



TRANSFORMATORI ZA VETROELEKTRANE-ZAHTEVI

TRANSFORMERS FOR WIND POWER PLANTS-REQUIREMENTS

Ivan JAGODIĆ, JP Elektroprivreda Srbije, Beograd, Srbija
Zdravko RISTIĆ, Elektrodistribucija Srbije doo Beograd, Srbija
Zoran ĆIRIĆ, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija
Mihajlo RISTIĆ, Agencija Q-Total, Beograd, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu su izloženi zahtevi i pravila dobre prakse za transformatore za vetroelektrane koji su povezani sa generatorom.

Zahtevi se odnose na transformatore suvog tipa i transformatore potopljene u tečnost sa najvišim naponom za opremu do i uključujući 72,5 kV. Obrazloženo je da se ne mogu ugrađivati konvencionalni distributivni transformatori kao jeftinije rešenje, već transformatori visokog kvaliteta dizajnirani za otežane uslove. Obrađeni su normalni uslovi rada, posebni uslovi rada za montažu u toranj ili gondolu, korekcija porasta temperature, sadržaj harmonijskih struja, prekomerna ekscitacija, harmonijsko izobličenje napona, prelazni naponi, nivo vibracija.

Date su električne karakteristike, termički ciklus transformatora, regulaciona preklopka, mogućnosti preopterećenja, sposobnost da izdrži kratak spoj, zaštita od previsoke temperature.

Ključne reči: dobra praksa, kvalitet, standardi, transformator, vetroelektrana, zahtevi.

ABSTRACT

The paper presents the requirements and rules of good practice for wind power transformers connected to the generator. The requirements refer to dry type transformers and transformers immersed in liquid with the highest voltage for equipment up to and including 72.5 kV. It is explained that it is not possible to install conventional distribution transformers as a cheaper solution, but high quality transformers designed for difficult conditions. Normal operating conditions, special operating conditions for tower- or gondola mounting, temperature rise correction, current's harmonic content, over-excitation were processed, as well as harmonic voltage distortion, transient voltages, vibration level. Electrical characteristics, thermal cycle of the transformer, control switch, overload possibilities, ability to withstand short circuit, protection against excessive temperature are given.

Keywords: good practice, quality, standards, transformer, wind power plants, requirements.

Ivan Jagodić – ivan.jagodic@eps.rs, Zdravko Ristić – zdravko.ristic@ods.rs,
Zoran Ćirić – zciric@ieent.org, Mihajlo Ristić – mihajloristic16@yahoo.com

1. UVOD

Vetroelektrane (VE) imaju u svom sastavu kapitalnu opremu, prateću opremu i logistiku i dosta su kompleksni i zahtevni sistemi. U Srbiji je trenutno priključeno na mrežu oko 400 MW VE. Dozvole su izdate za još oko 2.600 MW. Uz VE, bar do sada, ne idu skladištenja električne energije, reverzibilnog tipa [1].

VE imaju u svom sastavu kapitalnu opremu (tu spada i energetska transformator (ET)), prateću opremu i logistiku.

Elektrooprema VE predstavlja dugotrajna proizvodna dobra koju definišu otežani uslovi rada, visoki nivo kvaliteta, pouzdanost i detaljne kontrole kvaliteta i koja se planski nabavlja i ima specifične zahteve i karakteristike [1].

Pouzdan rad elektroenergetskog sistema (EES) zavisi od doprinosa svakog pojedinačnog elementa održavanju sigurnosti i pouzdanosti, pa samim tim i VE. Može se reći da visoki stepen penetracije VE predstavlja izazov u očuvanju stabilnosti, sigurnosti i pouzdanosti EES. Neizvesnost koja nastaje iz meteoroloških uslova utiče na širok raspon regulacionih aktivnosti vezanih uz planiranje i vođenje pogona na nivou sistema. Neupravljivost izlaznih veličina predstavlja ozbiljnu prepreku koja često rezultira visokom procenom troškova pomoćnih usluga iz upravljivih konvencionalnih elektrana. Troškove pomoćnih usluga snosi Operator prenosnog sistema, to znači da ukoliko dođe do nedozvoljenog odstupanja u sistemu, Operator treba da ih reguliše i otkloni. Zato je neophodno kvalitetno uraditi zahteve u tehničkim specifikacijama za opremu VE, a pogotovo za ET koji spada u kapitalnu opremu VE, a za ove ET su znatno strožiji zahtevi nego za distributivne ET.

Bazni zahtevi za transformatore za VE su dati u standardu IEC/IEEE 60076-16 [2]. Ovaj standard se poziva na druge standarde u kojima su bliže i detaljnije obrađeni pojedini zahtevi.

Transformator vetroelektrane (wind turbine transformer) po definiciji je: transformator za podizanje napona generatora (generator step up transformer) koji povezuje vetroelektranu sa sistemom za prikupljanje energije vetroelektrana ili susedne distributivne mreže za pojedinačne instalacije vetroelektrana.

Standard IEC/IEEE 60076-16 [2] primenjuje se na ET suvog tipa i ET uronjene u tečnost za aplikacije za pojačavanje napona, koji imaju namotaj sa najvišim naponom za opremu do i uključujući 72,5 kV. Ovaj dokument se odnosi na ET koji se koristi za povezivanje generatora VE na sistem za prikupljanje energije vetroparka ili na susednu distributivnu mrežu, a ne na ET koji se koristi za povezivanje nekoliko VE na distributivnu ili prenosnu mrežu.

