo	Namotaji	
Wd	4		4			5	4	
Wm	5	4	5	4	3		5	5
Om	Fiz/hem.	H ₂ O	$\text{tg}\delta$	FDS	<i>Furan</i>	<i>DGA</i>	<i>R</i>	<i>L</i>
	3	2	-	1	3	2	3	3

U tabeli III se koriste izrazi i skraćenice koje su navedene u prethodnom tekstu.

Sada možemo izračunati indeks zdravlja za ceo energetski transformator, formula (1):

$$IZ = \frac{4 \cdot 2,56 + 4 \cdot 1,85 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 3}{17} = 2,33$$

Ocene za proračun indeksa zdravlja su: 3, 2, 1, 0, kao što je prikazano u tabeli IV.

Tabela IV: Rezultati električnih i hemijskih ispitivanja sa ocenama iz proračuna

Ocena rezultata ispitivanja:	Odgovarajuća ocena za proračun IZ
Dobro	3
Uslovno dobro	2
Sumnjivo	1
Loše	0

Prema tome posmatrani energetski transformator se može oceniti kao uslovno dobar, što je jedan od najvažnijih faktora za procenu njegove vrednosti. Na osnovu iskustva i praćenja u radu samo se može pretpostaviti njegov životni vek. U svakom slučaju periodika ispitivanja se mora prilagoditi ovoj konstataciji.

Kako se tokom duže vremena nije merio tgδ ova ocena nije obuhvatila i taj uticaj na indeks zdravlja.

Merenje ukupnih furana se pokazalo kao važan pokazatelj stepena polimerizacije čvrste izolacije. Degradacija čvrste izolacije (papira) može se smatrati primarnim razlogom za prestanak radnog veka transformatora. Mada i regulaciona teretna sklopka može skratiti ovaj period.

Imajući u vidu gore navedeno, opisane analize i poznate parametre stanja transformatora pretpostavlja se da je životni vek transformatora moguće proceniti na još 10 godina. Zašto toliko, a ne više, je stvar iskustva i procene parametara izolacije.

U tom periodu će biti moguće intervencije na prolaznim izolatorima i na teretnoj regulacionoj sklopki jer je u tom periodu moguće obezbediti na tržištu rezervne delove.

4 KLJUČNI FAKTORI KOJI SE KORISTE ZA ODREĐIVANJE FER TRŽIŠNE VREDNOSTI

Jedan od najvećih izazova u vrednovanju opreme je to što ne postoji pristup koji bi odgovarao i prodavcu i kupcu. Različiti kvalitet između proizvođača i različiti nivoi upotrebe znače da ponekad nije fer upoređivati dva komada opreme koja treba da obavljaju potpuno isti posao. Zbog navedenih razlika, potrebno je pogledati nekoliko ključnih faktora koji će pomoći kod utvrđivanja vrednosti opreme, odnosno transformatora [5]:

- očekivano trajanje života,
- starost,
- stanje,
- dostupnost na tržištu,
- zastarelost tehnologije izrade.

4.1 Očekivano trajanje života transformatora

Očekivano trajanje života je jedan od najvažnijih faktora u eksploataciji transformatora. Kvalitet opreme ima ogroman uticaj na očekivani životni vek.

Životni vek velikih transformatora može se orijentaciono proceniti, poput onih snaga od 31,5 MVA, od 30 do 40 godina uz pravilno održavanje.

Očekivano trajanje života može zavisi od faktora kao što su radni uslovi (temperatura, vlažnost, opterećenje), kvalitet materijala, efikasnost hlađenja, kvalitet montaže i redovno održavanje.

Ako se redovno vrši servis, kao što su inspekcije, čišćenje i zamena delova, transformator može raditi duže od svoje projektovane trajnosti.

Preostali vek konkretnog transformatora veliki je pokazatelj njegove tržišne vrednosti.

4.2 Starost transformatora

Čak i ako je transformator malo korišćen, godina proizvodnje može signalizirati dodatne mogućnosti kvara, jer se transformator, zbog loše zaptivenosti, mogao izložiti uticaju vlage u ulju, što može biti uzrok lošeg stanja, čak i lošeg stanja izolacionog papira namota.