2. USLOVI RADA

2.1 Normalni uslovi rada

Normalni radni uslovi navedeni u SRPS EN 60076-1 [3] za ET uronjene u tečnost ili normalni radni uslovi u SRPS EN 60076-11 [4] za ET suvog tipa primenjuju se osim ako nije drugačije navedeno u ovom dokumentu ili je odredio naručilac.

Temperatura spoljašnjeg rashladnog medija

Ako je ET instaliran izvan tornja ili gondole, primenjuju se normalni uslovi navedeni u IEC 60076-1 [3] za ET uronjene u tečnost i SRPS EN 60076-11 [4] za ET suvog tipa, ukoliko nije drugačije naznačeno. Ako je ET instaliran unutar tornja ili gondole onda se primenjuju posebni uslovi kao što je prikazano u 2.2.

2.2 Posebni uslovi rada za ET ugrađene u toranj ili gondola

ET imaju kompaktni dizajn za prolaz kroz vrata tornja bez rastavljanja. ET suvi i punjeni tečnošću mogu se ugraditi u toranj ili gondolu, kako u kopnene tako i u morske VE [5].

- Istaknute karakteristike ET, prema pravilima dobre prakse:

- Klase E2, C2, F1; - Temp. izolacionog sistema do 180 °C za suve ET; • Mogućnosti hlađenja organskom tečnošću.

- Tehničke informacije su:

- Suvi ET do 72,5 kV i 40 MVA; • ET punjeni tečnošću do 72,5 kV i 40 MVA.

Tamo gde je ET ugrađen u toranj ili gondolu, mogu se očekivati više temperature rashladnog medijuma.

2.2.1. Korekcija porasta temperature Na osnovu ambijentalnih uslova instalacije, naručilac će odrediti prosečnu godišnju i maksimalnu temperaturu efektivnog rashladnog medija (npr. vazduha ili vode). Ako godišnja prosečna ili maksimalna temperatura rashladnog medijuma premašuje relevantnu vrednost u odgovarajućem standardu, razlika između vrednosti i vrednosti "normalnih uslova rada" će se oduzeti od granica porasta temperature navedenih u SRPS EN 60076-2 [6], SRPS EN 60076-11 [4] na sledeći način:

$$K_{max} = T_{max\ ecm} - T_{max\ std} \quad (1)$$

$$K_{av} = T_{av\ ecm} - T_{av\ std} \quad (2)$$

Gde su:

K_{max} - temperaturna korekcija za maksimalnu temperaturu okoline;

K_{av} - temperaturna korekcija za godišnju prosečnu temperaturu okoline;

$T_{max\ ecm}$ - maksimalna temperatura efektivne rashladne tečnosti (*effective cooling medium*);

$T_{max\ std}$ - maksimalna temperatura okoline efektivne rashladne tečnosti prema relevantnom standardu;

$T_{av\ ecm}$ - prosečna temperatura efektivne rashladne tečnosti;

$T_{av\ std}$ - godišnja prosečna temperatura okoline efektivnerashladne tečnosti prema relevantnom standardu.

U ET potopljenim u tečnost, K_{max} se može koristiti za određivanje granice porasta temperature za gornju temperaturu tečnosti. Ako je jedina dostupna informacija maksimalna temperatura okoline, može se pretpostaviti da je povećanje godišnje prosečne temperature okoline isto kao i povećanje maksimalne temperature okoline, čineći da su K_{av} i K_{max} jednaki.

Na primer, za ET koji koristi izolacioni materijal termičke klase 105 (običan kraft papir uronjen u mineralno ulje) instaliran u okruženju gde je prosečna temperatura 32°C i maksimalna temperatura okoline 48°C, korigovane granice porasta temperature zasnovane su na na SRPS EN 60076-2 [6] bi bile: $K_{av} = 12^\circ\text{C}$, $\Delta\theta_w = 53^\circ\text{C}$.

Limit nadtemperature za namotaje hladene ON i OF je 65°C.

U Srbiji je najviša temperatura od +44,9°C, izmerena je 24.7.2007. godine u Smedervskoj Palanci, pa je na Stručnom savetu JP EPS predloženo da se ET nabavljaju za maksimalnu temperaturu ambijenta od +45°C [7,8].

Uticao spoljašnjeg direktnog sunčevog zračenja naručilac treba da uzme u obzir prilikom izračunavanja temperature efektivnog rashladnog medijuma. Metode za određivanje efekta date su u SRPS EN IEC 60721-3-4 [9].

$$\Delta\theta_h = 78 - K_{av} = 78 - 12 = 66^\circ\text{C} \quad (3)$$

Za namotaje, u ulju, najtoplija tačka namotaja je 78°C.

Za ET potopljene u tečnost K_{max} se može primeniti:

$$K_{max} = (48 - 40) = 8^\circ\text{C} \quad (4)$$

$$\Delta\theta_o = 60 - K_{max} = 60 - 8 = 52^\circ\text{C} \quad (5)$$

Limit nadtemperature za gornje ulje je 60°C.

Za ET ugrađene u toranj ili gondolu, naručilac će pažljivo razmotriti uticaj na temperaturu kućišta, toplotu koju proizvodi druga oprema i sam ET, i sistem za hlađenje / sistem za obnavljanje vazduha, ako je primenljivo (Slika 1). Kao referenca, ako nema boljih informacija, toplotno opterećenje ET, u kilovatima, može se proceniti na 1,5 % njegove naznačene snage (kVA).



Slika 1: ABB suvi transformator za VE [25]

Uticao spoljašnjeg direktnog sunčevog zračenja naručilac treba da uzme u obzir prilikom izračunavanja temperature efektivnog rashladnog medijuma. Metode za određivanje efekta date su u SRPS EN IEC 60721-3-4 [9].

2.3 Sadržaj harmonijskih struja u ET

Naručilac je dužan da proceni veličinu i frekvenciju harmonijskih struja koje se dovode u ET.

Tamo gde je ukupan sadržaj harmonika manji od 5% naznačene struje nisu potrebne dodatne informacije.

Kada je ukupan sadržaj harmonika veći od 5 %, naručilac mora navesti veličinu i frekvencije svih harmonijskih struja koje napajaju ET. Proizvođač će izračunati dodatne gubitke pri naznačnoj snazi uzrokovane ovim strujama koristeći metodu datu u IEC 61378-1 [10] ili prema dogovoru između naručioca i proizvođača.

Tokom ispitivanja porasta temperature ET treba da se napaja dodatnom strujom koja predstavlja dodatne gubitke harmonika u svrhu određivanja porasta temperature.

Metod za izračunavanje uticaja harmonijskih struja na dizajn ET je dat u SRPS EN 61378-1 [10].

U ovom standardu je navedeno dovoljno proračuna i zahteva, a u zavisnosti od tipa, vrste i karakteristika pretvarača.

2.4 Prekomerna ekscitacija

Osim ako naručilac nije drugačije odredio, ET će biti sposobni da rade neprekidno iznad naznačenog napona ili ispod nazivne frekvencije, pri maksimalnoj naznačenoj snazi (kVA) za bilo koji položaj preklopke, bez prekoračenja granica porasta temperature kada preovladavaju svi sledeći uslovi.

a) Kada radi pod opterećenjem:

- 1) sekundarni napon i volti po hercu ne prelaze 115% naznačenih vrednosti i sa minimalnom frekvencijom od 95% naznačene vrednosti;
- 2) faktor snage je 0,8 ili veći. (treba da bude veći od 0,95).

b) Kada rade bez opterećenja, ET moraju biti sposobni da rade kontinuirano iznad naznačenog napona ili ispod naznačene frekvencije, za bilo koji položaj preklopke, bez prekoračenja granica vidljivog porasta temperature, kada ni napon ni volti po hercu ne prelaze 120% naznačenih vrednosti.

2.5 Harmonijsko izobličenje napona

Kada se očekuje da harmonici napona napajanja budu veći od 5% naznačenog napona, naručilac mora navesti veličinu i frekvenciju svih harmonijskih napona prisutnih u naponu. ET treba da bude projektovan da izdrži specifikirano stanje ili 5% naznačenog napona, koji god je veći, bez oštećenja.

2.6 Prelazni naponi

a) Normalna impulsna zaštita

Ostvaruje se za atmosferski udarni napon ET (LI- lightning impulse) (videti SRPS EN 60076-3 [11] i prema zahtevima datim u radu [12].

b) Prenaponi izazvani komutacijom

Komutacioni prelazni naponi, proizvedeni od vakuumskih prekidača i/ili sklopnih uređaja SF6, doveli su do dielektričnih kvarova nekih ET za VE. Prvi i poslednji ET u nizu su obično najugroženiji i to najviše kada su struje male, a faktor snage posebno nizak.

Ovo je složen fenomen koji nije detaljno obrađen u ovom dokumentu, ali bi ga trebalo proceniti sistemskom studijom. Ako studija sistema zahteva akciju, treba primeniti tehnike ublažavanja.

2.7 Vlažnost i salinitet

Naručilac je dužan da definiše maksimalne nivoe vlažnosti i saliniteta kojima će ET biti izloženi. Nivoi vlažnosti i saliniteta povezani sa primenama na obali ili na moru doveli su do problema na ET. To može uključivati:

- slani sprej (*salt spray*) ili druga zagađenja;
- prekomerna vlaga i vlažnost (*moisture and humidity*);
- kapajuća voda (*dripping water*);
- kondenzacija (*condensation*).

Efekti ovih problema će uticati na različite tehnologije ET na različite načine (npr. uronjen u tečnost u odnosu na suvi tip).

Neke od oblasti mogućeg ublažavanja uključuju:

- a) povećani i sveobuhvatniji ciklusi održavanja;
- b) izbegavanje vazdušno izolovanih terminala i izloženih provodnika, na primer, postavljanjem poklopca čaura ili kolenastih konektora;
- c) povećane puzne staze.

2.8 Nivo vibracija

Prilikom projektovanja ET treba uzeti u obzir vibracije konstrukcije na kojoj će se ugraditi ET. Naručilac će odrediti spektar vibracija u fazi upita. Procedura ispitivanja ET vibracijama, ako postoji, treba da bude dogovorena u fazi upita između naručioca i proizvođača.