Sa povećanjem starosti transformatora, dolazi do pogoršanja performansi, povećanja gubitaka i mogućih problema sa izolacijom i materijalima. To može značiti potrebu za većim troškovima za popravke ili nadogradnje.

Transformatori stariji od 30 godina obično zahtevaju detaljniju analizu stanja, jer mogu imati smanjenu efikasnost i povećane šanse za kvarove. U nekim slučajevima, može biti potrebno izvršiti modernizaciju kako bi se produžio njihov radni vek.

Ako transformator pokazuje visoke gubitke energije, lošu efikasnost ili probleme sa hlađenjem, to može biti indikator da su potrebni popravke ili da je u lošem stanju.

Napredak u tehnologiji često znači smanjenje gubitaka praznog hoda i kratkog spoja, više dijagnostike i automatizacije.

4.3 Stanje transformatora

Stanje transformatora se procenjuje na osnovu inspekcija, testova (rezultate električnih ispitivanja u pogonu, laboratorijskog (hemijskog) ispitivanja transformatorskog ulja, podatke iz održavanja i podatke o istorijatu njegovog rada i analize rada tokom vremena.

Ako je transformator održavan prema preporukama proizvođača i redovno servisiran, on može biti u dobrom stanju i dalje služiti svojoj funkciji bez većih problema.

Stanje transformatora određuje:

- redovnost održavanja,
- periodičnost ispitivanje,
- lokacija korišćenja (zagađena atmosfera, velike temperature ambijenta, itd.),
- da li je bio izložen čestim kratkim spojevima u mreži,

- da li je radio u režimu preopterećenja itd.

4.4 Dostupnost delova za popravku

Važno je uzeti u obzir dostupnost delova transformatora za popravke, kao što su regulaciona preklopka, uvodni izolatori, elektromotorni pogon regulacione preklopke itd.

Dostupnost delova za popravku velikih transformatora, kao što su oni sa naponom 110/35/10,5 kV i snagom 31,5 MVA, zavisi od faktora kao što su starost uređaja, proizvođač, vrsta komponenti koje je potrebno zameniti i tržište na kojem se transformator koristi.

Za nove transformatore, delovi su obično lako dostupni, dok kod starijih transformatora može doći do problema sa nabavkom specifičnih delova, što može dovesti do većih troškova ili čak potrebe za modernizacijom sistema.

Za starije transformatore može doći do problema sa dostupnošću rezervnih delova. Ako proizvođač više ne nudi podršku za određeni model ili ako je transformator star, može biti teško pronaći odgovarajuće delove.

Dostupnost delova na tržištu zavisi i od lokacije na kojoj se koristi transformator. U razvijenim zemljama, sa stabilnim tržištima energije, dostupnost rezervnih delova je obično bolja zbog konkurencije i razvijenih lanaca snabdevanja. S druge strane, u zemljama sa manjim tržištima ili u regionima sa lošijom infrastrukturom, može biti izazova u nabavci specifičnih delova.

4.5 Zastarelost transformatora

Ako je proizvođač prestao sa radom ili više ne podržava model transformatora, to može značajno uticati na njegovu vrednost.

Novi transformatori obično koriste naprednije materijale i tehnologije (naprimer bolje magnetne limove, efikasniji sistemi za hlađenje, bolji izolacioni materijali) koji omogućavaju veću efikasnost, manji gubitak energije i veću dugovečnost.

Transformatori stariji od 20 godina mogu koristiti tehnologije koje su sada zastarele u poređenju sa savremenim standardima. Na primer, stariji modeli mogu imati manju efikasnost u pogledu gubitaka energije ili koristiti zastarele sisteme hlađenja.

U nekim slučajevima, stariji transformatori mogu biti modernizovani ili nadograđeni kako bi zadovoljili novije energetske standarde i tehnologije.

5 ODREĐIVANJE FER TRŽIŠNE VREDNOSTI TRANSFORMATORA

Određivanje fer tržišne vrednosti transformatora je složen proces koji zahteva uzimanje u obzir niza faktora od tehničkih karakteristika transformatora do tržišnih uslova i ekonomskih faktora. Kombinovanjem tržišnih referenci, tehničkog pregleda i analiza amortizacije možemo dobiti realnu procenu tržišne vrednosti.