2.9 Zaštita od korozije

U zavisnosti od vrste instalacije, naručilac će navesti klasu zaštite definisanu u SRPS EN ISO 12944 (svi delovi). Osim ako nije drugačije naznačeno, koristiće se nivo C4 (SRPS EN ISO 12944-4 [13]), osim za priobalne instalacije gde nivo C5-M (SRPS EN ISO 12944-4 [13]) ili viši može biti odgovarajući.

2.10 Razmatranje hermetički zatvorenih ET

Hermetički zatvoren ET treba da bude projektovan da izdrži bez trajne deformacije očekivane pritiske koji se javljaju u specificiranom temperaturnom opsegu tokom punog opterećenja ET (SRPS EN 50588-1:2015, 9.4) [14].

2.11 Problemi sa zapaljivošću kod ET postavljenih u toranj ili gondolu

Za ET montirane u toranj ili gondolu, preporučuju se manje zapaljive izolacione tečnosti ili suva konstrukcija. Za ET suvog tipa specificirane prema SRPS EN 60076-11 [4], klasa požara F1 mora biti specificirana kao minimum.

2.12 Termički ciklus ET

ET za VE su izloženi značajnom termičkom ciklusu koji dovodi do mehaničkog slabljenja kotla kod ET uronjenih u tečnost ili do oštećenja namotaja u ET suvog tipa od livene smole. Kupci bi trebalo da razmotre povećanje broja ciklusa potrebnih tokom testiranja izdržljivosti, posebno kada se primenjuje prinudno hlađenje vazduhom.

Ispitivanje termičke izdržljivosti za ET potopljene u tečnost treba da bude u skladu sa SRPS EN 50588-1:2020, tačka 9.4.5 [14].

Ispitivanja termičke izdržljivosti za ET suvog tipa podležu dogovoru između naručioca i proizvođača. Broj ciklusa za ispitivanje termičke izdržljivosti ne sme biti manji od 2.000 ciklusa. Obično se pretpostavlja da je termički ciklus povezan sa nivoom opterećenja, ali tokom konstantnog opterećenja pri naznačenoj snazi mogu se pojaviti česti termički ciklusi kada se koristi komutirano prinudno vazdušno hlađenje.

3. ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE

3.1 Najviši napon za opremu

Najviši napon za opremu mora biti specificiran u skladu sa SRPS EN 60076-3 [11].

3.2 Regulaciona preklopka

Regulacija napona se vrši kod ET veće snage a kod ostalih ET prema dogovoru između naručioca i proizvođača. Za ET sprega mora pažljivo da se definiše, a prema veličinama harmonika koji dolaze od pretvarača. Ukoliko naručilac nije drugačije odredio, priključna grupa za dvonamotajni trofazni ET treba da bude Dyn11 ili NN koji zaostaje za VN za 330 stepeni. Ostale kombinacije namotaja podležu dogovoru između naručioca i proizvođača.

3.3 Dimenzionisanje neutralnog priključka

Neutralni priključak mora biti sposoban da nosi naznačenu struju pune faze osim ako naručilac ne odredi drugačije.

3.4 Impedansa kratkog spoja

Uobičajene minimalne vrednosti za impedansu kratkog spoja ET pri naznačenoj struji date su u tabeli 1. Ako su potrebne niže vrednosti, sposobnost ET da izdrži kratak spoj biće predmet dogovora između proizvođača i naručioca.

Tabela 1 – Preporučene minimalne vrednosti kratkog spoja

Naznačena snaga kVA	Minimalna impedansa kratkog spoja %
25 do 630;	4,0
631 do 1250;	5,0
1251 do 2500;	6,0
2501 do 6300;	7,0
6301 i više;	8,0

3.5 Nivoi izolacije za namotaje visokog i niskog napona

Nivo izolacije za namotaje visokog i niskog napona treba da bude u skladu sa SRPS EN 60076-3 [11]. Nivoi izolacije se mogu povećati ukoliko je potrebno.

3.6 Mogućnost preopterećenja

Maksimalna održiva izlazna snaga (uključujući reaktivnu snagu) VE neće se smatrati uslovom preopterećenja za ET i biće predviđena u naznačenom nazivu. Maksimalni održivi i vršni ciklus(e) opterećenja, uključujući faktor snage u najgorem slučaju, definiše naručilac.

Principi u odgovarajućim zahtevima za terećenje će se primeniti na definisani ciklus opterećenja:

- za ET uronjene u tečnost, u SRPS EN 60076-7 [15];
- za ET suvog tipa, u IEC 60076-12 [16];
- za visokotemperaturne ET uronjene u tečnost, u SRPS EN 60076-14 [17].

Priključci ET i svi prekidači (npr. beznaponska regulaciona preklopka) moraju biti odgovarajuće dimenzionisani da nose vršna preopterećenja.

3.7 Udarna struja (*Inrush current*)

Osim ako naručilac nije drugačije odredio, prividna snaga kratkog spoja sistema će se smatrati u skladu sa IEC 60076-5, tačka 3.2.2.4 [18]. Ograničenja u vršnoj vrednosti udarne struje ili dužini trajanja takve struje će odrediti naručilac.

3.8 Učestalost uključivanja (*Frequency of energization*)

Kada je učestalost uključivanja veća od 24 događaja godišnje, očekivanu vrednost daje naručilac.

3.9 Sposobnost da izdrži kratak spoj

Transformatori moraju biti u skladu sa zahtevima SRPS EN 60076-5 [18].

3.10 Rad sa prinudnim hlađenjem

Kada je obezbeđeno dodatno hlađenje pomoću ventilatora ili pumpi, naznačena snaga sa i bez prinudnog hlađenja biće u skladu sa SRPS EN 60076-1 [3] za ET uronjene u tečnost ili sa SRPS EN 60076-11 [4] za ET suvog tipa.

Za ET suvog tipa prisilno vazdušno hlađenje ne bi trebalo da utiče na temperaturu senzora. Treba izbegavati direktan protok vazduha na senzore.

Kontrola opreme za prinudno hlađenje za ET potopljene u tečnost treba da bude putem praćenja temperature namotaja i/ili praćenja temperature gornjeg ulja bilo direktnim metodama ili simulacijom.

3.11 Zaštita od previsoke temperature

Osim ako nije drugačije naznačeno, za ET montirane u toranj ili gondolu, proizvođač će obezbediti odgovarajući detektor previsoke temperature koji može da obezbedi alarm ili signal za isključenje.

Efekt harmonika napona, razmatranje dizajna i specifikacija vrši se prema IEC/IEEE 60076-16 [2].

Posebno treba obratiti pažnju na efekte brzog povećanja snage zbog brzog povećanja struje tokom brze promene brzine vetra na koju motori za podešavanje nagiba lopatica sporo reaguju. SRPS EN 60076-14, Aneks B se odnosi na efekat mehurića koji može biti uzrokovan brzim efektom povećanja i treba ga uzeti u obzir [17].

Pored toga, treba obratiti pažnju na sledeće:

- filtriranje harmonijske struje;
- harmonijski uticaj na neutralni provodnik;
- oprema za korekciju faktora snage;
- elektrostatička zaštita;
- analiza harmonijskog spektra;
- dizajn namotaja za ublažavanje toplote koja se pripisuje vrtložnim strujama;
- gubitke pri izvođenju proračuna porasta temperature;
- komutacioni tranzijenti prenaponi.

Potrebno je dodatno razmotriti česte promene protoka energije, porast toplote tokom postizanja stabilnosti rada u poremećenim režimima (LVRT- Low Voltage Ride Through) i harmonijsko opterećenje zbog opreme za poboljšanje faktora snage.

Treba razmotriti i efekte harmonika napona.

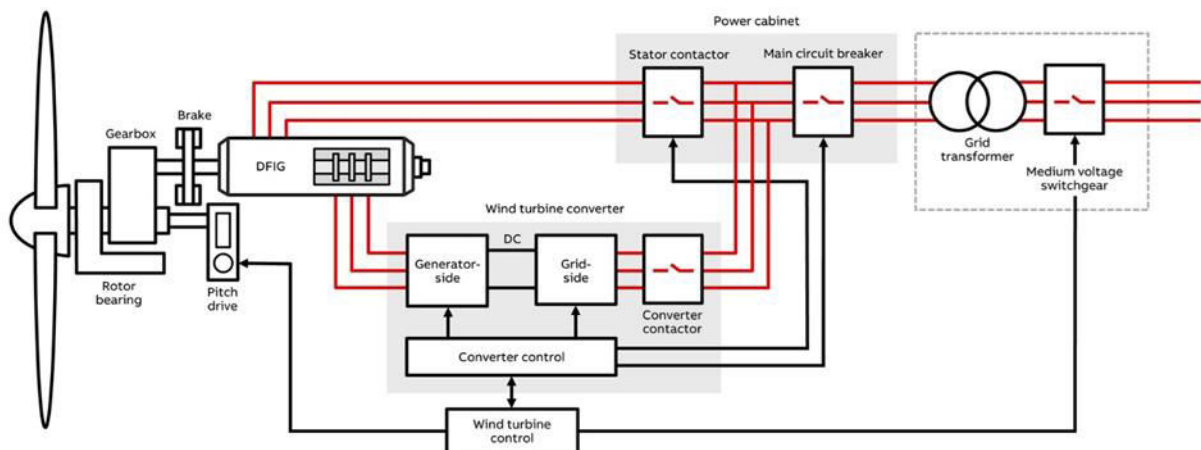
Efekat ovog izobličenja napona dovodi do povećanja:

- gustine magnetnog fluksa;
- nivoa buke;
- temperature magnetnog jezgra;

Zahtevi su detaljnije dati u IEC/IEE 60076-16, Aneks A.2. [2].

4. MODERNE TEHNOLOGIJE VE

Zbog promenljivosti brzine vetra, veoma je poželjno da pogon turbine bude sa promenljivom brzinom. Takođe, porastom snage turbine kontrolni parametri postaju sve više važni, tako da je neophodno implementirati energetska elektronika kao interfejs između VE i mreže. Turbina sa promenljivom brzinom poboljšava dinamičko ponašanje turbine i omogućava pogon sa maksimalnom snagom na određenoj brzini vetra i kontrolu toka aktivne i reaktivne snage. Ostale prednosti su smanjeni mehanički stres, manje pulsacije momenta i snage, poboljšani kvalitet napona i manja buka na malim brzinama vetra. Razlikuju se VE sa delimično regulisanim brzinama i sa punom regulacijom brzine [19]. Oprema VE sa dvostruko napajanim generatorom do 15kV data je na slici 2.