Određivanje fer tržišne vrednosti transformatora je važan proces koji se koristi u različite svrhe, kao što su računovodstvo, osiguranje, poreski tretman, prodaja ili kupovina transformatora.

Fer tržišna vrednost (FMV) se definiše kao cena koju bi transformator postigao na otvorenom tržištu, u uslovima slobodne konkurencije između prodavca i kupca koji deluju u obostranom interesu, bez prisile i pod pretpostavkom da su obe strane informisane.

Procena ključnih parametara transformatora samo je prvi korak u određivanju fer tržišne vrednosti. Ako se utvrđuje fer tržišna vrednost u svrhu kupovine ili prodaje opreme, ili ako obračunavamo amortizaciju za poreske svrhe, možemo primeniti drugačiji pristup proceni.

5.1 Poređenje prodaje

Ovaj pristup se zasniva na stvarnim cenama slične opreme, uz prilagođavanje gore navedenim faktorima. Istraživanjem tržišta i upoređivanjem cena po kojima je slična nova ili polovna oprema prodana, možemo dobiti ideju o konačnoj ceni koju bi oprema mogla da postigne.

Ako je transformator korišćen, potrebno je analizirati tržište rabljenih transformatora kao referenca za procenu cene.

Korišćeni transformatori kojih ima više na tržištu će dati najbolju procenu. Ako nemamo sa čime da uporedimo, naš transformator, biće teže napraviti tačnu procenu.

Ako postoji velika potražnja za određenim tipom transformatora (naprimer za specifične primene ili specijalizovane industrije), vrednost može biti viša.

U nekim slučajevima, ekonomski uslovi u određenom regionu mogu uticati na tržišne cene, kao što su potražnja za energijom, infrastrukturni projekti ili zakonodavne promene.

Ako je tržište specifično ili je procena komplikovana, potrebna je pomoć angažovanjem profesionalnog procenjivača ili konsultanta specijalizovanog za električnu opremu.

Sertifikovani inspektori: Mogu obaviti inspekciju i utvrditi tehničko stanje transformatora, što može uticati na njegovu vrednost.

5.2 Troškovni pristup

Ako ne postoji aktivno tržište za vrstu opreme koja se vrednuje, onda je troškovni pristup korisna metoda. Ovo se zasniva na ceni zamene za konkretnu opremu, a zatim se taj broj prilagođava za preostali životni vek, starost i stanje.

S druge strane, pod troškovnim pristupom, uzimaju se u obzir trenutne prodajne cene identičnih mašina od stvarnih dobavljača, tako da je ovaj unos manje subjektivan.

Troškovni princip prodaje ili kupovine transformatora 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA uključuje razmatranje svih faktora koji utiču na cenu transformatora. To su specifični tehnički, logistički i ekonomski faktori koji oblikuju troškove kako za prodaju, tako i za kupovinu transformatora.

Troškovni princip u vezi sa kupovinom ili prodajom korišćenih transformatora 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA zahteva detaljnu analizu svih navedenih faktora kako bi se osigurao pravi ekonomski izbor. Uzimanje u obzir direktnih i indirektnih troškova, troška rizika, održavanja i operativnih troškova omogućava precizno određivanje pravedne cene i ekonomske isplativosti takve investicije ili prodaje.

5.3 Prihodovni pristup

Treba da se procene buduće godine životnog veka transformatora i proceni dobit od njegovog rada.

Po prihodovnom pristupu utvrde se prilive gotovine na osnovu nekih prognoza, ali su i oni podložni visokom stepenu neizvesnosti.

S druge strane, pod troškovnim pristupom, uzimaju se u obzir trenutne prodajne cene identičnih mašina od stvarnih dobavljača, tako da je ovaj unos manje subjektivan.

Finansiranje po fer tržišnoj vrednosti dobijamo jednostavan način da upravljamo svojim novčanim tokom prilikom kupovine ili prodaje.

6 PROCENA VREDNOSTI KONKRETNOG ENERGETSKOG TRANSFORMATORA

Za procenu tržišne vrednosti predmetnog energetskog transformatora biće primenjena troškovna metoda.