Slika 2: Koncept vetroelektrane sa generatorom napona do 15kV

Oprema: Ležaj rotora-elisa, -Sistem za zakretanje elisa sa pogonom; Menjač; Sistem za zaustavljanje-Kočnica ; Dvostruko napajani generatori-DFIG; Orman za napajanje, kontaktor statora-glavni prekidač; Mrežni transformator; Srednjenaponski sklopni uređaj; Konvertor vetrogeneratora, Strana generatora/DC/Strana mreže/ Kontaktor pretvarača/ Kontrola pretvarača; Regulacija menjača-Kontrola vetroturbine, Anemometar, Vetrokaz.

5. OBEZBEĐENJE KVALITETA TRANSFORMATORA ZA VE

Okruženje ugradnje ET za VE i zagrevanje izazvano maksimalnim radnim strujama treba da se proveriti. Obim evaluacije kvaliteta [20] uključuje: – tipska i komadna ispitivanja, – test vibracija, – ispitivanje životne sredine, - sistem hlađenja, – postavljanje i uzemljenje i – oprema za zaštitu i nadzor.

5.1 Metodologija za transformatore (ET) za VE

Pravilno definisanje tehničkih karakteristika i ispitivanja pri nabavci novih ili remontu ET iz pogona, omogućava da navedeni ET u potpunosti odgovore svojoj nameni u EES, uz zadovoljavanje svih tehničko-ekonomskih kriterijuma. Dosadašnja praksa pri izradi tenderske dokumentacije za nabavku ili remont ET je koristila relevantne standarde, tehničke dokumentacije postojećih ET i iskustva stručnjaka. Metodologija za ET treba da objedini pravila dobre prakse i da uvede dodatne sekcije na osnovu aktuelnih pitanja na tržištu, zahteve i uslove prema SRPS EN standardima, od kojih su mnogi doneti pod IEC 60076-x. Format i sadržaj tehničkih specifikacija nisu konstantni. Oni se razlikuju prema posebnim potrebama opreme, kao i na drugim faktorima, kao što su nabavke naručioca, ekonomske i operativne politike, kao i tehnološke inovacije od strane proizvođača i dobavljača materijala.

Kupci bi trebalo da zapamte da se stalno menja zakonodavni i regulatorni ambijent u kojem operatori sistema često promene zahteve u politici ili rešenja za opremu koja se kupuje i to bi trebalo da se ogleda u specifikaciji. Ako je dokument namenjen za korišćenje direktno kao specifikacija za kupovinu, onda reči kao što su “treba”, “možda” i “mogli” ne treba koristiti u ovom dokumentu. Kupci moraju stoga, da jačaju formulaciju odgovarajućih klauzula u svojim specifikacijama pomoću reči kao što je “mora” kao i da ukažu na obavezne uslove.

Detaljne tehničke karakteristike i pravila dobre prakse mogu se videti u Metodologiji za ET za VE [21] čiji sadržaj je pregledno dat u Prilogu ovog rada.

6. SERTIFIKACIJA VETROELEKTRANA (VE)

Šema sertifikacije za sertifikaciju tipa i komponenti VE date su u procedurama sertifikacionih tela [22, 23]. Specifikacija usluga koja se primenjuje na sertifikaciju tipa VE, počela je od 2010. godine a sertifikacija komponenti je išla sukcesivno kako su se donosili standardi za komponente. Šeme sertifikacije tipa i komponenti su prilagođene da zadovolje potrebe tržišta i očekivanja zainteresovanih strana. Tokom procesa ažuriranja šeme, naponi su bili usmereni na dolazak na sledeći nivo sertifikacije i standardizacije; osim modula i elemenata sertifikacije ovo uključuje sve tehničke aspekte utvrđene standardima i preporučenim praksama.

Počevši od objavljivanja standarda za elektrotehniku u 2016. godini, sertifikaciona tela su poboljšavala i proširivala svoje usluge iz sertifikacije. Dokumenti o sistemima upravljanja i zaštite, komponentama mašina i mašinstvu, potpornim konstrukcijama ili ekstremnim temperaturama zaokružuju punu šemu. Svi oni su povezani specifikacijama usluga za sertifikaciju komponenti, tipa i projekta i mogu se dopuniti dokumentima na npr. produženje veka trajanja, zaštitu od korozije i sl. Za sve standarde moraju biti ispunjeni svi zahtevi navedeni u njima. Odstupanja od ovih zahteva ili primena alternativnih sredstava za ispunjavanje ovih zahteva su prihvatljivi nakon konsultacija sa sertifikacionim telom. Od suštinskog je značaja da se ekvivalentan nivo bezbednosti i pouzdanosti može demonstrirati primenom alternativnih metoda, testova, analiza ili rešenja.

7. ZAŠTO TRANSFORMATORI VETROELEKTRANA TAKO ČESTO OTKAZUJU?

Korišćenje konvencionalnih distributivnih ET za VE zbog smanjenja troškova je potpuno neopravdano. Neobičan ciklus rada (unusual duty cycle) energije vetra zahteva znatno stroži dizajn. Žurba za instaliranjem VE nadmašila je uobičajenu razvojnu krivu učenja, onu u kojoj nove tehnologije sazrevaju putem pokušaja i grešaka i definišu opremu koja je dobro prikladna za posao koji se obavlja. U ovoj žurbi 21. veka zemlje žele da unovče energiju vetra, a dizajneri VE često menjaju niske početne troškove za veće ukupne troškove vlasništva koje na kraju snose vlasnici i operateri VE. Nigde ovo nije očiglednije nego kod pojačanih ET za VE povezanih na pretvarače.

Ključne karakteristike pojačanih ET na koje vlasnici i projektanti VE treba da obrate pažnju uključuju opterećenje ET, harmonijska i nesinusoidna opterećenja, dimenzionisanje ET, varijacije napona i posebne zahteve za otpornost na greške. Uloga pojačanog ET mora biti pravilno analizirana i procenjena. Industrija mora da pređe sa odluka o kupovini opreme zasnovane na najnižim početnim troškovima na opremu koja pruža najbolji izbor u smislu ukupnih troškova vlasništva, stabilnosti mreže i manjeg vremena zastoja i izgubljenog prihoda zbog problema sa češćim održavanjem. Pri donošenju odluka o kupovini treba uzeti u obzir najnoviju tehnologiju ET za VE. [24]

U ovom radu samo kratko naveli da transformatori vetroelektrana često otkazuju [24], a šire informacije o otkazima mogu se naći u radu sa CIGRE Canada 2020 [25].

8. ZAKLJUČAK

Interes investitora je da projekat izgradnje VE traje što kraće, kako bi VE što pre započela plasman električne energije po povlašćenju. Interes operatora prenosnog sistema je da što kvalitetnije utvrdi ispunjenje zahteva definisanih mrežnim pravilima.

ET za VE rade u oštrijim uslovima od konvencionalnih ET, pa zato imaju niz specifičnih zahteva prema važećim srpskim standardima, koji su u ovom radu navedeni.

Tu je i pitanje životnog veka ET za VE, uz mnoge otkaze koji su ovde samo pomenuti. Koliki je životni vek ET za VE, 30 godina ili kraći? Koliki je garantni period za ove ET, sedam godina (kao garancija za neke automobile) ili kraći?

A problemi su i oko održavanja ET, jer se ET i ostala oprema VE ne izrađuju u Srbiji.

Zato je neophodno kvalitetno uraditi zahteve u projektima i tehničkim specifikacijama za ET koji spada u kapitalnu opremu VE, a za koje su znatno stroži zahtevi nego za distributivne ET.

Kako bi se postigla visoka pouzdanost elektroopreme VE, izbegli sudski sporovi zbog neadekvatnog kvaliteta ET, odnosno da bi sam ET imao životni vek duži od 30 godina mora se kroz posebne projekte, procedure i

uputstva predvideti efikasno održavanje od strane domaćih stručnjaka, garantni period preko sedam godina i primeniti zahtevi koji su ovde navedeni kao i dizajn za otežane uslove uz visok nivo kvaliteta i pravila dobre prakse.

9. LITERATURA

- [1] Ristić A., Jagodić I. Bajić G., Ristić M., Obezbeđenje kvaliteta transformatora za vetroelektrane, Kvalitet&Izvršnost br. 3-4/2022.,
- [2] IEC/IEEE 60076-16:2018 , Power transformers - Part 16: Transformers for wind turbine applications,
- [3] SRPS EN 60076-1:2012. Energetski transformatori - Deo 1: Opšte,
- [4] SRPS EN IEC 60076-11:2019. Energetski transformatori – Deo 11: Sivi energetski transformatori,
- [5] ABB Wind Power Solution, November, 2016,
- [6] SRPS EN 60076-2:2011. Energetski transformatori - Deo 2: Porast temperature kod transformatora uronjenih u tečnost,
- [7] EPS IS 09-1:2014, Prijemna ispitivanja energetskih transformatora, Stručni savet JP EPS, april 2014,
- [8] M. Ristić, I. Jagodić, Z. Ristić, Kontrola kvaliteta kapitalne opreme, FQCE-2014,
- [9] SRPS EN IEC 60721-3-4:2019, Klasifikacija uslova okoline -Deo 3: Klasifikacija grupa parametara okoline i njihovih ozbiljnosti - Stacionarna upotreba na lokacijama nezaštićenim od vremenskih uticaja,
- [10] SRPS EN 61378-1:2012. Pretvarački transformatori – Deo 1: Transformatori za industrijske primene,
- [11] SRPS EN 60076-3:2015/A1:2019. Energetski transformatori – Deo 3: Izolacioni nivoi, dielektrička ispitivanja i spoljašnji vazdušni razmaci,
- [12] M. Ristić, I. Jagodić, J. Lazić, Dielektrična ispitivanja transformatora, CIRED 2014,
- [13] SRPS EN ISO 12944-4:2019, Boje i lakovi-Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sistemima boja-Deo 4: Tipovi površine i priprema površine,
- [14] SRPS EN 50588-1:2020. Transformatori srednje snage 50 Hz najvećeg napona opreme koji ne prelazi 36 kV - Deo 1: Opšti zahtevi,
- [15] SRPS IEC 60076-7:2020. Energetski transformatori - Deo 7: Uputstvo za terećenje energetskih transformatora potopljenih u mineralno ulje,
- [16] IEC 60076-12:2008 , Power transformers - Part 12: Loading guide for dry-type power transformers,
- [17] SRPS EN 60076-14:2015. Energetski transformatori — Deo 14: Transformatori izolovani tečnošću koji koriste izolacione materijale visoke temperature,
- [18] SRPS EN 60076-5:2008. Energetski transformatori - Deo 5: Izdržljivost pri kratkom spoju,
- [19] ABB: abb.com/motors-generators/segments/wind-power,
- [20] IECRE Operativni dokument D-501-7 Edition 1.0 2019-03-08,
- [21] Metodologija za transformatore za VE, Q-Total-INT, 2021,
- [22] DNVGL-SE-0073:2014, Project certification of wind farms according to IEC 61400-22,
- [23] Certification Scheme for type and component certification of wind turbines (DNVGL-SE-0441:2016,
- [24] Why do wind turbine transformers fail so often? Bi KRemington | 9. juna 2010.
- [25] E. Karimi, A. Carver, D. Kell, E. Veilleux, M. Daryabak, V. Pathi, Investigation of Wind Farm Padmount Transformer Failure Through Transient Studies, CIGRE Canada 2020.