Za novonabavnu vrednost uzeta je zadnja vrednost postignuta na javnom tenderu [4] koja je iznosila 57.281.400 dinara;

Vrednost amortizacije je $34/35 = 0,98$ što znači da je transformator 98% već amortizovan;

Korekcija na osnovu trenutnog stanja: Obzirom da je transformator u redovnoj funkciji i da mu je “indeks zdravlja “ u stanju između “USLOVNO DOBRO “ I “DOBRO” procenjujemo da je po ovom kriterijumu vrednost transformatora 20% od novonabavne vrednosti;

Korekcija na osnovu dosadašnjeg ulaganja u održavanje: Obzirom da je transformator u redovnoj funkciji i da mu je “indeks zdravlja “ u stanju između “USLOVNO DOBRO “ I “DOBRO” procenjujemo da je po ovom kriterijumu kvaliteta održavanja vrednost transformatora 10% od novonabavne vrednosti.

Na osnovu gore navedenog ukupna procenjena vrednost energetskog transformatora je:

$$57.281.400 \cdot (20 \% + 10 \%) / 100, \text{ dinara,}$$

$$57.281.400 \cdot 0,3 = 17.184.420,00 \text{ dinara.}$$

7 ZAKLJUČAK

Ovo je jedan praktičan slučaj (i ne baš čest), kada zbog kupovine ili prodaje energetskog transformatora, koji se ne nalazi često na tržištu, treba doneti odluku o njegovoj tržišnoj vrednosti.

Do konačnog odgovora o stanju konkretnog transformatora 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA i njegove fer vrednosti došlo se koristeći:

- iskustvo,
- podatke o uslovima rada transformatora,
- izveštaje o periodičnim ispitivanjima,
- izveštaje o stanju izolacije od ulja i čvrste papirne izolacije,

- uticaj pogonskih događaja u mreži 10 kV,
- algoritam „Indeks zdravlja“ (IZ) [1],
- filozofiju razmišljanja o fer vrednosti transformatora.

To je bio pojednostavljen pristup, koji je dao odgovor o mogućoj tržišnoj vrednosti konkretnog transformatora, mada postoji mnoštvo veoma kompleksnih metoda, koje se nude u literaturi, koje bi zahtevale znatno veće poznavanje parametara, koje nemamo na raspolaganju, i alat koji treba imati i poznavati.

Stoga možemo smatrati da je ovo samo jedan od mogućih načina da se utvrdi stanje i vrednost određenog transformatora 110/35/10,5 kV, 31,5 MVA.

8 LITERATURA

- [1] Milosavljević S., Elektrotehnički institut “Nikola Tesla”, Janjić A., Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Procena indeksa zdravlja transformatora u slučaju nepouzdanih informacija, strane 2,4 i 5;
- [2] Podaci o održavanju transformatora broj 335137, Distribucija Srbije, Ogranak Niš, 31.10.2023;
- [3] Izveštaj broj 421481- L, Ispitivanje izolacionih ulja iz energetskih transformatora, Instituta Nikola Tesla, Laboratorija za ispitivanje i etaloniranje, Beograd od 25.01.2022;
- [4] Podaci Kodar, Beograd o ranije postignutim cenama na tenderima novih transformatora sličnog tipa, decembar 2023;
- [5] TEAM FINANCIAL GROUP, INC. Your equipment financing partner How to Determine Fair Market Value for Your Used Equipment;
- [6] TP 15 Obim i učestanost radova na održavanju EEO, Novembar 2012, JP EPS;
- [7] E. Duarte, D. Falla, J. Gavin, M. Lawrence, T. McGrail, D. Miller, P. Prout, B. Rogan, “A Practical Approach to Condition and Risk Based Power Transformer Asset Replacement”, IEEE, 2010;
- [8] S.V. Kulkarni, S.A. Khaparde - “Transformer Engineering: Design and Practice”, knjiga;
- [9] Nomenklatura amortizacije osnovnih sredstava, koja je deo Pravilnika o klasifikaciji osnovnih sredstava i utvrđivanju amortizacije.