Prilog – Poglavlja Metodologije za transformatore za VE

1	Predmet i područje primene	12.7	Izolacija fluida
2	Referentna dokumenta	12.8	Izolatori
3	Termini i definicije	12.9	Sekundarna ožičenja i upravljački ormani
4	Obim isporuke	12.10	Priključci
5	Namena opreme	12.11	Slavine za menjanje ulja
6	Sistemske uslovi rada	12.12	Monitoring
6.1	Opšti opis mreže	12.13	Uzajamna zamenljivost
6.2	Koordinacija izolacije	12.14	Standardizacija
6.2.1	Metod sistema uzemljenja	12.15	Isključenja
6.2.2	Neuobičajeni uslovi za rad	12.16	Zaštitni, merni i signalni uređaji
6.3	Izdržljivost na kratak spoj	12.17	ET ulje
6.4	Preopterećenje preko naznačene snage	12.18	Specijalna oprema i alati
6.5	DC Magnetizacija	12.19	Rezervni delovi
6.6	Harmonici	13	Upravljanje kvalitetom
6.7	Minimalna snaga pri alternativnom režimu hlađenja	13.1	Provera kvaliteta i test plan (QITP)
6.8	Povratno opterećenje ET direktno povezanog sa generatorom	13.2	Provera kvaliteta i test plan
6.9	Opterećivanje neutralne tačke	13.3	Plan obezbeđenja kvaliteta
7	Vibracije, zaštita od požara	13.4	Priručnici za garancije kvaliteta
8	Ugovorni radovi	13.5	Izveštaj o završnom kvalitetu
9	Ekološki aspekti	14	Fabrička ispitivanja i završna kontrola
10	Transport	14.1	Opšte
11	Sistemi sigurnog rada	14.2	Standardi i tehničke specifikacije testiranja
12	Tehnički uslovi	14.3	Ambijentalni uslovi režima rada
12.1	Opšte	14.4	Tačnost merenja
12.2	Normalni i abnormalni uslovi za rad	14.5	Tolerancije
12.2.1	Releji za gas i ulje (gde ima)	14.6	Pregled ispitivanja
12.2.2	Preopterećenja	14.6.1	Komadna ispitivanja
12.2.3	Efekat geomagnetih indukovanih struja (GII)	14.6.2	Ispitivanje tipa
12.3	Konstrukcioni zahtevi	14.6.3	Specijalna ispitivanja
12.3.1	Indukcija	14.6.4	Dodatni testovi
12.3.2	Regulacija napona	14.7	Redosled ispitivanja
12.3.3	Hlađenje	14.8	Rezultati ispitivanja i izveštaji ispitivanja
12.3.4	Kontrola detalja	14.9	Prihvatljivost ispitivanja na lokaciji-montaža testovi
12.3.5	Sistem za uzemljenje	14.9.1	Opšti
12.4	Magnetno jezgro	14.9.2	Potrebni testovi
12.5	Namotaji	14.9.3	Testovi u pogonu
12.6	ET sud	14.10	Stavljanje pod napon
12.6.1	Rukovanje uređajima	14.11	Probni rad
12.6.2	Poklopac	14.12	Specijalna ispitivanja
12.6.3	Stezanje članaka za ulje	14.13	Izveštaji o ispitivanju
12.6.4	Vakum i zahtevi za pritisak	14.14	Kontrolna lista koja obezbeđuje informacije za kontrolu i pouzdanost
12.6.5	Ventili	15	Lista garancija i garancije
12.6.6	Protok ulja i vrtložne struje	16	Ugovorne dokumentacije
12.6.7	Otvori za pristup	17	Primeri tehničke i druge informacije koje regulišu odnose na specifikaciji za ET
12.6.8	Dilatacioni sud	18	Evaluacije gubitaka, kazne, bonusi i odbijanje
12.6.9	Uzemljenje suda	19	Primena
12.6.10	Rasterećenje pritiska		
12.6.11	Antikorozivna zaštita i farbanje		